

Oscilaciones eustáticas e implicaciones climáticas en el tránsito Neógeno-Cuaternario en la isla de Sal (archipiélago de Cabo Verde)

C. J. Dabrio¹, C. Zazo², J. A. González-Delgado³, J. L. Goy³, A. Cabero², Cl. Hillaire-Marcel⁴, L. Ortlieb⁵, J. Civis³ y T. Bardaji⁶

- 1 Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas-UCM e Instituto de Geología Económica CSIC, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España. dabrio@geo.ucm.es
- 2 Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. mcnzc65@mncn.csic.es, acabero@mncn.csic.es
- 3 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. angel@usal.es, joselgoy@usal.es, civis@usal.es
- 4 GEOTOP-UQAM, H3C 3P8 Montréal, Canadá. chm@uqam.ca
- 5 Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 32 avenue Henri-Varagnat, F-93143 Bondy Cedex, France. luc.ortlieb@bondy.ird.fr
- 6 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, España. teresa.bardaji@uah.es

ABSTRACT

Solution pipes interpreted as a cryptokarst separate large-scale cross-bedded megaforms of shallow-marine calcarenites deposited at the Neogene-Quaternary transition in Cape Verde Islands. This implies that depositional phases were followed by subaerial exposure of the cemented calcarenites during subsequent falls of sea level, and accumulation of unconsolidated eolianites which supported a vegetal cover that promoted the cryptokarst. The process was repeated several times. A widespread, more recent karstification with red silty clay filling of voids may represent the aridification of climate at the beginning of the Quaternary and the increased supply of Saharan dust by Trade Winds.

Key words: cryptokarst, sea-level changes, climate, Cabo Verde, Neogene, Quaternary.

INTRODUCCIÓN

La Isla de Sal (Cabo Verde, Fig. 1) está constituida mayoritariamente por materiales volcánicos del Mioceno al Pleistoceno. En su parte central afloran rocas sedimentarias neógeno-cuaternarias que forman una meseta plana a 50-60 m de cota, llamada el *Lajedo* (enlosado), en cuyas paredes empinadas se han levantado varias secciones (Fig. 1) para estudiar los materiales sedimentarios, analizar la alternancia de acumulación y de karstificación y su relación con oscilaciones eustáticas coetáneas. Se ofrece una primera hipótesis paleoclimática.

ESTRATIGRAFÍA

Los sedimentos se apoyan sobre materiales volcánicos miocénicos (25.6 ± 1.1 a 6.7 ± 0.6 Ma.), los más modernos de los cuales (5.6 ± 0.2 Ma) afloran en Serra Negra (Torres et al., 2002). Allí están recubiertas de conglomerados marinos que llegan a la cota 70 m cuya edad, de acuerdo con la posición en la sucesión estratigráfica, es Plio-Pleistoceno (Zazo et al., en prensa). Sobre ellos hay eolianitas con gasterópodos terrestres (*Helix* sp).

La superficie de los *lajedos* de Socorro y Tarafo se sitúa más baja, entre los 55 y 60 m. La meseta está constituida por

tres unidades superpuestas que se reconocen en casi todos los afloramientos estudiados aunque este trabajo se basa en las localidades 72 y 73 (Fig. 1).

Unidad I: calcarenitas blancas

Reposa sobre un paleorrelieve erosivo en los materiales volcánicos, con espesor variable sin superar los 2-3 m e incluye un conglomerado basal de clastos volcánicos.

La litología es calcarenitas blancas poco compactadas, con niveles arenosos cementados (loc. 68). Son *packstones* y *grainstones* mal seleccionadas con granos angulosos de rocas volcánicas y bioclastos de moluscos y algas coralinas mal preservados. Las facies y cementos son típicas de ambiente marino.

En algunos puntos hay parches de corales (Porífidae y otros) algunos con taludes que progradan hacia el E/NE (loc. 18) o SW (loc. 68) según la paleo-pendiente local (Fig. 1).

Unidad II: calcarenitas amarillentas

Reposa disconforme sobre la anterior o se apoya en las rocas volcánicas con un conglomerado basal de hasta 1 m de potencia (loc. 72 y 73) de clastos de rocas volcánicas y lumaquelas de moluscos y algas rojas. La fauna dominante

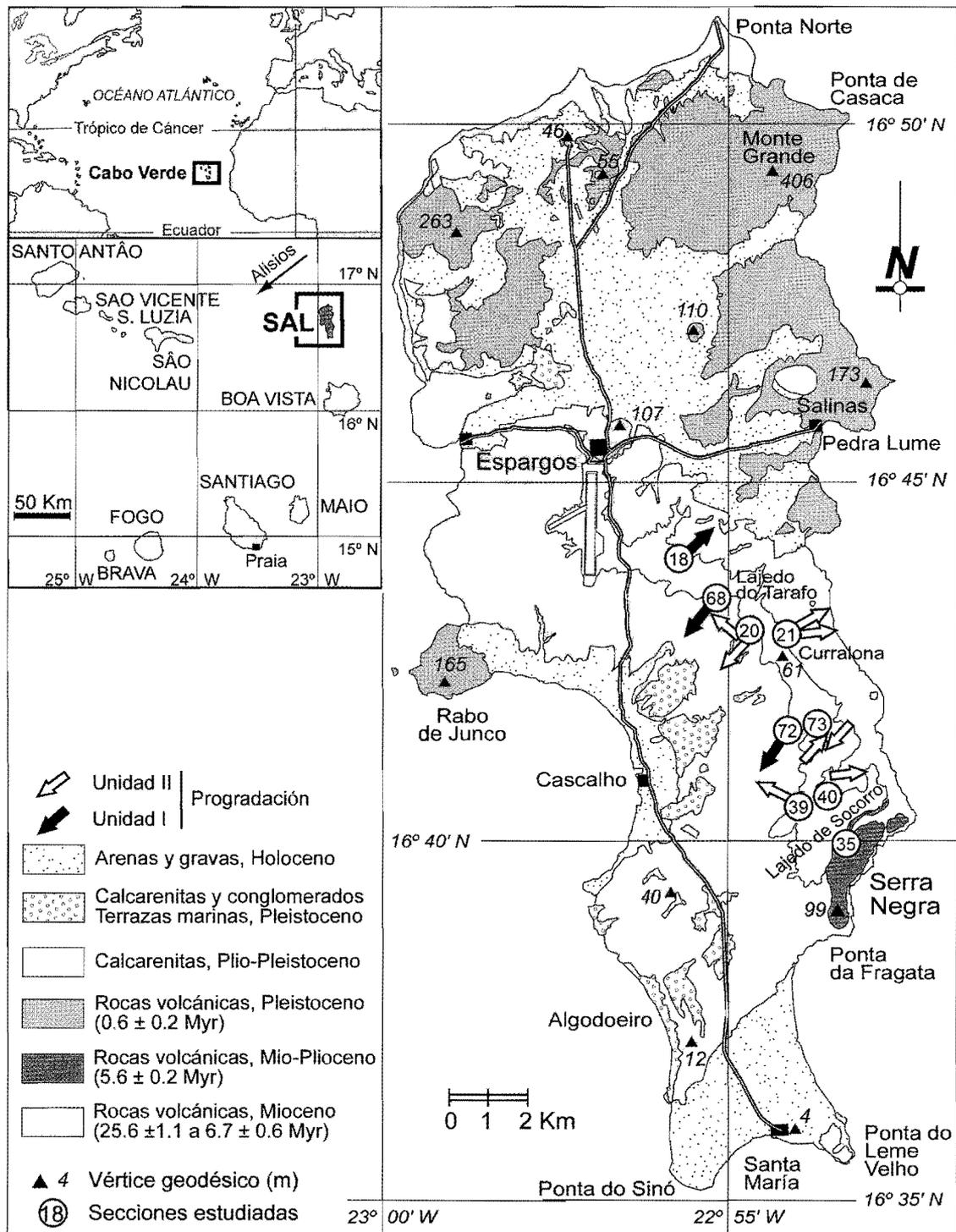


FIGURA 1. Mapas de situación del Archipiélago de Cabo Verde y esquema geológico de la Isla de Sal, con indicación de las secciones estudiadas (números: estaciones de campo).

es de bivalvos infaunales (*Pharus*) y semi-infaunales (*Pinna rudis*) en posición de vida y acumulaciones algo removidas de moluscos muy poco fragmentados (moldes de Donacidae, y valvas de *Modiolus* y *Ostrea* a veces articuladas) propios de ambientes marinos muy someros o litorales. Al microscopio son *packstones* y *grainstones*, con bioclastos de moluscos recristalizados y de foraminíferos y

algas rojas muy micritizadas, que han sufrido cementación marina temprana.

Esta unidad se divide en varios *sets* de estratificación cruzada de gran escala y bajo ángulo con direcciones dominantes E/NE y SW (Fig. 1 B), que corresponden a megaformas apiladas o acomodadas lateralmente. En el *toeset* de las megaformas hay *sets* decimétricos de estratificación cruzada

tabular dirigida en el mismo sentido que la de gran escala, muy similar a la descrita en la base del *foreshore* de playas progradantes micromareales. No obstante, (i) la existencia de unidades que progradan en direcciones opuestas incluso las adyacentes en un mismo afloramiento (Fig. 1, loc. 73) y (ii) la falta de criterios indicadores de una isla sugieren que se trata de lóbulos de *spillover* asociados a bajíos carbonatados y movidos por las corrientes superficiales inducidas por los vientos alisios dominantes hacia el SW (alisios) y las corrientes oceánicas al NE.

Las megaformas (a, b, c, Fig. 2) están separadas de las vecinas por superficies de karstificación lo que indica que la Unidad II se acumuló en varias fases.

Unidad III: calizas rojizas

Calizas compactas de color rojizo en bancos delgados, y generalmente mal preservadas a causa de la karstificación posterior. Son *wackestones* a *packstones* mal seleccionadas con bioclastos, de moluscos y algas rojas y pocos foraminíferos. La fracción siliciclástica (granos de rocas volcánicas) no supera el 15-20%.

Sobre la Unidad III se sitúa la terraza marina pleistocénica más antigua que es la base de la superficie del *lajedo* (Zazo *et al.*, 2004, en prensa).

LAS SUPERFICIES DE KARSTIFICACIÓN: IMPLICACIONES EUSTÁTICAS Y PALEOCLIMÁTICAS

El cryptokarst

La Unidad II contiene varias superficies de karstificación y está limitada a techo por otra (Fig. 2A y B). La más antigua de ellas presenta tubos de disolución (*solution pipes*) verticales de sección circular de hasta 20 cm de diámetro, y longitud variable hasta 1.5 m, con el extremo inferior en forma de semiesfera (Fig. 2C).

Los *solution pipes* se forman en un *cryptokarst*, o karst subsuperficial, cuya génesis es discutida. Para unos autores (Marisco y Selleri, 2003) requiere que una roca carbonatada cementada quede enterrada bajo un material arcilloso no consolidado ni karstificable, que acoge una cobertera vegetal que favorece la disolución de los tubos; parte del material arcilloso rellena los tubos. Otros (Herwitz, 1993) dan menos protagonismo a la cobertera sedimentaria frente al flujo de aguas aciduladas que canalizan los troncos de ciertas plantas y que ataca la roca cementada del subsuelo.

Los ejemplos estudiados en la Isla de Sal apuntan a la segunda posibilidad, pues la litología de los rellenos de los tubos (Fig. 2C, R) es muy parecida a la de la roca encajante. El relleno es micrítico con peloides de micrita y fragmentos

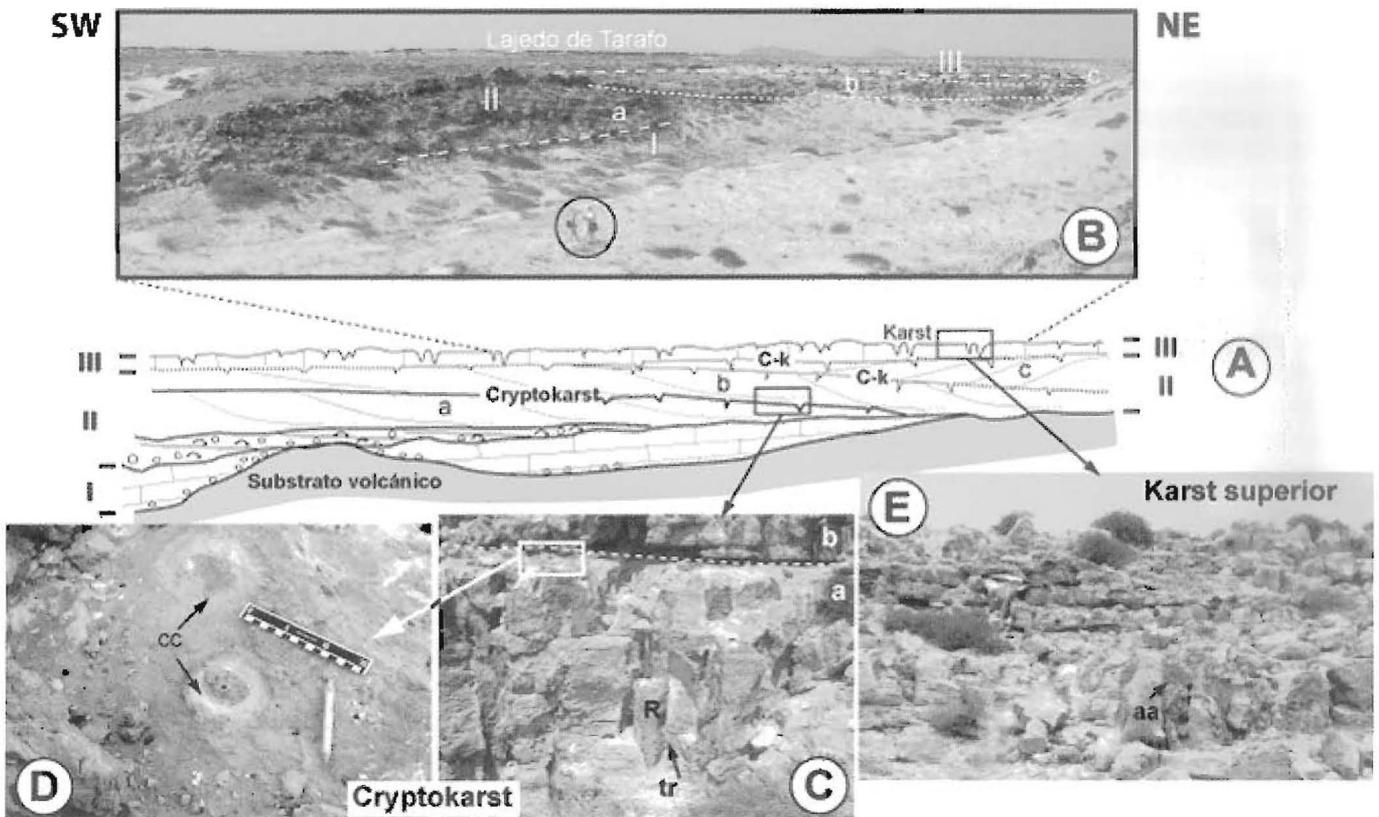


FIGURA 2.(A) Reconstrucción esquemática de las unidades presentes en la localidad 73 y (B) panorama de parte del afloramiento con las tres unidades (I-III) y subunidades (a, b, c) referidas en el texto (escala: personas en el círculo). (C y D) *solution pipes*: en sección, con las trazas de raíces (tr), y en planta con la cementación carbonatada (cc) en el contacto de la roca encajante y el relleno (R). La línea discontinua marca el límite de las megaformas a y b. (E) karst superior en la unidad III relleno de arcilla arenosa rojiza (aa).

volcánicos. La fracción bioclástica deriva de algas rojas y foraminíferos, con pocos bivalvos calcíticos. En planta, aparece una cementación carbonatada (Fig. 2D, cc) en el contacto de la roca encajante y el relleno (Fig. 2C, R). Los cementos son típicos de ambientes freáticos con agua intersticial, propios de un clima relativamente húmedo. Algunos rellenos incluyen formas asimilables a moldes carbonatados de raíces (Fig. 2C, tr).

Nuestra hipótesis es que el cryptokarst se formó cuando las calcarenitas marinas cementadas quedaron emergidas en una fase posterior de nivel del mar bajo (*lowstand* s.l.) durante la que se acumularon dunas eólicas (eolianitas) costeras calcareníticas que no se cementaron y sirvieron de sustrato a vegetación de clima húmedo. Las eolianitas se erosionaron durante la siguiente subida del nivel del mar quedando de ellas sólo el relleno de los tubos de disolución y un nivelillo indistinguible entre las megaformas.

Las otras dos superficies internas de la Unidad II presentan rasgos parecidos, pero su atribución a cryptokarst es algo más dudosa porque los procesos kársticos posteriores las han retocado. No obstante admitimos que muy probablemente se trata también de otros episodios de cryptokarst, lo que implica que el depósito de la Unidad II fue coetáneo de repetidas fluctuaciones eustáticas (al menos tres). Teniendo en cuenta que cuando se depositó esta unidad (Plio-Pleistoceno) el registro climático estaba dominado por ciclos de precesión (19 a 23 Ka) y oblicuidad (41 Ka) de Milankovitch, es de suponer que esa era la frecuencia de las fluctuaciones eustáticas. No hay criterios para evaluar la amplitud de la oscilación eustática pero tras cada una de ellas el nivel del mar subió a una cota ligeramente más alta (ca. 1 m) que la anterior (Fig. 2).

El karst superior

El karst a techo de la Unidad III se formó al exterior y es un lapiaz relleno de lutita (arcilla arenosa) roja (Fig. 2E, aa). Genéticamente es diferente al anterior, con fases de alteración y agrietamiento y posterior relleno de las grietas, debidas a sucesivas desecaciones.

El cambio de un tipo de karstificación al otro puede deberse al deterioro climático de comienzos del Cuaternario, cuando se intensificó la tendencia a la aridez respecto al

clima cálido y húmedo del Plioceno. Este karst ha permanecido activo largo tiempo y afecta también la terraza marina pleistocénica más antigua (T.1 de Zazo *et al.*, 2004, en prensa) sobre la Unidad III, lo que justifica en parte la mayor abundancia de relleno arcilloso rojizo. Una explicación adicional para esta abundancia es que al hacerse más seco el clima aumentó la deflación eólica en África y la cantidad de polvo sahariano a disposición de los vientos alisios que soplan hacia el archipiélago de Cabo Verde.

AGRADECIMIENTOS

Financiado por los Proyectos: CGL2005-01336/BTE y CGL2005-04655/BTE y (CHM) por el S.E.E.R. Council (Canada) y la UNESCO Chair for Global Change Study (Univ. Québec). Contribución a: IGCP495, Comisión de Procesos Marinos y Costeros de INQUA y Grupo de Trabajo Paleoclimatología y Cambio Global UCM (910198).

REFERENCIAS

- Herwitz, S.R. (1993): Stemflow influence on the formation of solution pipes in Bermuda colianite. *Geomorphology*, 6: 253-271.
- Marsico, A. y Selleri, G. (2003): Stop 4.1.4. The solution pipes. *GPP Coast. Research Publication*, 5: 113-115.
- Torres, P.C., Silva, L.C., Serralheiro, A., Tassinari, C. y Munhá, J. (2002): Enquadramento geocronológico pelo método K/Ar das principais sequências vulcano-estratigráficas da Ilha do Sal-Cabo Verde. *Garcia de Orta, Serie Geologia*, Lisboa, 18 (1-2): 9-13
- Zazo, C., Goy, J.L., Bardají, T., González, J.A., Hillaire-Marcel, Cl., Dabrio, C.J., Lario, J., Civis, J., Luque, L., Ghaleb, B., Borja, F., Silva, P.G., González-Hernández, F., Soler, V., Gillot, P.Y. (2004): El efecto de los ciclos climáticos en las variaciones del nivel del mar. *Miscelánea en Homenaje a Emiliano Aguirre, I Geología, Museo Arqueológico Regional, Alcalá de Henares*, 156-167.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Soler, V., Hillaire-Marcel, Cl., Ghaleb, B., González-Delgado, J.A., Bardají, T., Cabero, A. (en prensa): Quaternary Marine Terraces in Sal Island (Cape Verde Archipelago). *Quaternary Science Reviews*.