

Los diques básicos del Edificio volcánico principal de la isla de São Vicente (Cabo Verde)

The basic dikes of main volcanic Edifice of São Vicente Island (Cape Verde)

Francisco Hernán ⁽¹⁾, José Luis Brändle ⁽²⁾, María José Huertas ⁽²⁾ y Eumenio Ancochea ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, C/Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 38206 La Laguna, Tenerife, España. fhernan@ull.es;

⁽²⁾ Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Instituto de Geología Económica. (CSIC – Universidad Complutense), Avda. José Antonio Novais 2, 28040 Madrid, España. brändle@geo.ucm.es, huertas@geo.ucm.es, geodec@geo.ucm.es

ABSTRACT

Basaltic dikes and sills are very frequent in the main volcanic edifice of the island, the São Vicente Edifice. They can be arranged in two main systems: a system of sills concentrated in the lowermost levels of the edifice and a system of vertical or nearly vertical dikes crosscutting the entire sequence of the Lower São Vicente Edifice though these dikes are interrupted in the Upper São Vicente Edifice.

The vertical dikes form two superimposed radial and three-armed patterns. The dikes converge inland south of Mindelo, an area where the main eruptive centre of the volcano must also have been situated. The centre inferred by the maximum convergence of dikes might have migrated towards the south-east.

Key-words: Basic dikes, radial dikes, oceanic islands, São Vicente Island, Cape Verde islands.

RESUMEN

En la isla de São Vicente (Cabo Verde) son muy frecuentes los diques básicos que atraviesan el edificio volcánico principal de la isla: el Edificio São Vicente. Éstos aparecen en dos enjambres principales: sills que se concentran en los niveles estratigráficamente más bajos del edificio y diques verticales que encajan en todos los niveles del Edificio São Vicente Inferior y que no atraviesan el Edificio São Vicente Superior.

Los diques verticales se distribuyen según una pauta radial general, a la que se superpone una pauta en estrella de tres puntas, y convergen en el interior de la isla, al sur de la bahía de Mindelo, donde estaba situado el centro del edificio volcánico. El centro de convergencia de diques pudo emigrar a lo largo del tiempo hacia el sureste.

Palabras clave: Diques básicos, diques radiales, islas oceánicas, isla de São Vicente, Cabo Verde.

Geogaceta, 50-1 (2011), 35-38.
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 8 de Febrero de 2011
Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011
Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

Introducción

El archipiélago de Cabo Verde está situado al oeste de la costa de Senegal, entre los 15° y los 17° de latitud norte y los 22° y 26° de longitud oeste (Fig. 1). Está formado por diez islas principales que se distribuyen a lo largo de dos alineaciones que se unen en forma de herradura hacia la costa africana: la alineación de Sotavento (al sur) y la de Barlovento (al norte) de la que forma parte la isla de São Vicente.

Las primeras publicaciones sobre la geología de la isla de São Vicente corresponden a Bebiano (1932), Assunção y Canilho (1965) y Serralheiro (1966). Ancochea *et al.* (2010) establecen la volcanoestratigrafía de la isla y concluyen que está formada por un único edificio volcánico subaéreo: el Edificio São Vicente (ESV), esencialmente plio-

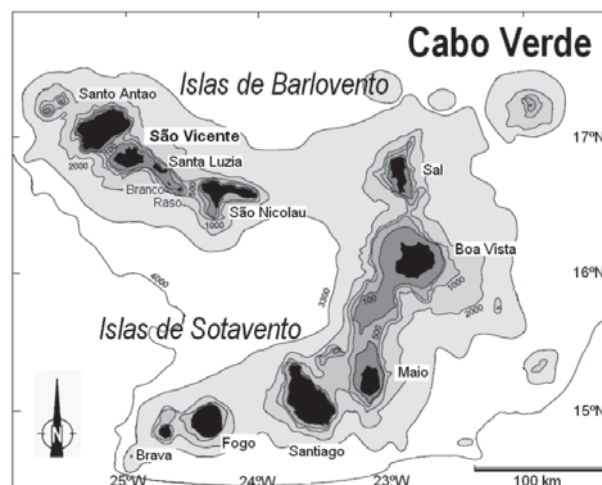


Fig.1.- Situación de las islas y batimetría del archipiélago de Cabo Verde (modificado de Holm *et al.*, 2008).

Fig. 1.- Location and bathymetric map of the Cape Verde Islands. (Modified after Holm *et al.*, 2008).

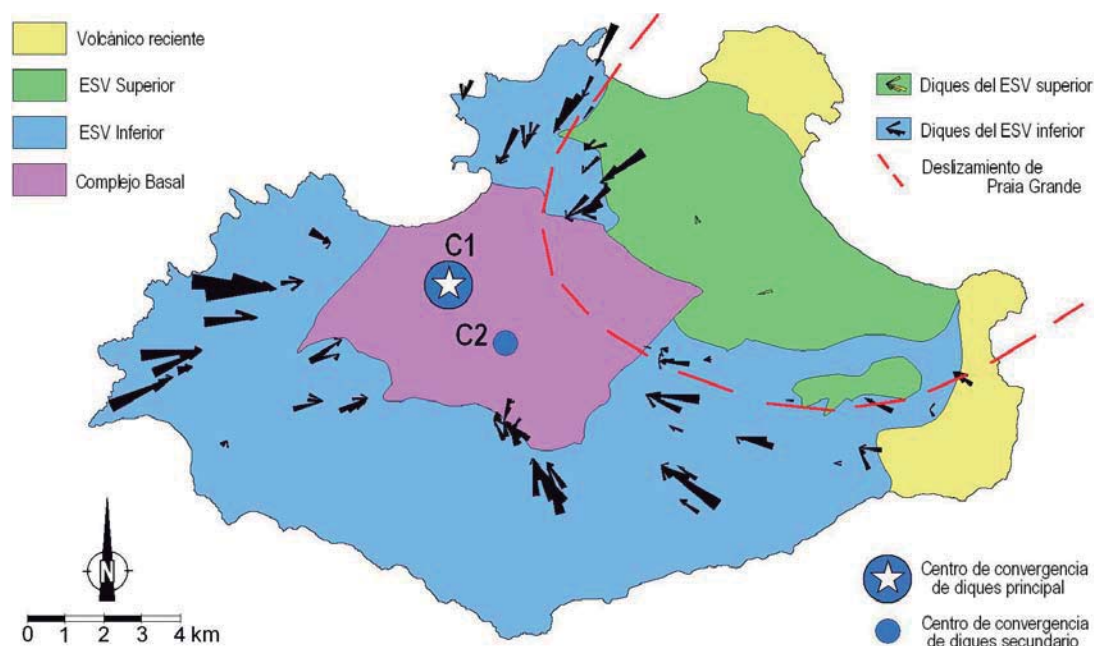


Fig. 2.- Esquema geológico de la isla de São Vicente con la distribución de los diques.

Fig 2.- Simplified geological map of São Vicente showing the distribution of dikes.

ceno, que se construyó en dos fases principales: el Edificio São Vicente Inferior y el Edificio São Vicente Superior, separadas por un gran colapso lateral: el deslizamiento de Praia Grande (Fig. 2). Finalmente, tras una importante pausa de la actividad, se desarrolla un vulcanismo reciente que es de menor entidad; se limita a escasos conos estrombolianos de los que se emitieron coladas de basaltos olivínico-piroxénicos (Trindade *et al.*, 2003) de 0.33 ± 0.05 Ma de edad (Jorgensen y Holm, 2002).

El ESV cubrió la práctica totalidad de la isla y se extendió en el mar uno o dos kilómetros más de lo que hoy aflora en superficie. El radio de este edificio pudo ser de 10-12 km y su altura superó los 2500 m, alcanzando posiblemente los 3200 m (Ancochea *et al.*, 2010).

La importante erosión que ha afectado al Edificio São Vicente, ha dejado al descubierto, en la parte central de la isla, el Complejo Basal (CB); un conjunto de rocas volcánicas y plutónicas transformadas y alteradas, atravesadas por una red filoniana muy densa. Se interpreta que el CB está formado por los restos del edificio submarino previo al ESV y por las raíces subvolcánicas y vías de ascenso de los magmas de los diferentes episodios de construcción del ESV. Las edades radiométricas más antiguas obtenidas en esta unidad corresponden a diques de 9 Ma, que sería una edad mínima de formación del edificio submarino (Ancochea *et al.*, 2010).

Los enjambres de diques

Igual que en otras islas oceánicas como Fuerteventura (Ancochea *et al.*, 1996) o La Gomera (Ancochea *et al.*, 2008), los enjambres de diques son clave para reconstruir la evolución volcánica de la isla de São Vicente. La densidad y complejidad de los enjambres aumenta, lógicamente, con la edad de las unidades que atraviesan; así: no se han encontrado diques en los materiales volcánicos recientes, son pocos (uno cada kilómetro) en el Edificio São Vicente Superior, muy frecuentes en el Edificio São Vicente Inferior y enormemente abundantes en el Complejo Basal (más del 60% de la superficie de los afloramientos).

Se han realizado medidas de 850 diques, distribuidos en 98 estaciones. De ellas 260 medidas en 41 estaciones corresponden al CB; otras 584 en 53 estaciones al ESV Inferior y finalmente 6 medidas más, en 4 estaciones, al ESV Superior (Fig.2).

Los escasos diques que atraviesan el ESV Superior no definen pauta alguna. Los que atraviesan el Complejo Basal tienen todo tipo de direcciones, dominando las próximas al este-oeste: el 68% del total de estos diques tienen direcciones incluidas entre $N60^\circ$ y $N130^\circ$ y el 39% entre $N80^\circ$ y $N110^\circ$ (Figs. 2 y 3).

Una parte de los diques que atraviesan el CB continúan en el ESV. En general, los que cortan a ambos (ESV y CB) son más es-

casos y se diferencian de los que aparecen exclusivamente en el CB en que no están recrystalizados, ni alterados, aunque no tienen direcciones diferentes a las del resto de los diques del CB.

Los diques del Edificio Volcánico Inferior

En el ESV Inferior es donde mejor se pueden analizar las características de los diques. Existen dos familias de diques principales, ambas de composición básica: una formada por diques verticales o subverticales y otra de sills ligeramente inclinados (Huertas *et al.*, 2006 y Ancochea *et al.*, 2010). Estos últimos son subconcordantes con las coladas pahoehoe en las que encajan y se concentran en la parte más baja de la sucesión de coladas que constituyen el ESV Inferior. Tienen espesores entre 50 cm y 100 cm y suelen ser basaltos afaníticos (no se han representado en las figuras).

Los diques verticales-subverticales son los más frecuentes en este edificio. Su espesor varía entre los 10 cm y los 5 m, con un valor medio de 70 cm. Las dos terceras partes tienen entre 30 y 100 cm, y un 22% más de 1 m de espesor.

La densidad de diques varía mucho de unas estaciones a otras. En las de mayor densidad, llega a ser de un dique cada 1,5 metros, mientras que en otras sólo hay un dique cada 100 metros, o incluso menos. La

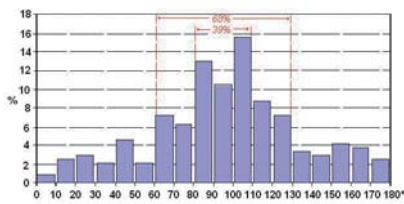


Fig. 3.- Direcciones de los diques del Complejo Basal.

Fig 3.- Strikes of the Basal Complex dikes.

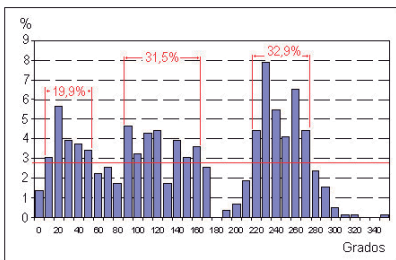


Fig. 4.- Distribución de las direcciones de los diques del Edificio São Vicente Inferior. La línea roja horizontal marca una distribución radial perfectamente homogénea.

Fig. 4.- Distribution of dike strikes in the Lower São Vicente Edifice. The horizontal red line marks an ideal perfectly homogeneous radial pattern.

densidad media es de un dique cada 6-7 metros. Ello supone que, como consecuencia de su intrusión, la extensión máxima experimentada por el edificio ha sido del orden del 45% en las zonas de mayor densidad de diques, y la extensión media del orden del 10%.

Se trata en todos los casos de diques de composición basáltica, lo que avala que

sean los conductos de salida de los magmas del ESV Inferior, pues las rocas de éste son siempre basálticas, mientras que las del ESV Superior son basaníticas o nefeliniticas (Jørgensen y Holm 2002, Ancochea *et al.*, 2010). Las edades radiométricas obtenidas también lo confirman: los diques que atraviesan el ESV Inferior tienen entre 6,1 y 4,6 Ma. Las coladas del ESV Inferior tienen edades similares a las de los diques: entre 5,5 a 5,0 Ma; mientras que las coladas del ESV Superior son más jóvenes: 4,2 a 3,4 Ma (Ancochea *et al.*, 2010).

En conjunto, se observa que estos diques tienen una distribución, a grandes rasgos radial y que convergen hacia el centro de la isla (Fig. 2). En detalle (Fig. 4) el porcentaje de diques en cada dirección no es igual, como lo sería en una distribución radial perfecta, sino que hay máximos y mínimos.

La menor proporción de diques en algunas direcciones es consecuencia de distintas causas. En ocasiones puede ser debido a que no aflore el ESV Inferior, bien por estar erosionado o bien por estar cubierto por otras formaciones rocosas. Eso ha debido suceder en el caso de los diques de direcciones N340° a N10° en la bahía de Mindelo, ya que en esa zona el ESV Inferior ha sido totalmente erosionado. En cambio, que haya menos diques de dirección N60° y N90°, puede deberse a que, en esa zona, el ESV Inferior está cubierto por las rocas del ESV Superior (Figs. 2 y 4).

Sin embargo, hay otros sectores en los que los materiales del ESV Inferior afloran y,

a pesar de ello, el número de diques es muy escaso. Es el caso de los diques de direcciones N170° a N210° o N280° a N330° (Fig.4).

Los intervalos de direcciones en las que los diques son claramente más frecuentes que la media teórica son tres (Fig. 4): la N10° a N50° en la que hay un 19,9% de los diques, un 43% más de lo que correspondería en una distribución radial homogénea; la N90° a N160°, con un 31,5% de los diques, un 42% más de lo que correspondería y la más importante, la N220° a N270°, con un 32,9% de los diques, un 97% más de lo que le correspondería.

La distribución general de los diques parece pues corresponder a un patrón radial, al que se superpone un patrón de estrella de tres puntas, con una punta mejor definida (la N20°) y otras dos más amplias y ligeramente bimodales. En un modelo ideal teórico de diques radiales, las prolongaciones de los diques, convergerían todas en un punto, que sería el centro del enjambre. En la realidad esas prolongaciones se cortan en múltiples puntos y puede considerarse que el centro del enjambre se sitúa en la zona de máxima concentración de esos puntos de intersección (zona de convergencia). Los autores (Brändle *et al.*, 1991) han desarrollado, con ese planteamiento, un método para identificar áreas de procedencia de enjambres radiales y lo han aplicado con éxito en la identificación de los edificios antiguos de Fuerteventura (Ancochea *et al.* 1996) y La Gomera (Huertas *et al.* 2000, Ancochea *et al.*, 2003 y 2008). Siguiendo ese procedimiento, se obtiene que el centro de convergencia de los diques radiales se sitúa en el interior de la isla, al sur de la bahía de Mindelo, en una posición cuyo centro tendría como coordenadas UTM aproximadas: 1.865.150N y 712.250E (C1, Figs. 2 y 7b). A ese centro convergerían el 73,6% de los diques del ESV Inferior (Fig. 6).

En muchas de las estaciones (Figs. 2 y 5) se aprecia claramente que la distribución de las direcciones de los diques del ESV Inferior es bimodal, ya que existen dos direcciones próximas, separadas hasta 20° y 30°. Además, al analizar en el terreno las relaciones de corte entre diques, se observa que los más antiguos convergen hacia un sector situado más al norte y los más jóvenes hacia un sector situado más al sur.

Aplicando el mismo sistema anterior, pero exclusivamente a los diques de esa se-



Fig. 5.- Diques básicos que atraviesan el ESV Inferior en la costa occidental de la isla. En amarillo algunos de los diques más jóvenes y en rojo los más antiguos.

Fig.5.- Basaltic dikes crosscutting the Lower San Vicente Edifice in the western coast of the island. Some dikes belonging to two different main dike systems are enhanced in yellow (younger dikes) and red colours (older dikes).

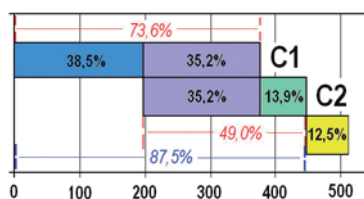


Fig. 6.- Porcentaje de diques que convergen en los centros C1 y C2. Un 73,6% convergen hacia C1 y un 49% hacia C2. Un 35,2% de los diques pueden estar relacionados tanto con C1, como con C2. Un 12,5 % no convergen hacia ninguno de los dos centros.

Fig. 6.- Percentages of dikes converging at the estimated centres C1 and C2. 73% of the total amount of dikes might converge at C1 and 49% at C2. Finally, 35,2% of them correspond to non discriminated dikes that might converge at both the centres.

gunda moda, puede calcularse la posición de un segundo sector de convergencia de los diques, C2. Se encuentra situado a unos tres kilómetros al SE del anterior (alrededor de un punto de coordenadas UTM: 1.862.800N, 714.200E, Figs. 2 y 7c). A ese segundo centro C2, menos importante, converge el 49 % de los diques, con lo que, teniendo en cuenta que parte de los diques pueden pertenecer a cualquiera de los dos sistemas (un 35,2%, por ejemplo los NO-SE) con los dos centros se justifica el 87.5 % de los diques (Fig.6). Su posición indicaría que la actividad volcánica se desplazó ligeramente en esa dirección SE, que coincide con la dirección de una de las ramas del patrón en estrella (Fig. 7a).

Conclusiones

Los diques básicos del Edificio de São Vicente se concentran esencialmente en la unidad inferior, distribuyéndose en dos tipos principales: sills que encajan en las lavas pahoehe más antiguas del edificio, y diques verticales-subverticales que cortan todas las unidades del Edificio São Vicente Inferior, pero no las del Edificio São Vicente Superior.

El enjambre de dique subverticales se distribuye según una pauta radial que con-

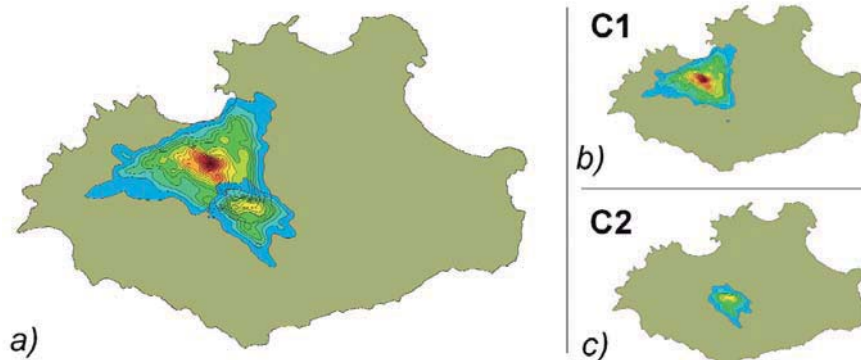


Fig. 7.- Posición de los centros de convergencia de diques C1 y C2 (b y c). Isolíneas de igual número de intersecciones de diques. Empiezan en 100 (equidistancia 100). a) Superposición de las figuras b) y c).

Fig. 7.- Location of centers (b and c). Isolines are representing a similar number of dike intersections. The minimum number of intersections represented by the outermost isoline is 100 as well as the difference existent between two contiguous lines. a) A superimposition of figures b) and c).

verge en el centro de la isla, donde posiblemente se situaría el centro del edificio volcánico. Dentro de esa distribución radial, los diques son más frecuentes en tres direcciones, que definen una pauta en estrella de tres puntas.

Es posible que a lo largo de la evolución de este edificio el centro de la actividad haya emigrado ligeramente hacia el SE. El mayor desarrollo de los niveles superiores del ESV Inferior (de la Formación Monte Cara – Madeiral, Ancochea *et al.*, 2010) hacia el SE, apoya también el que la actividad haya emigrado en esa dirección.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los Proyectos CGL2006-03414/BTE y CGL2009-07946 y forma parte de las actividades del Grupo de Investigación UCM-CAM 910469: "Vulcanismo". Nuestro agradecimiento por sus observaciones a J. de La Nuez y R. Casillas, así como a los editores F.M. Alonso Chaves y C. Fernández Rodríguez.

Referencias

Ancochea, E., Brändle, J.L., Cubas, C.R., Hernán, F. y Huertas, M.J. (1996). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70, 183-204.

- Ancochea, E., Brändle, J.L., Huertas, M.J., Cubas, C.R. y Hernán, F. (2003). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 120, 197-206.
- Ancochea, E., Brändle, J.L., Huertas, M. J., Hernán, F. y Herrera, R. (2008). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 173, 207-216.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., Hernán, F. y Brändle J.L. (2010). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 198, 143-157.
- Assunção, C.F. Torre de y Canilho, M.H.S. (1965). *García de Orta*, 13, 235-258.
- Bebiano, J. (1932). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 18, 276 p.
- Brändle, J.L., Ancochea, E., Cubas, C.R. y Hernán, F. (1991). *Geogaceta*, 10, 97-100.
- Holm, P.M., Grandvuiet, T., Friis, J., Wilson, J. R., Barker, A.K. y Plesner, S. (2008). *Journal of Geophysical Research*, 113, B-8, B08201, doi:10.1029/2007JB005339.
- Huertas, M.J., Brändle, J.L., Ancochea, E., Hernán, F. y Cubas, C.R. (2000). *Geogaceta*, 27, 133-137.
- Huertas, M. J., Hernán, F., Ancochea, E. y Brändle, J.L. (2006). *Geogaceta*, 40, 95-98.
- Jørgensen, J.O. y Holm, P.M. (2002). *Chemical Geology*, 192, 249– 267.
- Serralheiro, A. (1966). *García de Orta. Revista da Junta de Investigações do Ultramar*, 14, 139-152.
- Trindade, M.J., Mata, J. y Munhá, J. (2003). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro de Portugal*, 90, 169-188.