



DATAACIONES ISOTÓPICAS DE CARBONATOS CONTINENTALES EN EL PLEISTOCENO SUPERIOR DE LAS ISLAS CHAFARINAS (N ÁFRICA, ESPAÑA)

Isotopic dating of continental carbonates in the Upper Pleistocene of Chafarinas Islands (N Africa, Spain)

J. Rodríguez Vidal⁽¹⁾, L. M. Cáceres⁽¹⁾, A. Martínez Aguirre⁽²⁾, J. M. Alcaraz⁽²⁾, G. Belluomini⁽³⁾, F.M. Alonso Chaves⁽¹⁾, A. Rodríguez Ramírez⁽¹⁾ y M. Cantano⁽¹⁾

(1) Dpto. Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales, Campus de La Rábida, 21819 Palos de la Frontera; e-mail: jrvidal@ uhu.es
 (2) Dpto. Física Aplicada I, Universidad de Sevilla, EUITA, ctra. de Utrera km 1, 41013 Sevilla.
 (3) Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali, Area di Ricerca di Roma di CNR, Via Salaria km 29,300. C.P.10, 00016 Monterotondo St., Roma.

Resumen: Las islas volcánicas de Chafarinas guardan un amplio registro sedimentario del Pleistoceno superior continental. El análisis radiométrico de las muestras de calcretas y gasterópodos fósiles, presentes en la serie de la isla del Rey Francisco I, por medio de isótopos de Uranio y Carbono, nos ha servido para fechar este registro entre 100 y 20 ka BP.

Palabras clave: formaciones superficiales, calcretas, dataciones isotópicas, Pleistoceno superior, Mar de Alborán.

Abstract: Chafarinas Islands are a volcanic outcrop in the North edge of Africa, with an Upper Miocene-Pliocene age. The present cliffed landform result of an intensive marine action that has eroded the previous volcanic relief. Quaternary deposits and calcrete formations cover the most part of the planated surface of the islands, mainly in Rey Francisco I isle. Here we studied a wide geological section with 18 m of detritic and calcrete layers. Isotopic dating ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and ^{14}C) of these continental deposits (calcretes and shells) and their geological interpretation show a palaeoclimatic fluctuations along the Late Quaternary (100-20 ky BP).

Key words: Quaternary deposits, calcretes, isotopic dating, Upper Pleistocene, Alboran Sea.



Rodríguez Vidal, J.; Cáceres, L. M.; Martínez Aguirre, A.; Alcaraz, J. M.; Belluomini, G.; Alonso Chaves, F. M.; Rodríguez Ramírez, A. y Cantano, M. (2000). Dataciones isotópicas de carbonatos continentales en el pleistoceno superior de las Islas Chafarinas (N África, España). *Rev. C. & G.*, 14 (3-4), 101-107. © SEG. AEQUA. GEOFORMA Ediciones

1. Introducción

Las Islas Chafarinas están situadas a unos 50 km al E de Melilla y a unas dos millas al N de Cabo del Agua (Ras Kebdana, Marruecos) (figura 1). Se trata de tres islotes de pequeña extensión denomi-

nados de oeste a este: Isla del Congreso, Isla de Isabel II e Isla del Rey Francisco I.

Estas islas son de origen volcánico (andesitas y basaltos) y forman parte del extremo occidental de una estrecha banda volcánica que se extiende desde el NE de Marruecos hasta Túnez. En la actualidad

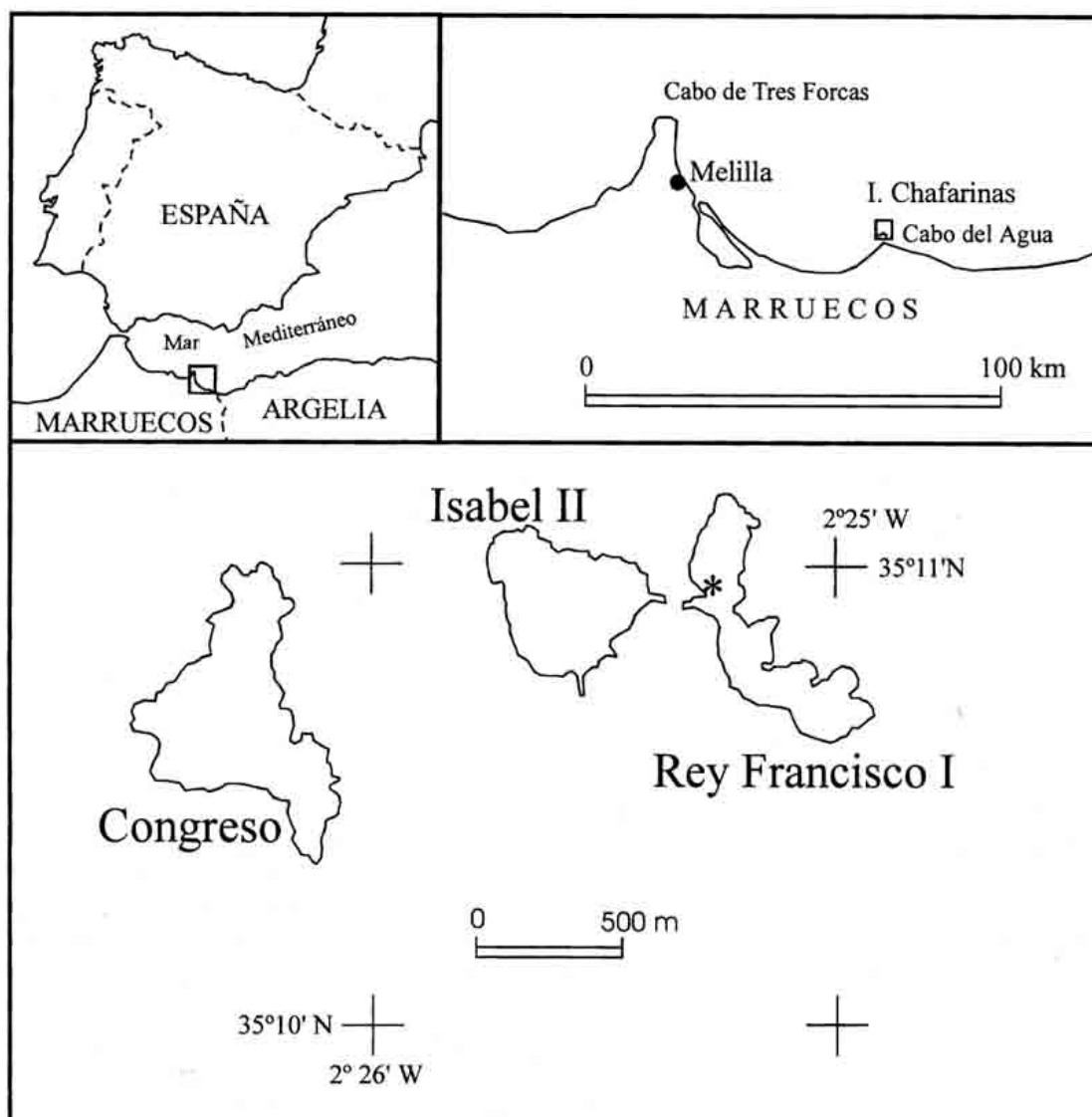


Figura 1. Situación geográfica de las islas Chafarinas. (*) Corte geológico de la isla del Rey Francisco I (ver figura 2).
 Figure 1. Geographical location of the Chafarinas Islands. (*) Geological section of Rey Francisco I isle (see figure 2).

las islas representan pequeños retazos de lo que originalmente debieron ser aparatos volcánicos complejos, que configurarían un área más o menos extensa, emergida y unida al continente africano. Este afloramiento ha sufrido un intenso desmantelamiento desde su origen (Mioceno superior-Plioceno) (Rodríguez Vidal *et al.*, 1999), lo que ha dado lugar, por un lado, a su configuración actual en tres islotes y, por otro, a la existencia de depósitos, productos de dicha erosión.

Las rocas sedimentarias son todas de edad cuaternaria y se localizan principalmente en las islas de Isabel y del Rey. Están formadas por depósitos pardo rojizos de arcillas, arenas y cantos, con frecuentes intercalaciones de paleosuelos y encostramientos calizos. Aunque, sin lugar a dudas, el afloramiento dominante es el de una calcreta, de escaso espesor (< 2 m), que tapiza y fosiliza la superficie de gran parte de las islas. Este nivel calizo, debido a su complejidad composicional, textural y

estructural, compendia una larga historia cuaternaria de alteración epigénica del sustrato volcánico, procesos edafogénicos, arrastres de ladera y acumulación de polvo eólico carbonatado.

El interés de estos depósitos y procesos es indudable para la comprensión de la historia paleoclimática del Cuaternario reciente en el norte de Africa. La serie estratigráfica más completa de las islas se localiza en la mitad septentrional de la isla del Rey Francisco I (figura 1); otros afloramientos detríticos interesantes, aunque de menor espesor y variedad, se sitúan en el Puerto de la isla Isabel II y en la cima del acantilado oriental de la isla del Congreso.

Los suelos recientes-actuales que se desarrollan sobre estas islas pertenecen al orden Aridisol (Clemente *et al.*, 1999), con un régimen de humedad límite entre xérico y arídico, que define un clima mediterráneo árido.

2. Dataciones isotópicas

El reconocimiento de la serie estratigráfica de la isla del Rey, en la primera campaña científica de 1997 (Rodríguez Vidal *et al.*, 1999), planteó la necesidad de establecer una primera secuencia cronológica, por lo que se realizaron muestreos con esta finalidad durante 1998. Las muestras para su análisis con aminoácidos e isótopos del carbono (¹⁴C) se han llevado a cabo en el Istituto per le Tecnologia Applicate ai Beni Culturali, Area di Ricerca di Roma di CNR, Italia. Las muestras para su análisis con isótopos del uranio (²³⁰Th/²³⁴U), se

han realizado en el Laboratorio Radioquímico del Departamento de Física Aplicada I, Facultad de Física de la Universidad de Sevilla.

Las primeras dataciones efectuadas (Rodríguez Vidal *et al.*, 1999) sirvieron para enmarcar cronológicamente, a techo y a muro, la serie estratigráfica, aunque surgieron algunos desfases en la muestra basal CHR9, con una edad muy reciente (22,4±1,8 ka BP). Posteriormente, esta muestra se ha analizado de nuevo (CHR9bis), así como la CHR8 (86,2±1,0 ka BP), y ambas han confirmado de manera aproximada la edad inicial (22,4±3,5 y 80,0±11,0 ka BP respectivamente) (ver Tabla 1).

También se ha muestreado nuevamente la calcreta laminar que forma el nivel superior de la serie, pues su evolución lateral, ladera abajo, presenta una disposición de crecimiento progradante, con láminas sigmoidales (figura 2); lo que significa que los tramos más altos en la ladera son más antiguos que los más bajos. Así, las muestras correlativas CHR27, CHR28 y CHR29 nos ofrecen edades coincidentes con ese modelo evolutivo (63,0±2,9; 34,0±2,7 y 25,6±3,0 ka BP) y con la edad más reciente obtenida previamente por ¹⁴C (CHR16: 20,3±0,3 ka BP).

La conjunción del estudio estratigráfico y las dataciones radiométricas confirman que la serie de la isla del Rey es representativa de casi todo el Pleistoceno superior, entre unos 100 y 20 ka BP, periodo de tiempo aún poco conocido en el norte de Africa (Rognon, 1996).

Dentro de esta serie, y de techo a muro, el nivel (14) superior de calcreta indica un proceso conti-

Tabla 1. Dataciones isotópicas (²³⁰Th/²³⁴U y ¹⁴C) de las muestras de carbonatos recogidas en el corte de la Casa de la Herramienta, isla del Rey Francisco I.
 Table 1. Isotopic dating (²³⁰Th/²³⁴U y ¹⁴C) of calcretes and shells samples collected at Casa de la Herramienta outcrop, Rey Francisco I isle.

Nivel estratigráfico	Muestra/material	Datación (ka BP)
14	CHR16 / Calcreta	20,3 ± 0,3 (¹⁴ C)
14	CHR29 / Calcreta	25,6 ± 3,0 (Th/U)
14	CHR28 / Calcreta	34,0 ± 2,7 (Th/U)
14	CHR27 / Calcreta	63,0 ± 2,9 (Th/U)
13	CHR15 / Conchas	> 40 (¹⁴ C)
5	CHR8bis / Calcreta	80,0 ± 11,0 (Th/U)
5	CHR8 / Calcreta	86,2 ± 1,0 (Th/U)
1	CHR9bis / Calcreta	22,1 ± 3,1 (Th/U)
1	CHR9 / Calcreta	22,4 ± 1,8 (Th/U)

nuado de regularización de ladera entre 63 y 25 ka BP; los niveles intermedios (13-6) representan una serie alterna de depósitos de arroyada y paleosuelos, con una edad entre 80 y 63 ka BP; el nivel 5 es una calcreta, con una edad que oscilaría entre 86 y 80 ka BP; los niveles inferiores 4 a 2 son depósitos masivos de arroyada, inmediatamente anteriores a 86 ka BP; la calcreta basal (niveles 1 y 0) se confirma como un proceso epigénico carbonatado de génesis más reciente (20 ka BP), generado bajo los sedimentos cuaternarios y a partir del sustrato volcánico andesítico.

3. Metodología de las dataciones de Th/U

Las muestras analizadas de calcreta de las Isla Chafarinas presentaban visualmente grandes cantidades de material detrítico, por lo que fué necesario realizar el análisis de varias submuestras de cada una de ellas, mediante el método L/L (Schwarz and Latham, 1989) y utilizar los diagramas de Rosholt para obtener las relaciones de actividad necesarias para la datación de las mismas. El procedimiento general utilizado ha consistido en:

- 1) Pulverizar y homogeneizar la muestra y separar varias (4 o 5) submuestras para el análisis químico de los isótopos de U y Th.
- 2) Obtener diferentes valores de las relaciones de actividad $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$, $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ y $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ en cada una de las submuestras. Para ello, se disuelve cada submuestra con disoluciones del mismo ácido (normalmente HNO_3) pero con distintas concentraciones (2 a 8M). Esta diferente concentración provoca que la cantidad disuelta de material detrítico sea distinta en cada submuestra. El material detrítico no disuelto se separa de la disolución por centrifugación o filtrado. El análisis de los isótopos de U y Th se lleva a cabo en la disolución.
- 3) Añadir a la disolución los trazadores, isótopos artificiales del mismo elemento, correspondientes (^{232}U para U y ^{229}Th para Th) y mediante la combinación de un método de extracción solvente con tributilfosfato (TBP) y Xileno y un método de resinas de intercambio iónico se extraen y purifican separadamente el U y el Th de la muestra. Finalmente,

para la determinación de estos radionúclidos por espectrometría alfa, se realiza una electrodeposición de cada fracción sobre planchetas de acero inoxidable y se miden directamente en detectores de barrera de silicio o de implantación iónica, previamente calibrados en eficiencia (Alcaraz, 1999).

Los resultados de las muestras confirmaron el alto contenido en material detrítico de las mismas y la necesidad del uso de métodos de corrección para la obtención de la edad. En general, el contenido en peso de material detrítico fue superior al 20%, con contenidos mayores en las muestras CHR8/CHR8bis y CHR9/CHR9bis (entorno al 40%). Por otra parte, la relación de actividad $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, con valores incluso menor que la unidad, indicaron el alto contenido en ^{232}Th de las muestras. Este alto contenido en material detrítico (y de ^{232}Th) ha dado lugar a que las relaciones de actividad de las varias submuestras no fueran claramente diferenciables y, por tanto, no permitieran obtener una recta bien definida. Para poder resolverlo se han analizado submuestras adicionales, con el objetivo de obtener valores que sean claramente diferenciables de los anteriores y así poder definir apropiadamente las rectas. El método consistió en el análisis del U y Th en alguna submuestra más de cada muestra y disolverla completamente, aumentando así el contenido en ^{232}Th de la disolución. El método ha dado resultado y nos ha permitido obtener las relaciones de actividad en el carbonato puro, cuyos resultados presentamos en la Tabla 2, y que han sido obtenidos mediante el uso de los Diagramas Rosholt (Schwarz and Latham, 1989) y el programa gráfico ISOPLOT (Ludwig, 1991). En las columnas 5 y 6, de dicha Tabla, se muestran, respectivamente, las relaciones isotópicas entre los isótopos de U en el momento de formación del sistema, así como la relación entre los isótopos de Th en el material detrítico.

Independiente de la edad, las muestras presentan grandes similitudes. Exceptuando la muestra CHR9/CHR9bis, el material detrítico que forma parte de las muestras parece tener la misma procedencia, con un valor promedio de 0.439 ± 0.007 . De igual forma, la composición isotópica de U en el momento de formación de los carbonatos, que presumiblemente sería la de las aguas de las que éste precipitó, muestra un exceso del descendiente

Tabla 2. Relaciones de actividad y edades de las muestras de carbonatos recogidas en la última campaña de campo.
 Table 2. Ages and activity relations of carbonate samples collected in the last Chafarinas fieldwork.

muestra	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	T (ka)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_o$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}_D$
CHR-8bis	1.866± 0.067	1.021 ± 0.13	80 ± 11	2.083± 0.084	0.436± 0.005
CHR-9bis	2.046± 0.049	0.382± 0.050	22.1 ± 3.1	2.113± 0.052	0.631± 0.045
CHR-27	1.432± 0.027	0.646± 0.025	63.0 ± 2.9	1.508± 0.032	0.435± 0.028
CHR-28	1.498± 0.047	0.406± 0.031	34.0 ± 2.7	1.537± 0.052	0.428± 0.014
CHR-29	1.527± 0.062	0.325± 0.036	25.6 ± 3.0	1.559± 0.066	0.447± 0.018

^{234}U frente al ^{238}U , si bien los valores en las muestras CHR8/CHR8bis y CHR9/CHR9bis, iguales entre sí, son superiores a las otras tres, también iguales entre sí. En general, el valor relativo del exceso del isótopo descendiente, indicaría variaciones en las condiciones climatológicas de la zona, valores más altos estarían asociados a períodos más cálidos (menor contenido en agua). Sin embargo, las diferencias y similitudes de las muestras CHR9/CHR9bis con las demás, indica algún tipo de anomalía relacionada con los isótopos de Th, bien en la propia muestra (obteniéndose edades erróneas) o bien durante la formación del sistema.

4. Interpretación paleoambiental

El afloramiento geológico de la Casa de la Herramienta, en la isla del Rey Francisco I, ya fue

descubierto por Calderón (1894) y estudiado inicialmente por Fernández Navarro (1908), aunque hasta la actualidad no había sido revisado (Rodríguez Vidal *et al.*, 1999).

Salvando las dificultades presentes, como que las muestras para el estudio petrográfico, granulométrico y mineralógico aún no han terminado de analizarse, y que además se hacen necesarios nuevos trabajos pedológicos, polínicos y micropaleontológicos, en esta serie de la isla del Rey, las observaciones de campo y los trabajos ya efectuados en el laboratorio nos permiten realizar una primera aproximación interpretativa de la serie estratigráfica (figura 2).

La costra inferior (nivel 1) nos muestra un proceso epigénico de alteración química, algo semejante a lo que sería el frente basal de avance de un perfil de meteorización calcáreo (Millot *et al.*, 1977). Los cantos redondeados, o bolos de andesi-

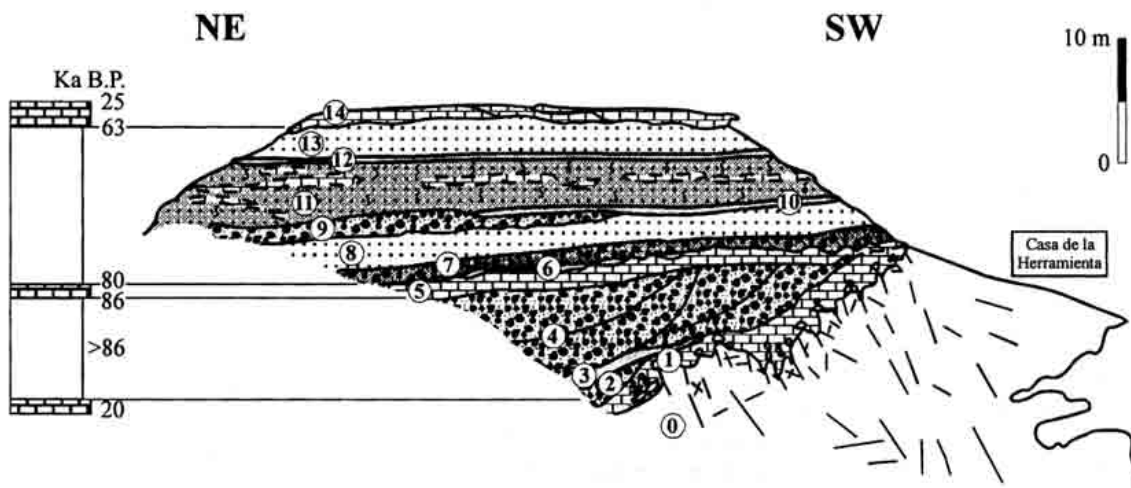


Figura 2. Corte geocronológico del afloramiento cuaternario de la Casa de la Herramienta, isla del Rey Francisco I. La numeración de los niveles estratigráficos se corresponde con la descrita en el texto.

Figure 2. Geochronological section of Casa de la Herramienta Quaternary outcrop at Rey Francisco I isle.

ta, son núcleos inalterados (*corestones*) de la roca original. El cemento calcáreo que los une forma una calcreta compleja, resultado de la lenta sustitución de los minerales de la andesita por un sistema arcilla-caliza de alteración, generado en un clima mediterráneo seco.

Los niveles 2, 3 y 4 representan una serie morfoestratigráfica de ladera, donde la arroyada y la gravedad fueron los procesos dominantes. Los detriticos así acumulados alcanzan hasta 6 m de espesor y resultan de una rápida sedimentación mecánica, sin intercalaciones de horizontes edáficos. Se generaron por el desmantelamiento, ladera arriba, de los perfiles previos de alteración. La ausencia actual de las áreas-fuente de estos sedimentos, nos muestra el rapidísimo retroceso de los acantilados por erosión marina. Estos tramos indicarían el inicio de un cambio climático hacia condiciones algo más húmedas, con precipitaciones intensas y concentradas, que facilitaron la erosión por arroyada.

El nivel 5 es una calcreta que se solapa lateralmente hacia el SW con la calcreta basal de alteración (nivel 1) (ver figura 2), de edad posterior. Esto sucede debido a la forma de vaguada del sustrato andesítico sobre el que se genera la calcreta basal y a la escasa pendiente del nivel 5. Este nivel estaría relacionado con una tendencia hacia climas más áridos.

Los niveles 6 a 12 representan una serie rítmica de procesos de arrastre por arroyada y de desarrollo de la edafogénesis, indicadores de continuos cambios climáticos de semiárido a subhúmedo. Es una serie compleja e interesante para futuros estudios paleoclimáticos, pues, por las dataciones realizadas, comprendería un período de tiempo entre 80 y 60 ka BP. En el norte de África (Rognon, 1987 y Petit-Maire, 1992), este período fue Pluvial, con dominio de los depósitos aluviales.

El nivel 13 es un depósito de arenas eólicas consolidadas (dunas litorales), posiblemente relacionadas con playas próximas y un alto relativo del nivel del mar, que sólo indicarían una fuente abundante y cercana de arena, junto con un medio de transporte eólico (viento de Poniente, para el caso de este depósito). La topografía volcánica escarpada se encargaría de actuar como trampa de sedimentos. La fauna fósil de gasterópodos continentales (*Cepaea sp.*, *Rumina decollata* y *Arianta sp.*),

que se incluye en las arenas, parece indicar un clima semejante al actual.

El nivel 14, y techo de la serie, es una calcreta que engloba parte de las arenas del nivel anterior, con posterior evolución hacia calcreta laminar. Evidencia un proceso complejo de regularización de ladera por arrastre detrítico y precipitación bioquímica de carbonato cálcico. Al igual que la calcreta del nivel 5, podría estar relacionado con una tendencia hacia climas más áridos.

Los niveles 13 y 14 están representados, en el norte de África (Rognon, 1987), por depósitos eólicos, indicativos de un deterioro ambiental, con descenso general de las precipitaciones y tendencia hacia la aridez. En el litoral marroquí de Ras Kebdana, vecino a las islas Chafarinas, Barathon (1987) y Alouane y Aberkan (1997) han estudiado estas formaciones dunares con calcretas, asimilándolas igualmente a un aumento progresivo de la aridez.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto de «Estudio Geológico de las Islas Chafarinas», coordinado por el Instituto de Recursos Naturales (CSIC) de Sevilla y subvencionado por el Ministerio de Medio Ambiente (Organismo Autónomo de Parques Nacionales). Nuestro más sincero agradecimiento a todas las autoridades militares de las Islas Chafarinas y a los compañeros civiles que han colaborado en las sucesivas campañas realizadas durante 1997 y 1998.

Referencias bibliográficas

- Alcaraz, J.M (1999). *Datación de espeleotemas de la Sierra del Endrinal (Grazalema, Cádiz) mediante el método $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$* . Tesis de Licenciatura, Universidad de Sevilla, 136 pp.
- Alouane, M. et Aberkan, M. (1997). Les complexes dunaires consolidés de Ras Kebdana (Maroc nord-oriental): étude pétrographique et micromorphologique. *GAIA*, 14, 1-10.
- Barathon, J.J. (1987). *Bassins et littoraux du Rif oriental. Evolution morphoclimatique et tectonique depuis le Néogène supérieur*. Thèse d'état, Université de Poitiers, 584 pp.
- Calderón, S. (1894). Las Chafarinas. *An. Soc. Española Hist. Nat.*, t. XXIII, 2, 303-316.
- Clemente Salas, L.; García Fernández, L.V. y Rodríguez Ramírez, A. (1999). Los suelos de la Isla del Congreso (Chafarinas). En: *Avances en el estudio del Cuaternario español* (L. Pallí Buxó y C. Roqué Pau, ed.). AEQUA, Girona, 201-206.

- Fernández Navarro, L. (1908). Datos geológicos acerca de las posesiones españolas del Norte de África. *Mem. R. Soc. Española Hist. Nat.*, t. V, 6, 259-338.
- Ludwig, K. (1991). ISOPLOT, a plotting and regression program for radiogenic-isotope data. *USGS Open-File Rept.*, 445.
- Millot, G.; Nahon, D.; Paquet, H.; Ruellan, A. et Tardy, Y. (1977). L'épigenèse calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride. Antiatlas, Maroc. *Sci. Géol. Bull.*, 30, 3, 129-152.
- Petit-Maire, N. (1992). Environnements et climats de la ceinture tropicale nord-africaine depuis 140.000 ans. *Mém. Soc. Géol. France*, 160, 27-34.
- Rodríguez Vidal, J.; Cáceres, L.M.; Alonso Chaves, F.M. y Rodríguez Ramírez, A. (1999). El Cuaternario en las islas Chafarinas (Norte de África). En: *Avances en el estudio del Cuaternario español* (L. Pallí Buxó y C. Roqué Pau, ed.). AEQUA, Girona, 195-200.
- Rognon, P. (1987). Late Quaternary climatic reconstruction for the Maghreb (North Africa). *Pal. Pal. Pal.*, 58, 11-34.
- Rognon, P. (1996). Climatic change in the African deserts between 130,000 and 10,000 y BP. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.323, série II a, 549-561.
- Schwarcz, H. & Latham, A. (1989). Dirty calcites. 1.- uranium-series dating of contaminated calcite using leachates alone. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, 80, 35-43.

Recibido el 16 de septiembre de 2000

Aceptado el 20 de octubre de 2000