

COMUNICACIÓN

CRÁTER DE EXPLOSIÓN ASOCIADO AL VOLCANISMO CRETÁCICO EN LA REGIÓN CUMBRAL DE LA SIERRA CHICA, CÓRDOBA

Natalia del Valle OVIEDO y Ricardo A. ASTINI

Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. E-mails: oviedonatalia@hotmail.com.ar, raastini@efn.uncor.edu

RESUMEN

Por primera vez se describe un cráter volcánico asociado con la actividad magmática cretácica de sinrift que caracterizó a la faja central de la República Argentina en la región cumbral de la Sierra Chica de Córdoba. La estructura subcircular rellena de depósitos brechosos que contiene bloques y escorias basálticas se aloja en el basamento cristalino. Posee ~300 m de diámetro promedio y 45 m de desnivel topográfico. Se encuentra en las cabeceras de un gran paleovalle que se abre hacia al este, labrado sobre la dorsal de la Sierra Chica y relleno con depósitos volcánoclasticos del Cretácico y pséfitas del fanglomerado Valle del Sol, que la cubren en discordancia erosiva. Dicha estructura (*maar*-diatrema) se asocia con la actividad explosiva, de naturaleza freatomagmática, del volcanismo monogénico del Cretácico (Formación El Pungo). Asociados con dicho episodio, se reconocen depósitos volcánicos y volcanosedimentarios en la proximidad.

Palabras clave: *Cráter de explosión, Cretácico, volcán monogénico, freatomagmática, Argentina*

ABSTRACT

Explosion crater associated with the Cretaceous volcanism atop the Sierra Chica, Córdoba

For the first time a volcanic crater associated with the Cretaceous synrift magmatic activity that characterized a north-south trending belt in central Argentina, near the top of the Sierra Chica of Córdoba, is described. The subcircular structure filled with brecciated deposits containing blocks and basaltic scoria develops in rocks of the crystalline basement. The annular structure has ~300 m mean diameter and 45 m depth. It is located in the head-waters of a great paleovalley that opens towards the East, incised on the basement rocks of the Sierra Chica and filled with cretaceous volcanoclastic deposits and conglomerates of the Fanglomerado Valle del Sol that overlies it in erosive unconformity. The maar-diatreme structure is associated with a strongly explosive stage, of freatomagmatic origin, related to monogenetic volcanism that occurred during the Cretaceous (El Pungo Formation). Associated with this episode, volcanic and volcanosedimentary deposits were recognized in the vicinity.

Keywords: *Explosion crater, Cretaceous, monogenic volcano, freatomagmatic, Argentina*

INTRODUCCIÓN

Durante el Cretácico se generaron cuencas extensionales alineadas con las actuales Sierras Pampeanas Orientales de Córdoba y asociadas con el episodio de *rifting* que condujo a la apertura del océano Atlántico (Uliana y Biddle 1988, Schmidt *et al.* 1995). Este proceso de extensión cortical habría favorecido el desarrollo de actividad magmática basáltica (véase Gordillo y Lencinas 1979, Kay y Ramos 1996) en esta región. La posterior inversión tectónica asociada con el levantamiento andino de la Sierra Chica ha destechado y

eliminado parte de este registro. Sin embargo, relictos de dicha actividad eruptiva (Gordillo y Lencinas 1967 y 1979, Lagorio 2008) y depósitos volcanosedimentarios asociados al ciclo de sedimentación de sinrift han sido descriptos y estudiados por Delpino *et al.* (1999), Sánchez *et al.* (1999 y 2001) y Sánchez (2001a y 2001b) en la localidad del Pungo. Recientemente, la apertura de la nueva traza del camino al Cuadrado, que corta la Sierra Chica (~31°8'S) entre las localidades de Salsipuedes y Valle Hermoso han permitido estudiar en detalle (Oviedo 2012) depósitos de caída y de gravedad asocia-

das a procesos estrombolianos y depósitos de oleadas piroclásticas y bloques balísticos producto de manifestaciones freatomagmáticas (Oviedo y Astini 2014) que forman parte de una cubierta volcanosedimentaria preservada como relictos sobre la dorsal de la Sierra Chica. Hasta el presente, sin embargo, no han sido documentadas estructuras volcánicas que puedan ligarse a los depósitos volcánicos y volcanosedimentarios cretácicos en la región, y solo se conoce un ejemplo en el NOA asociado con el Grupo Salta (Risso *et al.* 1993). El grado de preservación de volcanes de tipo monogénico es

muy bajo, dado que inmediatamente finaliza la etapa activa del volcán, comienzan a actuar los procesos de degradación (etapa pasiva) (Wood 1980a y b, Cas y Wright 1987, Valentine *et al.* 2006, Kereszturi y Németh 2013). Dicha degradación es el resultado de una combinación de controles climáticos, tectónicos, geomorfológicos y biológicos, como así también de las características composicionales y texturales del depósito.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer la existencia de un cráter de explosión (estructura de tipo *maar*-diatrema) asociado con la actividad volcánica del Cretácico que ha sido preservado bajo una cubierta sedimentaria relictual que aún cubre, de a parches, la región cumbral de la Sierra Chica y su vertiente este. La misma constituye al momento, la única estructura volcánica cretácica que ha sido cartografiada en la provincia de Córdoba (Fig. 1) y se habría formado durante una etapa de sinrift.

MARCO GEOLÓGICO

La Sierra Chica constituye el segmento más oriental de las Sierras Pampeanas y se originó por inversión tectónica, durante el Mioceno-Plioceno, de fallas normales cretácicas asociadas a una etapa de sinrift desarrollada en la región central de Argentina (Schmidt *et al.* 1995, Martino *et al.* 2012).

El basamento de la sierra es de edad neoproterozoica-paleozoica y de naturaleza ígnea-metamórfica (Pastore 1932, Gordillo y Lencinas 1979, Dalla Salda 1984, Kraemer *et al.* 1995, Baldo *et al.* 1996), estando constituido por rocas paraderivadas (metasedimentarias) y ortoderivadas, e intrusivos filonianos de composición variable (Baldo *et al.* 1996). La cubierta sedimentaria se distribuye a manera de parches aislados a lo largo de la Sierra Chica y está representada fundamentalmente por depósitos epiclásticos psefíticos rosados a rojizos pálidos conocidos como Formación (Fanglomerados) Valle del Sol (Gordillo y Lencinas 1967). Sobre ella se apoyan relictos de depósitos aluviales y loesoides cuaternarios. Asimismo, en

un trabajo reciente, luego de la apertura de la nueva traza del camino al Cuadrado (véase Fig. 1), Oviedo y Astini (2014) reconocieron interpuesta entre los Fanglomerados Valle del Sol y el basamento, una unidad volcanosedimentaria de carácter lenticular, conteniendo facies primarias de caída, gravedad y oleadas. Los autores interpretaron a estos depósitos como asociados a etapas activas de volcanismo estromboliano y freatomagmático cretácico ocurridos en la proximidad. Asimismo, reconocieron depósitos de retrabajo temprano y tardío que caracterizaron como pertenecientes a etapas pasivas y asociadas con la degradación del sistema.

TERMINOLOGÍA

La terminología empleada para identificar las geoformas asociadas con erupciones explosivas de tipo freatomagmáticas (*maar*; diatrema, cráter de explosión, etc.) ha sido utilizada de manera ambigua y confusa en la literatura (véase Poblete Piedrabuena 1992, White y Ross 2011).

En este trabajo, siguiendo las definiciones de Rittmann (1963), Tricart (1968) y Lorenz (1973) se empleará el término *maar* como sinónimo de cráter de explosión cuando dicha depresión se encuentra ocupada por un cuerpo de agua (lago cratérico).

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

La estructura subcircular se ubica aproximadamente 1,3 km al suroeste del casco de la estancia La Sureña, en la región cumbral de la Sierra Chica, sobre la traza del camino al Cuadrado (ruta provincial N° E-57)(Fig. 1). Sus coordenadas son 31°8'24,01"S- 64°25'29,89"O, encontrándose a una elevación actual de ~1250 m s.n.m. y a escasos metros de la divisoria de aguas.

Dicha estructura fue reconocida en trabajos de campo y posee geometría semicircular, ~300 m de diámetro promedio, con una suave elongación en sentido este-oeste (Fig. 1b). Actualmente posee unos 40 m de desnivel topográfico (entre ~1265 m

s.n.m. en los bordes y ~1225 m s.n.m. en la depresión central, Fig. 1c). La misma afecta directamente a las rocas del basamento cristalino que en la región poseen una foliación general con rumbo norte-sur y buzamiento de alto ángulo hacia el este (Fig. 1b). Esta fábrica controla la orientación de diques y filones ígneos paleozoicos.

Durante la recorrida de campo, pudo verificarse que los bordes de la estructura están constituidos por rocas del basamento y su altura promedio está entre 1260 y 1270 m, mientras que el fondo de la depresión, relativamente plano, se encuentra entre 1220 y 1230 m. En el borde oeste se hallaron depósitos de brechas volcanosedimentarias dispuestas en un contacto neto y vertical contra las rocas del basamento (Fig. 2b). La brecha contiene bloques angulosos y subangulosos de naturaleza volcánica (basaltos vesiculados y amigdaloides) con diámetros de hasta 1,5 m (Fig. 2c) y numerosos bloques del propio basamento dentro de una matriz arenolítica, mal seleccionada, de color rosada y cementada con carbonatos (Fig. 2d). La misma carece de estratificación evidente, sin embargo parece contener planos con inmersión hacia el centro de la estructura. Composicionalmente la matriz del depósito contiene un predominio de granos y clastos juveniles rojizos, subangulosos a subredondeados, vesiculados y alterados y una fracción de entre 10-20 % de clastos de basamento. Estos últimos pueden llegar a tener tamaños máximos de hasta 30 cm. Desde un punto de vista litofacial se asemeja a la facies de retrabajo temprano definida por Oviedo y Astini (2014) ubicada próxima al casco de la estancia La Sureña (véase Fig. 1).

Algunos de los bloques de basamento que bordean la estructura se escalonan hacia la depresión sin haberse podido observar material de relleno entre las fisuras actualmente abiertas.

Inmediatamente bordeando la estructura anular, al sur y suroeste de la depresión, se encontró un afloramiento de basaltos en parte con estructura fluidal, de reducida extensión areal (no reconocible en la imagen) y de un espesor aproximado entre 4 y 6 m, representando un flujo lávico

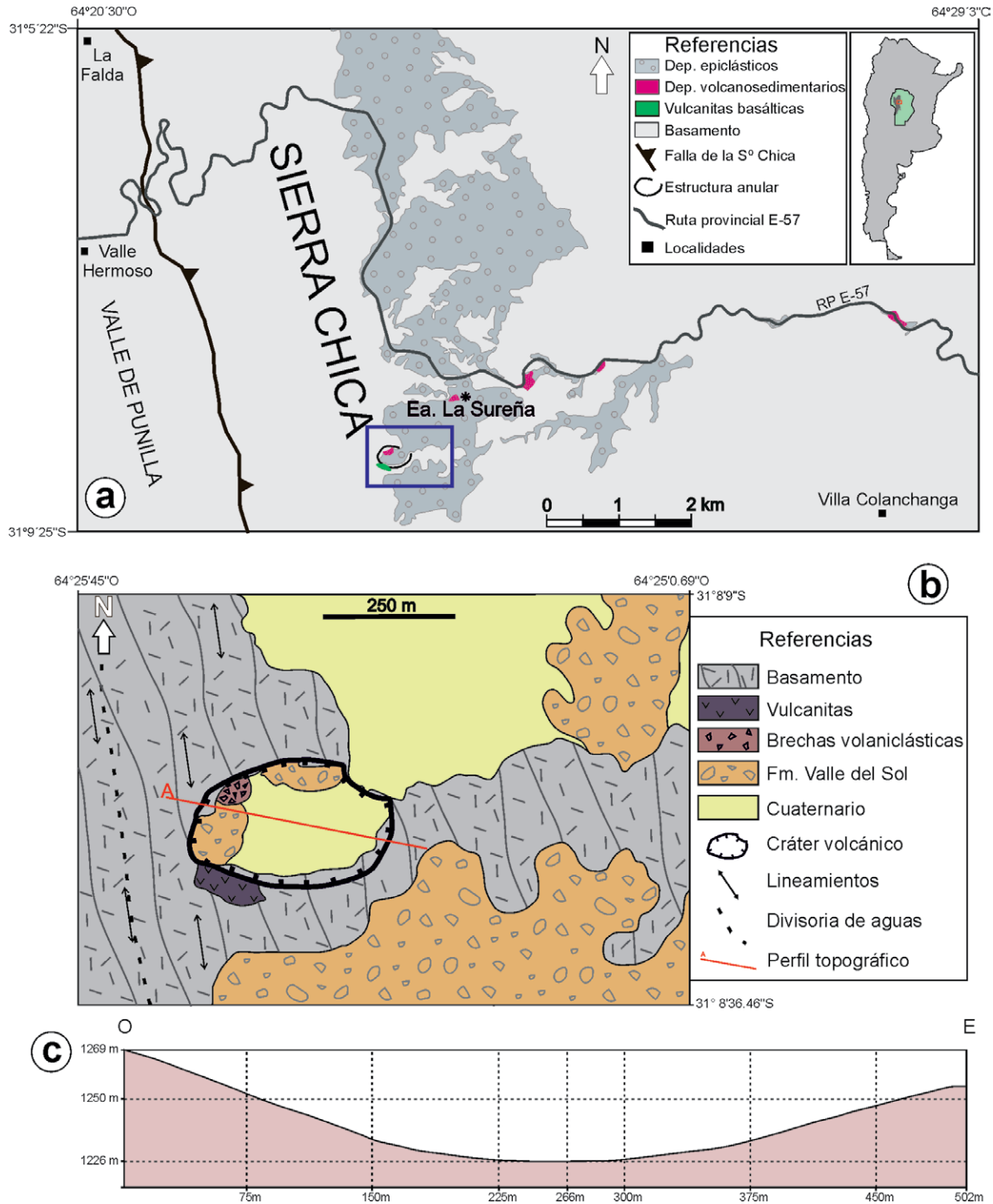


Figura 1: a) Mapa de la cubierta sedimentaria de la Sierra Chica a lo largo de la ruta provincial N° E-57 mostrando la distribución fragmentaria de los depósitos volcánicos y volcanoclasticos y la localización de la estructura craterica (semicirculo negro) en el interior de la estancia La Sureña. b) Mapa de detalle de las unidades aflorantes en la zona del crater. c) Perfil topografico de la estructura interpretada como centro eruptivo.

apoyado directamente sobre el basamento (Fig. 2c). La estructura se ubica en la cabecera actual de una red de drenaje que surca la vertiente oriental de la Sierra Chica con

pendiente hacia el este (Fig. 2a) y forma la terminación occidental de un gran valle relleno con depósitos volcanoclasticos del Cretácico y psefitas del Fanglomerado Valle del Sol (Fig. 1b). La estancia La

Sureña (Fig. 1a) ocupa esta depresión que tiene aproximadamente 600 m de ancho y 50 m de profundidad promedio con rumbo este-oeste, donde afloran lomadas subredondeadas formadas por los depósitos

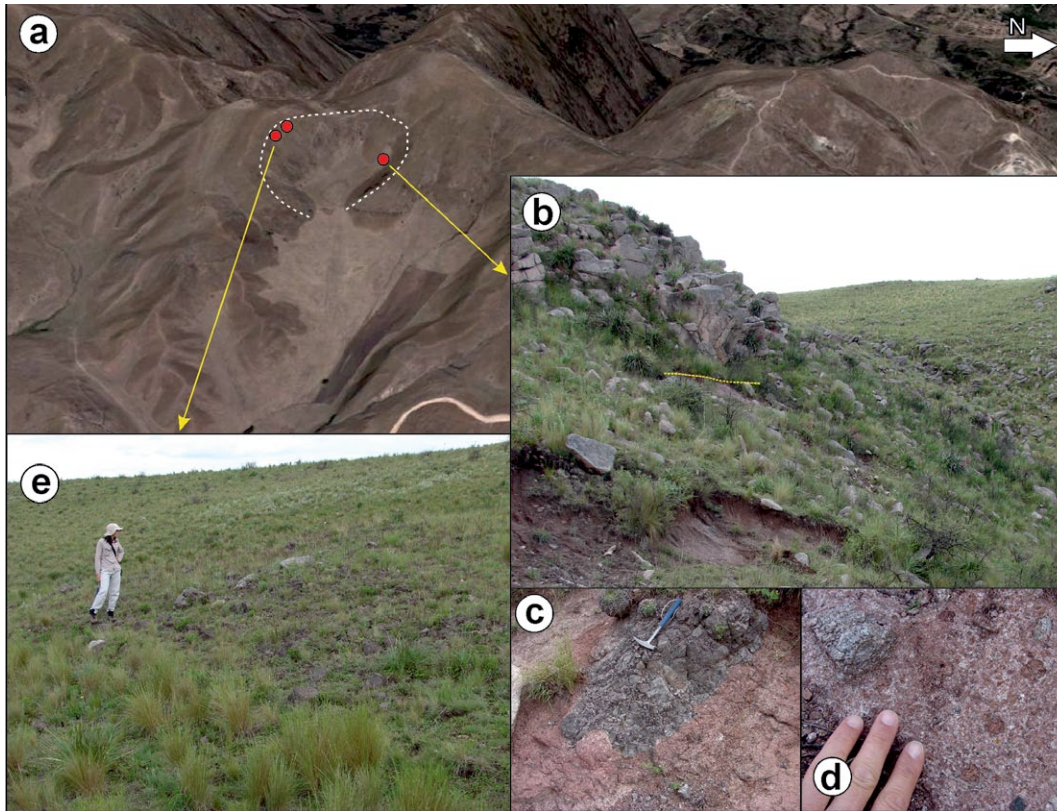


Figura 2: a) Imagen de *Google Earth* mostrando la posición de la estructura volcánica desarrollada sobre el basamento (1,3 km al SO del casco de la Ea. La Sureña). Nótese su posición en la cabecera de un gran valle y la relación con la cubierta sedimentaria de la región. Se ha dibujado de manera aproximada la forma de la estructura y se muestran los puntos donde se encontraron afloramientos. b) Foto de campo tomada hacia el NO mostrando la relación entre el basamento y los depósitos intraestructura (el trazo punteado indica aproximadamente el contacto). Nótese lo verticalizado del plano de contacto entre el relleno (región deprimida en primer plano) y los bordes de basamento. c) Brecha y bloque de vulcanita basáltica amigdaloides en el interior de la estructura. d) Detalle de la matriz de la brecha donde pueden verse fragmentos juveniles oxidados y clastos de basamento. e) Afloramiento de vulcanitas basálticas afectadas por intemperismo inmediatamente al S-SO del cráter.

psefíticos antes mencionados, rodeados de altos de basamento. La naturaleza de su relleno permite interpretar que ésta geoforma constituye un paleovalle labrado sobre la dorsal de la Sierra Chica con antelación a la etapa de destechado actual que se inició a partir del Mioceno. En la actualidad, la erosión diferencial está eliminando el relleno sedimentario de esta depresión que no constituye una geoforma moderna, sino un paleovalle exhumado.

INTERPRETACIÓN DE LA ESTRUCTURA ANULAR

En base a las características de yacencia observadas y las brechas circunscriptas descritas en los párrafos anteriores y a la naturaleza del volcanismo cretácico interpretado en la región por Oviedo y Astini (2014), se presume que la estructura anular desarrollada en basamento dentro de la estancia La Sureña representaría un cráter de explosión asociado al volcanismo monogénico cretácico, por debajo del cual se habría desarrollado una estructura de tipo diatrema. Esto es consis-

te con el relleno de brechas volcanolíticas, con un contacto neto verticalizado con el basamento circundante que indica su desarrollo por debajo del nivel medio del terreno prevolcánico y con su ubicación en la cabecera de un gran paleovalle (Fig. 2). La existencia de un volcán monogénico con etapas eruptivas estrombolianas y episodios hidromagmáticos (término usado en el sentido de Wohletz 1993 y Llambías *et al.* 2010) fuertemente explosivos, fue interpretada recientemente por Oviedo y Astini (2014) en base al análisis de facies en depósitos de caída (tefras lapillíticas escoriáceas vesiculadas rojizas, Figs. 3d, e y f) próximos a esta estructura, que contienen abundantes bloques de basamento como eyectos balísticos. Este afloramiento expuesto sobre el camino (GPS 31°7'52,38"S/ 64°24'24,44"O, véase Fig. 1) fue propuesto como paraestratipo de la Formación El Pungo (119 ± 5 Ma). Además, estos autores también interpretan depósitos de oleadas piroclásticas (Figs. 3a, b y c) con una abundante proporción de líticos accidentales para afloramientos también expuestos sobre el ca-

mino al Cuadrado, a una distancia ~ 8 km hacia el este, alineados con la dirección del paleovalle aquí descrito. La presencia de bloques balísticos (sags) pertenecientes al basamento distribuidos e interpuestos entre las tefras de caída, afectadas por una fuerte oxidación térmica temprana estarían indicando la proximidad de un cráter explosivo y una estructura diatremática (Valentine y White 2012). Los fragmentos juveniles que conforman los depósitos volcanosedimentarios (Figs. 3c y f) son de composición basáltica, tamaño arena gruesa a gránulos (2-4 mm), que en sentido estricto corresponderían a depósitos lapillíticos. Los granos individuales presentan morfologías subequidimensionales a tabulares, contornos irregulares y marcada rugosidad superficial (aspecto escoráceo). Se encuentran muy oxidados, con tonalidades marrones y rojizas y presentan texturas porfíricas, amigdaloides y/o vesiculares. La alteración química se ve reflejada en los mafitos fuertemente oxidados y con contornos verdosos amarillentos y plagioclasas caolinizadas. En cortes petrográficos la pasta presen-

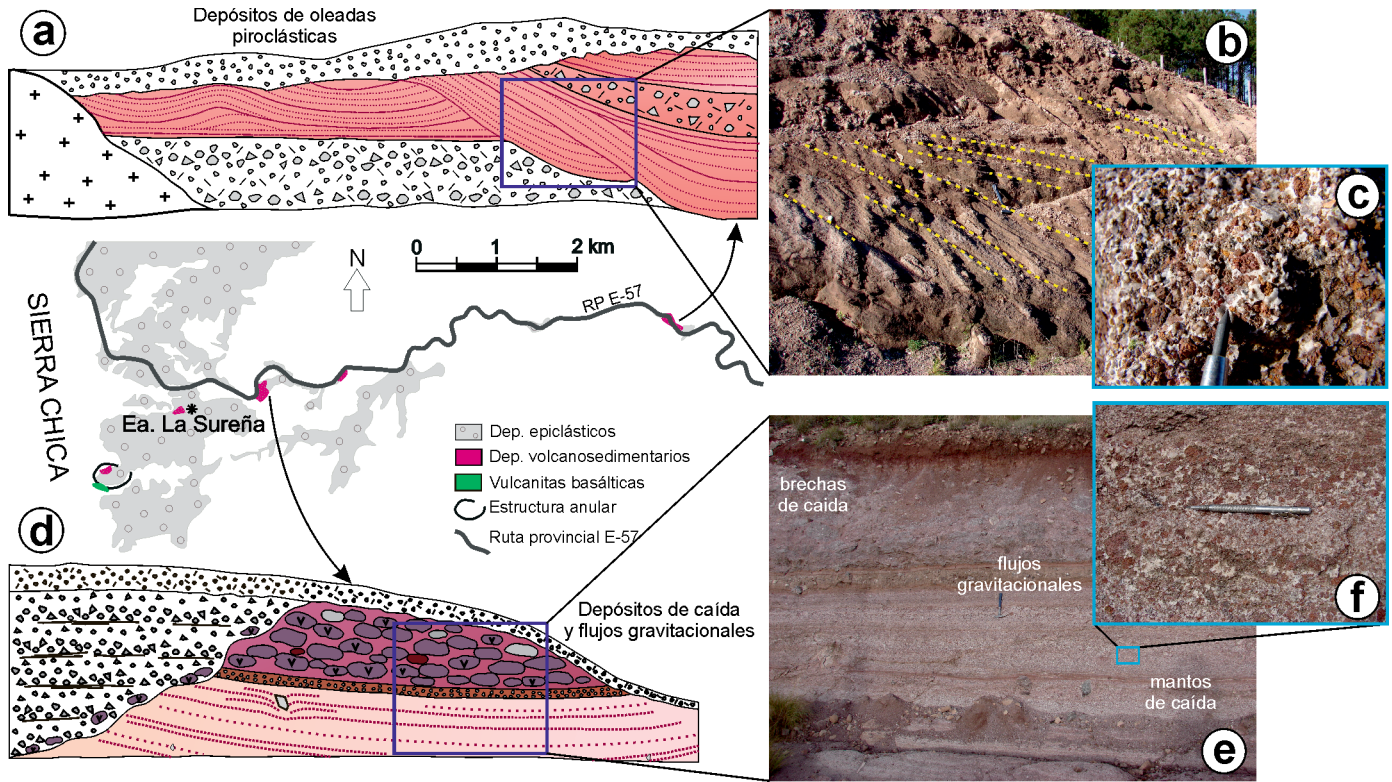


Figura 3: Ubicación y aspecto general de los principales depósitos volcanosedimentarios estudiados. a) Perfil esquemático del afloramiento de oleadas piroclásticas mostrando ondulaciones de gran longitud de onda y una tendencia claramente agradacional del depósito. b) Foto del afloramiento. c) Detalle textural de la oleada donde se ve el predominio de fragmentos; nótese la abundancia de cemento calcítico rodeando los fragmentos. d) Perfil esquemático de los depósitos de caída y flujos gravitacionales. e) Imagen del afloramiento mostrando la tabularidad de los depósitos de caída sobrepuestos por depósitos de flujos gravitacionales y brechas. f) Detalle mostrando las gradaciones internas de los depósitos de caída compuestos predominantemente por fragmentos juveniles.

ta una coloración rojo ladrillo (hematita) y aspecto microcristalino a criptocristalino (posiblemente vidrio oxidado) en la que en ocasiones resulta difícil identificar microcristales.

La estructura anular aquí descrita representaría entonces el cráter explosivo de un aparato volcánico que habría tenido, durante su etapa activa, fases eruptivas de explosividad variable que condicionaron, por un lado, la distribución y características observadas en los depósitos volcanosedimentarios asociados (Oviedo y Astini 2014), y por el otro, su propia morfología. Las brechas volcanoclásticas localizadas en el interior de la estructura de paredes verticales y los pequeños parches de coladas basálticas encontrados en los alrededores, como así también el tamaño de la estructura (p.ej. White 1991a, Lorenz 2003, White y Ross 2011, Valentine y White 2012, Kereszturi y Németh 2013), permiten interpretar que se trataría de un cráter de explosión con su correspondien-

te diatrema en profundidad, que registró un episodio de explosividad freatomagmática de gran magnitud, dentro de la etapa activa del sistema monogénico, siendo las brechas la parte superior del relleno de la diatrema.

Las diatremas son conductos volcánicos que en superficie desarrollan un cráter de explosión. Este tipo de estructuras están asociadas con actividad volcánica muy explosiva y se generan a partir del calentamiento, expansión y vaporización súbita de agua subterránea que accede al conducto volcánico produciendo la fragmentación e incorporación del encajonante y eventuales materiales juveniles (Sheridan y Wohletz 1983, Lorenz 1985, White y Ross 2011). En este contexto, tanto los componentes juveniles (no necesariamente abundantes) como los accidentales (rocas de caja) resultantes se caracterizan por un alto grado de brechamiento y pulverización, quedando los productos rellenando el conducto como en nuestro caso.

Entre los depósitos asociados descriptos por Oviedo y Astini (2014), son comunes las oleadas basales y los eyectos balísticos de bloques accidentales que alcanzan los 30 cm de diámetro (Fig. 4). Una marcada humedad asociada con este episodio pudo conducir a la fuerte oxidación temprana que profusamente afectó a los depósitos de caída en la región (Oviedo y Astini 2014).

RECONSTRUCCIÓN

En la proximidad de la estructura descrita en este trabajo y aflorando sobre el camino al Cuadrado existen registros de una etapa de vulcanismo activo durante fases relativamente tranquilas representadas por depósitos de mantos de caída y depósitos de flujos gravitacionales (Figs. 3d e) asociados con la construcción de edificios volcánicos monogénicos (Oviedo y Astini 2014). Asimismo, se intercalan productos que indicarían mayor explosividad



Figura 4: Bloque balístico de basamento perturbando los mantos de caída. Nótese su eje mayor en posición vertical y el grado de deformación que genera en las capas de lapilli algunas de las cuales se encuentran cortadas por efecto de la percusión.

incluyendo niveles con abundantes bloques balísticos del propio basamento (accidentales) (Fig. 4) que habrían sido involucrados por la efectividad de explosiones freatomagmáticas. Depósitos de oleadas piroclásticas también expuestos en cortes del camino (Figs. 3a y b) estarían asociados con el cráter de explosión y la diatrema aquí descrita.

En la figura 5 se esquematiza una posible evolución de dicho sistema desde su inicio, sucediéndose, durante la etapa activa, erupciones de carácter estromboliano e hidrovulcánico (Wohletz 1993). Este sistema habría concluido con una inusual etapa explosiva que quedó registrada por el cráter de explosión y la diatrema, luego de la cual le habría seguido una etapa pasiva (“*passive stage*” *sensu* Kereszturi y Németh 2013). Durante la misma, el sistema se habría degradado (Wood 1980a y b, Fisher y Schmincke 1984, White 1991b) hasta ser cubierto por una unidad epiclástica más joven, la Formación Valle del Sol. Ésta última cubrió discordancia erosiva mediante, tanto a los relictos volcanosedimentarios y volcánicos de la Formación El Pungo, como a la estructura volcánica y relleno el paleovalle de la estancia La Sureña.

La situación actual de la estructura aquí

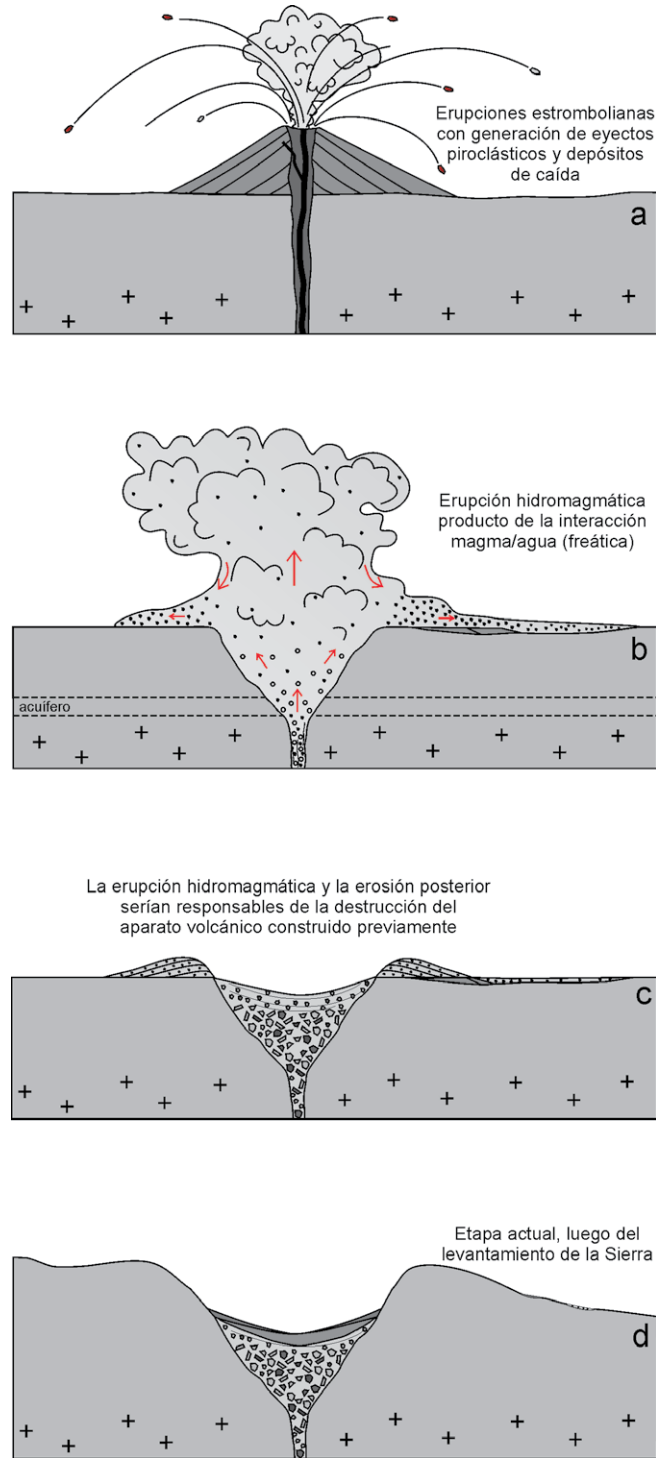


Figura 5: Dibujo esquemático que sintetiza en cuatro etapas la historia del volcán monogénico cretácico. a) Etapa inicial con erupciones estrombolianas que habrían desarrollado una estructura de tipo cono de escorias y generado depósitos de caída y abundantes eyectos piroclásticos. b) Erupciones posteriores freatomagmáticas fuertemente explosivas, como producto de la interacción del magma con acuíferos durante su ascenso, habrían generado el cráter de explosión y una diatrema asociada. c) Con el comienzo de la etapa pasiva del volcán se produce la erosión tanto del edificio volcánico relictual como de los depósitos volcanosedimentarios asociados. d) El levantamiento de la Sierra Chica contribuyó con el proceso de degradación, quedando expuesta la estructura cratérica, el tope de la diatrema y pequeños parches de depósitos volcanosedimentarios que han quedado preservados en zonas deprimidas (paleovalles).

descrita muestra prácticamente las características originales de un cráter de explosión asociado con erupciones freatomagmáticas desarrollado por debajo de la superficie prevolcánica compuesta por rocas del basamento cristalino (p.ej., Lorenz 2003, Valentine y White 2012).

Durante la etapa activa de volcanismo

monogénico se habrían desarrollado conos de escoria y sspater pequeños, de tipo estromboliano, incluyendo flujos lávicos arealmente restringidos (Houghton y Gonnerman 2008), que interactuaron con sistemas fluviales efímeros y abanicos aluviales propios de la etapa inicial de depozonas de sinrift (p.ej. White 1991b).

Posiblemente, durante la etapa del proceso de *rifling* en que se formaron sistemas lacustres endorreicos (Astini y Oviedo 2014) la propia freática podría haberse conectado con los conductos y cámara magmática (¿fase de *maar*?) generando etapas de fuerte explosividad (fase de diatrema y cráter de explosión y sus depósitos característicos). Es posible que durante la corta vida de estos sistemas monogénicos los estilos eruptivos hayan cambiado desde etapas de menor explosividad, de tipo estrombolianas, dominadas por fragmentación de juveniles vesiculados, hasta etapas fuertemente explosivas con mayor participación de accidentales pertenecientes al propio basamento sobre el cual se apoyaron los aparatos volcánicos. Estas últimas etapas estarían representadas por los depósitos de caída ubicados aproximadamente 2 km al noreste del conducto, sobre la traza del camino. El grado de oxidación de los fragmentos juveniles y la presencia de eyectos de basamento, apoyan la naturaleza explosiva de las erupciones y la participación variable de agua durante el ascenso del magma.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones y estudios realizados, en la región cumbral de la Sierra Chica, inmediatamente al sur de la nueva traza del camino al Cuadrado (ruta provincial N° E-57) se reconoce una estructura anular, deprimida en su centro por debajo del nivel del basamento circundante y rellena con brechas volcánicas que representaría un cráter de explosión y su correspondiente diatrema, originados durante una etapa fuertemente explosiva del volcanismo cretácico monogénico en la región.

Ésta sería hasta el momento, la única estructura cartografiada en la región cumbral de la Sierra Chica, asociada con la actividad magmática del Cretácico que en parte dio origen a los depósitos volcánicos y volcanosedimentarios actualmente distribuidos a manera de parches aislados en dicha región.

El tamaño y el relleno de la estructura volcánica permiten interpretar un episo-

dio fuertemente explosivo con desarrollo de una diatrema en profundidad y un cráter de explosión en superficie, posiblemente en la etapa final de la actividad del volcán. Erupciones estrombolianas iniciales habrían generado conos de escorias como así también depósitos de caída en la zona adyacente al volcán.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la lectura crítica y sugerencias efectuadas por el Dr. Iván Petrino-*vic* (CICTERRA) quien leyó una versión preliminar del manuscrito y las observaciones y sugerencias de los revisores. El estudio fue realizado con fondos de SECYT-UNC y constituye parte de los resultados de la tesis de licenciatura de la primer autora.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldo, E., Demange, M. y Martino, R. 1996. Evolution of the Sierras de Córdoba, Argentina. *Tectonophysics* 267: 121-142.
- Baulig, H. 1970. *Vocabulaire franco-anglo-allemand de Géomorphologie*. Paris, Editions Ophrys, 230 p., Paris.
- Cas, R.A.F. y Wright, J.V. 1987. Volcanic successions modern and ancient. A geological approach to process, products and successions. Unwin Hyman (ed.) 528 p., London.
- Dalla Salda, L.H. 1984. La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39: 38-51.
- Delpino, E., Sánchez, M.L., Bermúdez, A., Marclé, R. y Ancheta, M.D. 1999. Los depósitos hidroclásticos y estrombolianos del Grupo El Pungo, Córdoba. 14° Congreso Geológico Argentino, Acta 2: 197-199, Salta.
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1967a. El basalto nefelínico de El Pungo, Córdoba. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba* 46: 109-115.
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y de San Luis. En Turner, J.C.M. (ed.) Segundo Simposio Geología Regional Argentina, 577-650. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Fisher, R.V. y Schmincke, H-U. 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag (ed.), Berlin. 442 p.
- Heiken, G. y Wohletz, K. 1985. *Volcanic ash*. Berkeley, University of California Press, 246 p.
- Houghton, B.F. y Gonnerman, H.M. 2008. Basaltic explosive volcanism: Constraints from deposits and models. *Chemie der Erde* 68: 117-140.
- Kay, S. y Ramos, V. 1996. El magmatismo cretácico de las sierras de Los Cóndores y sus implicancias tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Acta 3: 453-454, Buenos Aires.
- Kereszturi, G. y Németh, K. 2013. Monogenetic basaltic volcanoes: Genetic classification, growth, geomorphology and degradation. *Updates in Volcanology- New Advances in Understanding Volcanic Systems*. Chapter 1: 1-89. INTECH Open Science, <http://dx.doi.org/10.5772/51387>.
- Kraemer, P.E., Escayola, M.O. y Martino, R.D. 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30°40'-32°40'), Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50: 47-59.
- Lagorio, S.L. 2008. Early Cretaceous alkaline volcanism of the Sierra Chica de Córdoba (Argentina): Mineralogy, geochemistry and petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 152-171.
- Llambías, E.J., Bertotto, G.W., Risso, C. y Hernandez, I. 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: Una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 278-300.
- Lorenz, V. 1970. Some aspects of the eruption mechanism of the Big Hole maar, central Oregon. *Geological Society of America Bulletin* 81: 1823-1830.
- Lorenz, V. 1973. On the formation of maars. *Bulletin of Volcanology* 31: 45-73.
- Lorenz, V. 1985. Mars and diatremes of phreatomagmatic origin: a review. *Trans. Geol. Soc. South Afr.*, 88: 459-470.
- Lorenz, V. 2003. Mar-diatreme volcanoes, their formation, and their setting in hardrock and soft-rock environments. *Geolines* 15: 72-83.
- Martino, R.D., Guerreschi, A.B. y Carignano, C.C. 2012. Influencia de la tectónica preandina sobre la tectónica andina: El caso de la falla de la Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69: 207-221.
- Oviedo, N. 2012. Estudio geológico sobre los

- “Fanglomerados del Valle del Sol”, región cumbre de la Sierra Chica, entre Valle Hermoso y Salsipuedes (Camino al Cuadrado), Córdoba. Trabajo Final, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 128p., Córdoba.
- Oviedo, N.V. y Astini, R.A. 2014. Cubierta sedimentaria mesozoica. En Martino, R.D. y Guereschi, A.B. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: 435-471, Córdoba.
- Oviedo, N.V. y Astini, R.A. 2014. Depósitos volcanosedimentarios del Cretácico en la región cumbre de la Sierra Chica (Córdoba) y redefinición de la Formación El Pungo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71: 472-483.
- Pastore, F. 1932. Hoja 20i del mapa Geológico de la Argentina, región oriental y media de las Sierras de Córdoba. Dirección de Minería y Geología, Buenos Aires, Boletín 36.
- Poblete Piedrabuena, M.A. 1992. El empleo de los vocablos maar, cráter de explosión y diatrema en morfología volcánica. *Revista cuatrimestral de geografía* 27: 89-94.
- Risso, C., Falcone, M.E., Viramonte, J.E. y Rinaldi, C.A. Centro eruptivo cretácico Tres Cruces, Provincia de Salta: un ejemplo de mecanismo eruptivo hidromagmático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48: 155-168.
- Rittmann, A. 1963. Les volcans es leur activité. Paris, Masson, 460 p.
- Sánchez, M.L. 2001a. Sedimentología de la Formación El Rosario (Cretácico), La Cumbre, provincia de Córdoba, Argentina. Actas 11° Congreso Latinoamericano de Geología y 3° Congreso Uruguayo de Geología. Edición electrónica en CD Rom, Montevideo.
- Sánchez, M.L. 2001b. Sedimentología de la Formación Peñón Blanco (Cretácico), en la zona de La Cumbre, Córdoba, Argentina. Actas 11° Congreso Latinoamericano de Geología y 3° Congreso Uruguayo de Geología. Edición electrónica en CD Rom, Montevideo.
- Sánchez, M.L., Toro, E., Delpino, E. y Bermúdez, A. 1999. Geología y estratigrafía de las rocas cretácicas de La Cumbre - Estancia del Rosario, Córdoba. 14° Congreso Geológico Argentino, Acta 1: 445-448, Salta.
- Sánchez, M.L., Ancheta, M.D. y Marcle, R. 2001. Las volcanitas de la Formación El Saucecito, Grupo El Pungo (Cretácico Inferior), Córdoba, Argentina. Actas 11° Congreso Latinoamericano de Geología y 3° Congreso Uruguayo de Geología. Edición electrónica en CD Rom, Montevideo.
- Schmidt, C., Astini, R.A., Costa, C., Gardini, C. y Kramer, P. 1995. Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation, and Neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. En A. Tankard, R. Suárez S., y H.J. Welsink (eds.) Petroleum basin of South America. *American Association of Petroleum Geologists* 62: 341-358, Tulsa.
- Sheridan, M.F. y Wohletz, K.H. 1983. Hydrovolcanism: Basic considerations and review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 17: 1-29.
- Tricart, J. 1968. Précis de Géomorphologie. Géomorphologie structural. Paris, SEDES, 322 p.
- Uliana, M. y Biddle, K. 1988. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America. *Revista Brasileira de Geociencias* 18: 172-190.
- Valentine, G.A. y White, J.D.L. 2012. Revised conceptual model for maar-diatremes: Subsurface processes, energetics, and eruptive products. *Geology* 40: 1111-1114.
- Valentine, G.A., Perry, F.V., Krier, D., Keating, G.N., Kelley, R.E. y Cogbill, A.H. 2006. Small-volume basaltic volcanoes: Eruptive products and processes, and post-eruptive-geomorphic evolution in Crater Flat (Pleistocene), southern Nevada. *Geological Society of America Bulletin* 118: 1313-1330.
- White, J.D.L. 1991a. Maar-diatreme phreatomagmatism at Hopi Buttes, Navajo Nation (Arizona), USA. *Bulletin of Volcanology* 53: 239-258.
- White, J.D.L. 1991b. The depositional record of small, monogenetic volcanoes within terrestrial basins. En Fisher, R.V., Smith, G.A. (eds.) *Sedimentation in Volcanic Settings*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication: 155-171.
- White, J.D.L. y Ross, P.-S. 2011. Maar-diatreme volcanoes: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201: 1-29.
- Wohletz, K.H. 1993. Hidrovolcanismo. En Araña, J.M.V. (ed.) *La volcanología actual*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. 100-195.
- Wood, C.A. 1980a. Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 7: 387-413.
- Wood, C.A. 1980b. Morphometric analysis of cinder cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 8: 137-160.

Recibido: 10 de diciembre, 2013

Aceptado: 25 de julio, 2014