

Subfacies geoquímicas: una mejora en la caracterización de depósitos litorales (sondeo de Almenara, provincia de Castellón)

J.F. Mediato⁽¹⁾ y J.I. Santisteban⁽²⁾

(1) Dirección de Geología y Geofísica. IGME. c/ Calera,1. 28760 Tres Cantos (Madrid)
E-mail: jf.mediato@igme.es

(2) Departamento de Estratigrafía. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM. c/ José Antonio Novais s/n. 28040 Madrid
E-mail: juancho@geo.ucm.es

RESUMEN

El estudio sedimentológico de un sondeo de 24 m realizado en el marjal de Almenara (provincia de Castellón), ha permitido diferenciar 8 niveles estratigráficos, sobre los que se ha realizado un estudio geoquímico de elementos mayores, trazas, S, Corg y Cinorg. La utilización de ambos análisis ha permitido determinar más adecuadamente las variaciones ambientales registradas en el sedimento. Además, la realización de un análisis de componentes principales (PCA) tanto sobre el total del sondeo como sobre cada uno de los niveles estratigráficos por separado, permite la observación de otros procesos que son particulares a cada uno de los medios de sedimentación.

Palabras clave: ambiente de sedimentación, Análisis de componentes principales, análisis geoquímico, Cuaternario, sondeo

Geochemical subfacies: an improvement in the characterization of coastal deposits (Almenara core, province of Castellón, western Mediterranean)

ABSTRACT

The sedimentologic analysis made in a core located in Almenara marsh (Castellón province) of 24 m has allowed to determine 8 stratigraphic levels, in which an high-resolution geochemical analysis has also been performed (major and trace elements, S, TIC and TOC). The use of both analyses allowed an accurate description of the environmental changes recorded in the sediment. In addition, using the principal component analysis (PCA) in the total core and in each of the stratigraphic levels, has allowed to recognize other processes which are particular to each sedimentation environment.

Key words: core, geochemical analysis, principal component analysis, Quaternary, sedimentation environment

Introducción

El estudio de las variaciones del nivel del mar en la zona costera es un tema de gran interés social, dado que la franja costera es la zona donde se concentra la mayor parte de la población mundial, y es muy sensible a las variaciones del nivel del mar.

Uno de los principales problemas a la hora de abordar el estudio de las variaciones del nivel del mar es la determinación de la influencia, en dichas variaciones, de los factores globales (clima, glacioeustasia; p.ej. Pirazzolli, 1991) y locales (tectónica, subsidencia, etc.; p.ej. Zazo *et al.*, 2005) actuando a velocidades distintas. Es por ello que adquiere especial

relevancia el poder discriminar entre ambos tipos de causas y sus velocidades de actuación. Para discriminarlas, una de las herramientas más efectivas es la comparación del mayor conjunto posible de series eustáticas (p.ej. Freitas *et al.*, 2002), y su comparación con las series climáticas equivalentes espacial y temporalmente (p.ej. Zazo *et al.*, 2003).

Ambos tipos de series se obtienen mediante estudios geomorfológicos (p.ej. Zazo *et al.*, 2003), sedimentológicos (p.ej. Boski *et al.*, 2002; Goy *et al.*, 2003), paleontológicos/paleoecológicos (p.ej. Usera *et al.*, 2002; Cearreta *et al.*, 2003), geoquímicos (p.ej. Rohling y Rijk, 1999; López-Buendía *et al.*, 1999), estratigráficos (p.ej. Hernández Molina *et al.*, 2002;

Lobo *et al.*, 2004) o una integración de diversos métodos de afloramientos y/o de sondeos (p.ej. Oldfield *et al.*, 2003; González *et al.*, 2004).

En el caso de los estudios a partir de indicadores geoquímicos (Rohling y Rijk, 1999; López-Buendía *et al.*, 1999), éstos suelen centrarse en el uso de un conjunto de indicadores preestablecidos (isotópicos o elementos salinos) que se comparan con las series de referencia. En cualquier caso, uno de los principales escollos es la determinación de la influencia de los parámetros ambientales locales en el registro obtenido o, lo que es lo mismo, la correlación inequívoca del indicador con un parámetro ambiental concreto.

Las técnicas estadísticas de análisis de datos constituyen una herramienta muy potente para la integración de grandes volúmenes de información y la detección de patrones que mediante la mera inspección visual serían muy difíciles de detectar (Giralt *et al.*, 2003). Sin embargo, la manipulación matemática de datos sin un conocimiento del significado de las operaciones realizadas y una interpretación "física" coherente de sus resultados son un grave riesgo que se suele encontrar en la literatura. Por ello, la integración de diferentes tipos de estudios y la aplicación de técnicas de análisis multivariante se perfilan como un paso necesario para la obtención de registros de alta resolución que permitan obtener series fiables.

Es por ello que durante el desarrollo del estudio "Análisis de la evolución de la costa mediterránea a partir del registro sedimentario e histórico y repercusión de la actividad humana en la zona litoral" se planteó la necesidad de profundizar en la caracterización de facies como paso inicial para su posterior interpretación en términos de variaciones del nivel del mar. Para ello, en este trabajo, se analiza de forma sucinta la información geoquímica de un testigo representativo con el fin de comprobar si la integración y elaboración de estos datos supone una mejora al análisis sedimentológico más clásico.

Materiales y metodología

Los materiales analizados corresponden a un sondeo realizado cerca de Almenara, provincia de Castellón (Fig.1) sobre depósitos de abanicos aluviales de edad Pleistoceno (Goy, 1978), y depósitos marinos y de marjal de edad Holoceno (Roselló 1993, López-Buendía, 1995). Dentro de los 24 m superiores de dicho sondeo se han diferenciado 8 niveles estratigráficos sobre los que hemos realizado un estudio sedimentológico y su datación, al que se ha superpuesto un estudio geoquímico apoyado en los análi-

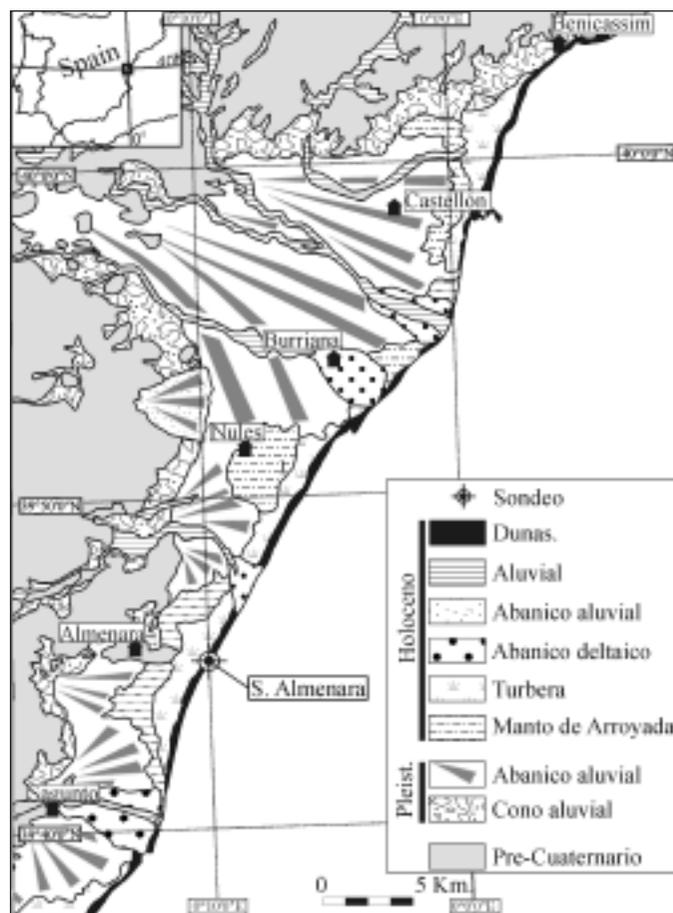


Fig. 1. Cartografía geológica del área estudiada y situación del sondeo analizado

Fig. 1. Geologic map of studied area and situation of the analyzed core

sis de 38 elementos entre mayores, trazas, S y C orgánico e inorgánico en muestras tomadas cada 20 cm.

Los 8 niveles diferenciados (Fig. 2a) corresponden a: 1) limos y arcillas pardo-rojizas con costras carbonatadas y cantos (llanura de inundación); 2) conglomerado muy cementado con cantos de calizas mesozoicas (depósitos de canal); 3) arenas con fragmentos de bivalvos que a techo presentan concentraciones de carbonato y trazas de raíces (isla-barrera); 4) arcillas grises-verdosas con abundante fauna de bivalvos y gasterópodos (lagoon); 5) arenas medias a gruesas con restos enteros y fragmentados de bivalvos (isla-barrera); 6) calizas margosas grises a negras, brechoides y nodulosas con abundantes restos de vegetación y fragmentos de gasterópodos (lacustre); 7) arena fina a media de color gris con fragmentos de bivalvos, gasterópodos (marinos y terrestres) y restos de vegetación (playa); y 8) turba hémica con abundantes gasterópodos (turbera).

A partir de esta caracterización se procedió a explorar los datos geoquímicos mediante la aplicación del análisis de componentes principales con el fin de analizar la variabilidad en la composición de los materiales.

El análisis de componentes principales (PCA) realizado mediante la descomposición de valores singulares (SVD), se apoya en el hecho de que la SVD permite analizar, en un paso único, los valores y vectores característicos de las matrices de covarianza en el espacio, en nuestro caso, de las variables y de las muestras. Con ello se obtiene una transformación espacial que nos maximiza la varianza explicada por las variables transformadas (componentes principales, PCs), y una simplificación del espacio al seleccionar sólo aquellas PCs que contribuyan significativamente a la varianza total. La proyección de las muestras sobre dichas componentes permite reagruparlas de acuerdo con este nuevo espacio.

Resultados y discusión

Desde un punto de vista geoquímico (Fig. 2a), los materiales fluviales se caracterizan por su contenido en Si y Al (con una mayor relación Si/Al en los depósitos de canal), y un contenido considerable en Ca y C inorgánico derivado de clastos mesozoicos. Los materiales correspondientes a la isla-barrera muestran un contenido alto en Si y bajo en Al, variable en Ca y C inorgánico (mayor en la isla-barrera inferior), y relaciones Sr/Ca bajas, lo que evidencia un ambiente con agitación constante y alta capacidad de selección. Los depósitos de playa presentan una mayor variabilidad de los valores de Al, C orgánico y C inorgánico, lo que registra la influencia de los aportes desde la zona emergida.

Las facies de ambientes tranquilos marinos (*lagoon*) se caracterizan por alto contenido en Al, S, Ca, C inorgánico y una relación Sr/Ca alta, que indican una mayor salinidad propia de un medio semi-restringido. Las de origen lacustre son ricas en Ca y C inorgánico (como corresponde a calizas) pero muestran un contenido apreciable en Si y Al (aportes terrestres), y una relación Sr/Ca alta que evidencia la influencia de las aguas marinas. Los depósitos de turbera se caracterizan por un contenido alto en C (orgánico e inorgánico) resultante de su origen biogénico.

La PCA sobre el total de los datos del sondeo permite identificar 3 PCs que explican el 76,5% de la varianza total (Tabla 1).

La primera PC (49% de la varianza total) está dominada por el Al y elementos asociados y se opone a la Si. Corresponde a muestras de composición argílica y bajo contenido en cuarzo (depósitos de decantación).

La segunda PC (20% de la varianza total) está dominada por la Si que se opone al Ca, C inorgánico, Sr, S y C orgánico fundamentalmente. Permite discriminar entre los depósitos tractivos y los depósitos de acumulación de carbonato y materia orgánica.

La tercera PC (7,5% de la varianza total) está dominada por el C orgánico y, secundariamente S, que se opone al Ca y C inorgánico. Permite diferenciar los ambientes de acumulación de materia orgánica de los de sedimentación química.

Cuando proyectamos las muestras sobre esas PCs (Fig. 2b), podemos observar que hay un agrupamiento de las muestras consecuente con su génesis. Las muestras correspondientes a turbera se centran en la 3ª PC (componente orgánico). Los depósitos de isla-barrera lo hacen predominantemente hacia el campo negativo de la 1ª PC y positivo de la 2ª PC (carga tractiva). Los depósitos de playa presentan una mayor dispersión aunque fundamentalmente se agrupan en torno a los campos negativos de la 1ª y 2ª PCs (carbonato biogénico y carga tractiva). Por su parte, los depósitos de *lagoon* tienden a disponerse en la parte negativa de la 2ª PC (carbonato biogénico) y positivo de la 1ª PC (carga en suspensión). Los depósitos lacustres se disponen hacia el campo negativo de la 1ª y 2ª PCs (precipitación de carbonato y carga tractiva).

Esta evidente correspondencia entre los resultados del PCA y la interpretación de facies, y la variabilidad que los datos geoquímicos muestran dentro de cada facies (Fig. 2a) nos llevó a plantear la aplicación del PCA dentro de cada facies con el fin de detectar variaciones internas, que no pueden ser identificadas por la inspección visual.

Como muestra (Fig. 3) se aplicó dicho análisis a los depósitos de turbera, playa e isla-barrera presentes en los 12 m superiores del sondeo.

En los depósitos de turbera se identifican 3 PCs que representan el componente argílico (1ª PC) el componente orgánico opuesto al carbonato (2ª PC) y el componente químico opuesto a la carga tractiva (3ª PC). Es de destacar que el C orgánico no es el elemento que más influye en la variabilidad dentro de las facies de turbera sino las arcillas (1ª PC) seguidas por el contenido en carbonato (presente en la 2ª y 3ª PCs). Esto nos revela la importancia de las avenidas en la dinámica de la turbera y queda reflejado en la buena discriminación entre las muestras.

Con respecto a los depósitos de playa, su variabilidad queda explicada por su contenido en arcilla (1ª PC) seguido por la presencia de carbonato y elementos redox (Mn, Fe) (2ª PC) en oposición al cuarzo, y finalmente por la materia orgánica. Esto nos evidencia la diferenciación existente entre las partes

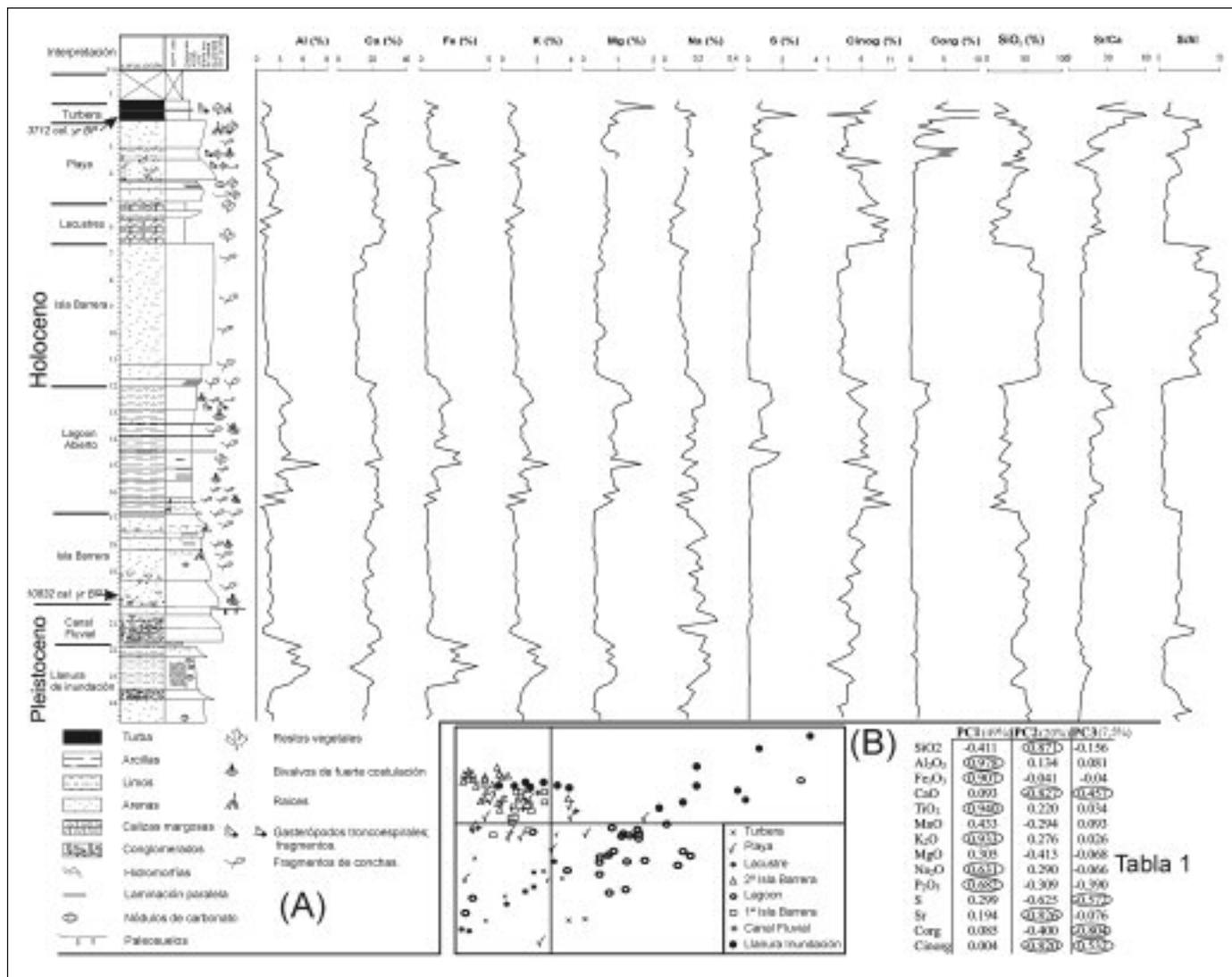


Fig. 2. (A) Columna estratigráfica y distribución vertical de elementos. (B) Representación de las muestras según las componentes principales. Tabla 1. Valor de componentes principales. Señalados los elementos dominantes
 Fig. 2. Stratigraphic column and vertical distribution of elements (b) Representation of the samples according to the principal components. Table 1. Value of principal components. Indicated the dominant elements

hacia tierra (*backshore*, con arcillas, procesos redox y menos fragmentos fósiles) y hacia el mar (*shoreface*, más ricas en fragmentos fósiles o cuarzo). La peor discriminación, entre las muestras, viene dada por el hecho de que en este caso lo que se registran son transiciones/desplazamientos en una distancia muy corta entre ambientes con diferencias sutiles.

Finalmente, la variabilidad de los depósitos de isla-barrera queda explicada mediante 2 PCs. La 1ª PC representa alternancias de episodios de agitación y calma (cuarzo en oposición a las arcillas y acumulación de conchas). La 2ª PC representa episodios o ambientes caracterizados por la colonización por fauna (acumulación de conchas y materia orgánica)

opuesta a los episodios de agitación. Esto nos revela que el desarrollo de estas islas-barrera fue episódico y alternó con períodos de poca agitación en los que se desarrolló la infauna que posteriormente sería removilizada.

Conclusiones

El análisis geoquímico de los sedimentos y la aplicación del PCA sobre estos datos en el sondeo de Almenara ha permitido identificar unos rasgos (parámetros y componentes principales generales) cuya interpretación, en términos ambientales, es compati-

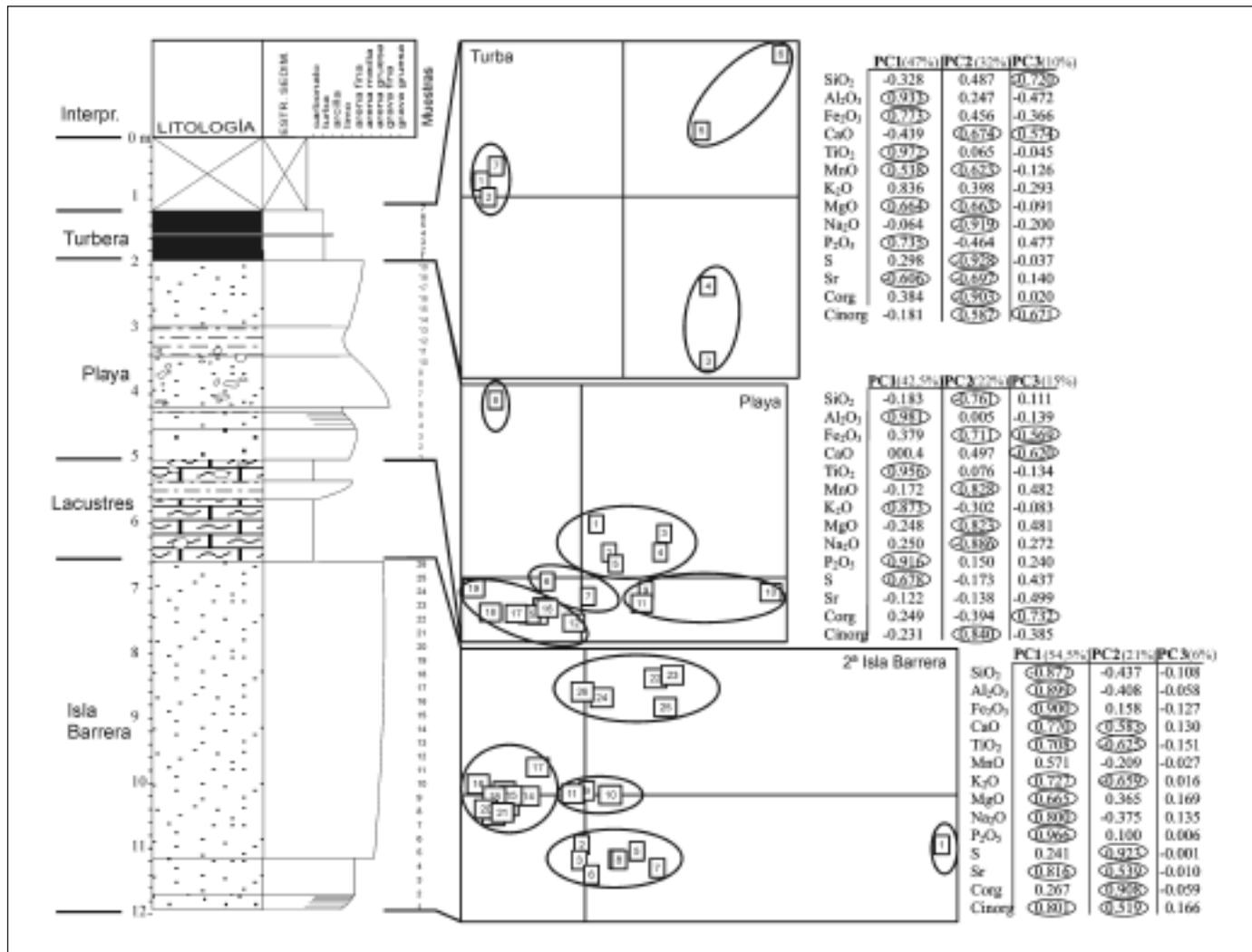


Fig. 3. Componentes principales de la isla barrera, playa y turbera
 Fig. 3. Principals components of barrier-island, beach and peat

ble con la interpretación derivada del análisis sedimentológico más clásico. Así, las PCs permiten: discriminar entre los depósitos dominados por la tracción y decantación (PC1); definir la acumulación de carbonato biogénico como inversamente relacionada con la carga detrítica (PC2); y la competencia entre los sistemas de bioacumulación carbonatados y orgánicos (PC3) (Tabla 1).

La repetición de dicho análisis a escala de facies, permite alcanzar un mayor detalle, ya que revela variaciones que sólo con las características visuales y texturales de los materiales del sondeo no sería posible apreciar: nos permite identificar una variabilidad que puede ser interpretada en términos ambientales inherentes a cada medio sedimentario (Fig. 3).

Como conclusión, la integración, apoyándose en criterios genéticos, entre los datos sedimentológicos

y los geoquímicos y su análisis estadístico con técnicas tales como el análisis de componentes principales, permite alcanzar una resolución limitada por la resolución de nuestro muestreo.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Área del Laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España por la realización de los análisis químicos.

Referencias

Boski, T, Moura, D., Veiga-Pires, C., Camacho, S., Duarte, D., Scott, D.B. y Fernandes, S.G. 2002. Postglacial sea-level

- rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology*, 150, 103-122.
- Cearreta A., Cachão M., Cabral M.V., Bao R. y Ármalo M.J. 2003. Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons 2: microfossil multiproxy reconstruction of the Santo André coastal area. *The Holocene*, 13, 3, 447-458.
- Freitas, M.C., Andrade, C. y Cruces, A. 2002. The geological record of environmental changes in southwestern Portuguese coastal lagoons since the Lateglacial. *Quaternary International*, 93-94, 161-170.
- Giralt, S., Julià, R., Leroy, S. y Gasse, F. 2003. Cyclic water level oscillations of the KaraBogazGol-Caspian Sea system. *Earth and planetary Science Letters*, 212, 225-239.
- González, R., Dias, J.M.A., Lobo, F. y Mendes, I. 2004. Sedimentological and paleoenvironmental characterisation of transgressive sediments of the Guadiana Shelf (Northern Gulf of Cadiz, SW Iberia). *Quaternary International*, 120, 133-140.
- Goy J.L. 1978. *Estudio geomorfológico del Cuaternario Litoral Valenciano*. Universidad Complutense de Madrid. 600 pp. (inédita)
- Goy J.L., Zazo C. y Dabrio C.J. 2003. A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 50, 251-268.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F., Fernández-Puga, M.C., Llave, E. y Díaz del Río, V. 2002. Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian Peninsula: their relationship with global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International*, 92, 5-23.
- Lobo, F.J., Sánchez, R., González, R., Dias, J.M.A., Hernández-Molina, F.J., Fernández-Salas, L.M., Díaz del Río, V. y Mendes, I. 2004. Contrasting styles of the Holocene highstand sedimentation and sediment dispersal systems in the northern shelf of the Gulf of Cádiz. *Continental Shelf Research*, 24, 461-482.
- López Buendía, A.M. 1995. *Evolución cuaternaria de las cuencas palustres litorales de la depresión Valencia-Castellón*. Universidad de Zaragoza. 170 pp. (inédita)
- López-Buendía, A.M., Bastida, J., Querol, X. y Whateley, M.K.G. 1999. Geochemical data as indicators of palaeosalinity in coastal organic-rich sediments. *Chemical Geology*, 157, 235-254.
- Oldfield, F., Asioli, A., Accorsi, C.A., Mercuri, A.M., Juggins, S., Langone, L., Rolph, T., Trincardi, F., Wolff, G., Gibbs, Z., Vigliotti, L., Frignani, M., Post, K. van der y Branch, N. 2003. A high resolution late Holocene palaeo environmental record from the central Adriatic Sea. *Quaternary Science Reviews*, 22, 319-342.
- Pirazzolli, P.A. 1991. *World Atlas of Holocene Sea-Level Changes*. Elsevier Oceanography Series, 58. Elsevier, Amsterdam. 300 pp.
- Rohling, E.J. y Rijk, S. 1999. Holocene Climate Optimum and Last Glacial Maximum in the Mediterranean: the marine oxygen isotope record. *Marine Geology*, 153, 57-75.
- Roselló, V. 1993. Albuferas Mediterráneas. *Cuadernos de Geografía*, 53:35-64.
- Usera, J., Blázquez, A.M., Guillem, J. y Alberola C. 2002. Biochronological and paleoenvironmental interest of foraminifera lived in restricted environments: application to the study of the western Mediterranean Holocene. *Quaternary International*, 93-94, 139-147.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-Delgado, J.A. y Soler, V. 2003. Pleistocene raised marine terraces of the Spanish Mediterranean and Atlantic coasts: records of coastal uplift, sea-level highstands and climate changes. *Marine Geology*, 194, 103-133.
- Zazo, C., Mercier, N., Silva, P.G., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Roquero, E., Soler, V., Borja, F., Lario, J., Polo, M.D. y Luque, L. 2005. Landscape evolution and geodynamic controls in the Gulf of Cádiz (Huelva coast, SW Spain) during the Late Quaternary. *Geomorphology*, 68, 269-290.

Recibido: diciembre 2005

Aceptado: julio 2006