

Resumen geológico

Volcán Sierra Negra

Benjamin Bernard

20/02/2017



Figura 1. Caldera del volcán Sierra Negra (Benjamin Bernard, IGEPN).

Morfología

El volcán Sierra Negra (1124 m snm, 0.83°S, 91.17°W) es un volcán escudo elíptico de 60 × 40 km (volumen ~700 km³), alargado en la dirección WSW-ENE, ubicado en la parte Sur de la isla Isabela (Figura 2), archipiélago de Galápagos (Ecuador). Tiene una amplia plataforma con pendientes bajas (<5°) al pie del volcán, pendientes más pronunciadas (>10°) en los flancos altos (entre 950 y 1050 m snm), y una amplia cumbre ocupada casi por completo por una gran caldera (Mouginis-Mark et al. 1996). La caldera es una depresión de 110 m de profundidad con una forma elíptica (9.3 × 7.4 km) que replica la forma general y la dirección de alargamiento del volcán (Munro and Rowland 1996). Dentro de la caldera se encuentra una cresta sinusoidal en forma de C de hasta 100 m de alto localizada en la parte Sur y Occidental (Reynolds et al. 1995). En sus flancos se

encuentran numerosas fisuras eruptivas circunferenciales y radiales con pequeños conos. La mayoría de estas estructuras se organizan en una zona tipo rift con dirección WSW-ENE que bordea la caldera por el Norte (Delaney et al. 1973) (Delaney et al. 1973). Entre el borde de la caldera y la zona de Volcán Chico se encuentran pequeñas depresiones (“pozo”) formados por movimientos de magma subterráneos. El volcán Sierra Negra se caracteriza por la predominancia de flujos de tipo “AA” (Reynolds et al. 1995).



Figura 2. Modelo numérico de terreno del volcán Sierra Negra (Geist et al. 2008).

Geología

El volcán Sierra Negra salió del mar hace menos de 700 000 años según Geist (1996) con una tasa de emisión de lava estimada entre 1-12 millones de m³/año (Reynolds et al. 1995). En los últimos 4 500 años su actividad eruptiva cubrió ~90% de su superficie, resaltando su alta tasa eruptiva (Reynolds et al. 1995). El sistema eruptivo más activo corresponde a una zona de rift que se extiende desde el pie WSW del volcán y rodea por el norte la caldera hasta el límite ENE

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847

Página Web: www.igepn.edu.ec; Correo Electrónico: geofisico@igepn.edu.ec
Dirección: Campus Ing. José Rubén Orellana - Calle Ladrón de Guevara E11-253
Apartado Postal 2759 - Quito - Ecuador

del volcán (Figura 3). En la historia reciente (últimos 200 años), las zonas más activa del volcán se encuentran en la región norte de la caldera y corresponden a fisuras circunferenciales, el borde de la caldera y la zona conocida como Volcán Chico (Delaney et al. 1973; Reynolds et al. 1995). Los campos de lava más jóvenes se encuentran al NW y NNE de la caldera, produciendo ~85% de las lavas expuestas en el flanco norte del volcán. Las fisuras radiales son poco comunes en esta región y solo han contribuido con un volumen pequeño de lava y de material piroclástico (Delaney et al. 1973). En base al estudio petrológico, la temperatura del magma de Sierra Negra a presión atmosférica sería de 1150°C con una densidad de 2.73 a 2.77 g/cm³ (Reynolds and Geist 1995). Las lavas tienen texturas holocristalinas, afaníticas a poco porfírica con minerales de Plagioclasa (lab-bit) ± Olivino ± Clinopiroxeno.

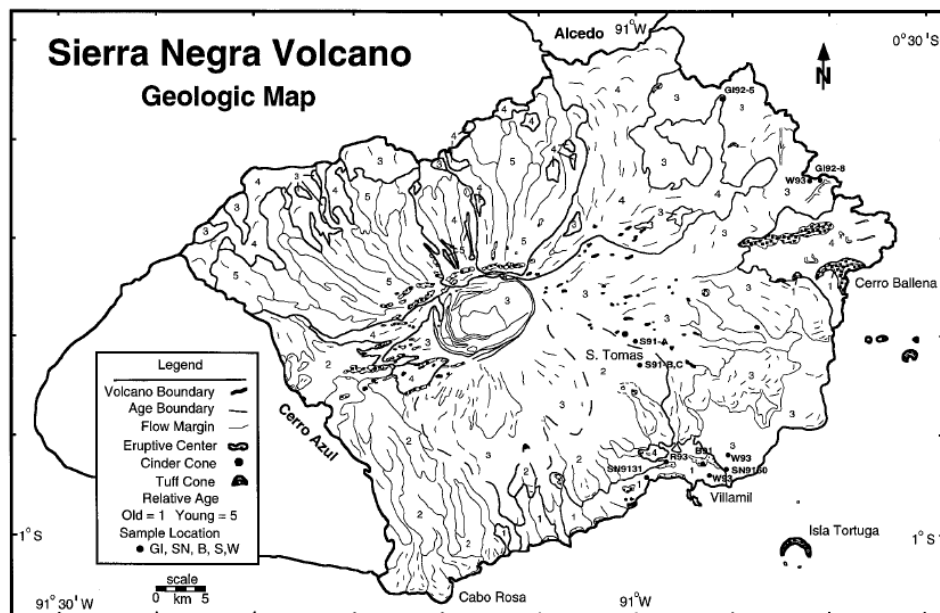


Figura 3. Mapa geológico del volcán Sierra Negra (Reynolds et al. 1995).

Según el Global Volcanism Program (www.volcano.si.edu/), el volcán Sierra Negra ha tenido 12 erupciones históricas pero solo 6 han tenido observaciones directas que confirman su pertenencia al volcán Sierra Negra (Tabla 1).



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Fecha de inicio	Fecha de fin	VEI atribuido	Volumen de lava	Evidencias	Zona eruptiva o unidad estratigráfica	Observaciones
22/10/2005	30/10/2005	3	150E+06 m ³	Observaciones históricas	Borde norte de la caldera	
13/11/1979	14/01/1980	3	900E+06 m ³	Observaciones históricas	Zona alta de los flancos NW y NE (zona del Volcán Chico)	Fecha de fin +- 1 día
13/04/1963	16/05/1963	2		Observaciones históricas	Zona del Volcán Chico y borde NW de la caldera	Fecha de fin +- 15 días
02/07/1957	Desconocida			Observaciones históricas	Volcán desconocido: Isla Isabela	Fecha de inicio +- 6 meses
09/11/1954	Desconocida	2		Desconocida	Volcán desconocido: inicialmente Alcedo	
23/08/1953	16/01/1954	3		Observaciones históricas	Zona del Volcán Chico y borde NW de la caldera	Fecha de fin +- 15 días
08/1948	01/02/1949	2		Observaciones históricas		Fecha de fin incierta
31/12/1911	Desconocida			Observaciones históricas		Fecha de inicio +- 1 año
1860	Desconocida	2		Desconocida	Volcán desconocido: Isla Isabela	
1844	Desconocida	0		Desconocida	Volcán desconocido: Isla Isabela	
1817	Desconocida			Desconocida	Volcán desconocido: Isla Isabela	
13/07/1813	Desconocida	2		Desconocida	Volcán desconocido: Sur de la Isla Isabela	

Tabla 1. Historia eruptiva reciente del volcán Sierra Negra (Global Volcanism Program).

Erupción de 2005

Antes de esta erupción se observó una deformación vertical acumulada de ~5 m desde 1992 (Chadwick et al. 2006). Esta inflación se aceleró entre 2003 y 2005 con casi 2 m de levantamiento que fue interpretado como una alimentación y presurización de una intrusión en forma de sill localizada a ~2 km de profundidad (Chadwick et al. 2006). Adicionalmente entre 2002 y 2005 se registró una fuerte disminución del residuo de gravedad en varios sitios de control adentro de la caldera con el valor máximo de ~ -950 μgal (punto SN09) asociada a un proceso de vesiculación del magma en el sill (Vigouroux et al. 2008). La erupción fue precedida de un terremoto de magnitud Mw 5.5 ocurrido a las 14h38 (Tiempo Universal = Tiempo Local + 6 horas) el 22 de Octubre de 2005 que fue sentido en el pueblo de Puerto Villamil y por guardaparques en el Cerro Azul. La erupción empezó a las 17h30 TU de mismo día con una explosión que formó una columna

de gas y ceniza alcanzando ~15 km de altura. La mayor parte del flujo de lava entró en la caldera y cubrió un área de 14.2 km². Un flujo de lava clastogénico (formado a partir de las fuentes de lava) bajó por el flanco NNW y cubrió un área de 4.1 km² (Figura 4). Esta erupción emitió ~150 millones de m³ de lava a partir de una fisura circunferencial localizada en la zona norte del borde de la caldera (Geist et al. 2008). Durante la erupción las fuentes de lava alcanzaron hasta 200 m de altura. La erupción duró hasta el 30 de Octubre y se observó durante y después del evento una deflación vertical de 5 m y una contracción horizontal de 6 m de la caldera (Chadwick et al. 2006). Durante la erupción se estima que el volcán emitió ~1.9E+09 kg de SO₂ por un total de 11.6E+09 kg de gas (H₂O + CO₂ + SO₂) (Vigouroux et al. 2008).

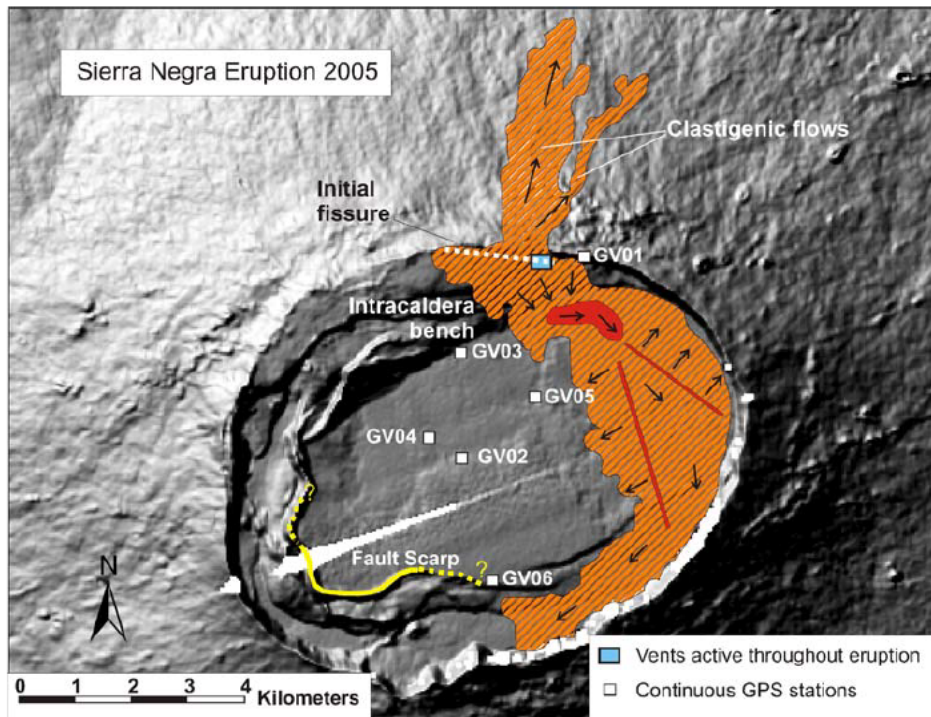


Figura 4. Mapa de los flujos de lava de la erupción de 2005 (Geist et al. 2008).

Dinamismos eruptivos

La actividad eruptiva del volcán Sierra Negra es típicamente hawaiana con poco material piroclástico escoriáceo, grandes campos de lava “AA” y “pahoehoe” y



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

frecuentes túneles de lava. Durante sus erupciones se observa comúnmente una apertura explosiva de la fisura eruptiva con columna de gas y ceniza que puede alcanzar 15 km de altura (Global Volcanism Program). Luego se observa una actividad efusiva muy importante con la formación de una cortina de lava a lo largo de la fisura que puede alcanzar más de 100 m de altura. Con el tiempo la tasa de emisión disminuye y la emisión de lava se focaliza en uno o varios puntos de la fisura eruptiva asociado a la formación de fuentes de lava altas (>200 m) y de conos piroclásticos (escoria y salpicadura). Las erupciones del volcán Sierra Negra duran típicamente desde una semana (i.e. 2005) hasta varios meses (i.e. 1979). Cuando las erupciones ocurren al nivel del mar se produce actividad hidromagmática de tipo sursteyana con la formación de conos de ceniza (i.e. Cerro Ballena) (Reynolds et al. 1995).

Sistema magmático

Los magmas del volcán Sierra Negra son basaltos toleíticos a alcalinos ricos en hierro producidos de manera constante a partir de una fuente homogénea de material rico en pluma mantélica (Iherzolita con granate) con una tasa de fusión parcial estimada entre 5 y 15% (Reynolds and Geist 1995). Según estudios geobarométricos el sistema magmático incluye zona de almacenamiento de magma entre 4 y 11 km de profundidad donde el magma evoluciona principalmente por cristalización fraccionada (Reynolds and Geist 1995). Según estudios sismológicos, esta cámara magmática podría estar entre 3 y 10.5 km (hasta 15 km) de profundidad (Tepp et al. 2014; Rodd et al. 2016). La cámara superficial tendría la forma de un sill (Jónsson et al. 2005) o de un diapiro con techo plano (Yun et al. 2006) localizado ~2-2.2 km debajo de la cumbre y según Vigouroux et al. (2008) tendría una dimensión de 5×3×0.7 km (Figura 5).

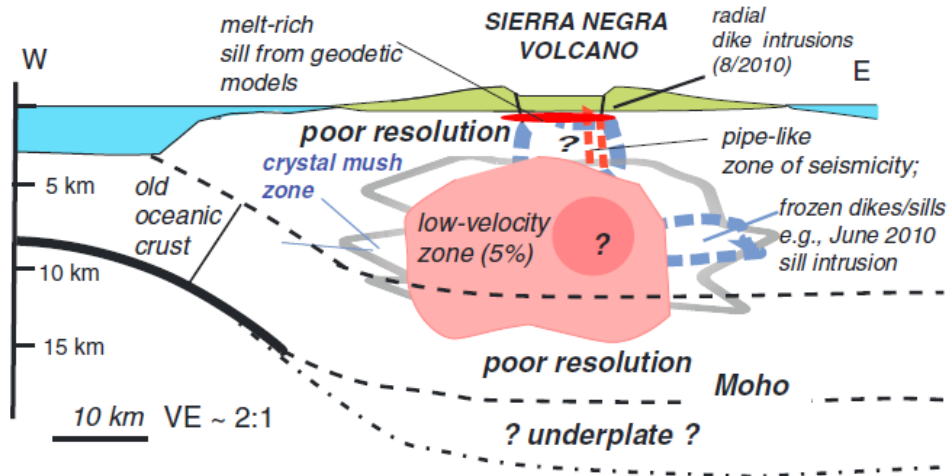


Figura 5. Modelo conceptual del sistema magmático del volcán Sierra Negra (Tepp et al. 2014).

Funcionamiento de la caldera

La caldera del volcán Sierra Negra es a la base de tipo pistón, pero su funcionamiento se complica por la cresta sinuosa intra-caldera que corresponde a una falla tipo trampilla con punto fijo al NE (Figura 6). Esta estructura se mueve como una falla inversa con una pendiente fuerte (71°) y un rechazo vertical de ~ 100 m al Sur y Occidente (Jónsson 2009). La falla se formó para acomodar las intrusiones en forma de sill que ocurren ~ 2 - 2.2 km debajo de la cumbre (Amelung et al. 2000; Jónsson et al. 2005; Yun et al. 2006). Los movimientos de la falla están asociados a sismos como los eventos de Mw 5.0 del 11 de enero de 1998, de Mb 4.6 del 16 de abril 2005, y de Mw 5.5 del 22 de octubre 2005 (Jónsson et al. 2005; Yun et al. 2006; Chadwick et al. 2006; Jónsson 2009). Estos sismos provocaron movimientos verticales de ~ 0.5 - 1 m. La presencia de la falla tipo trampilla puede ser una de las razones por las que al momento no hay erupción en el flanco Sur ya que ahí el movimiento vertical de la falla acomoda la deformación producida por la intrusión. Adicionalmente los movimientos de la falla permiten retardar la erupción bajando la presión en el reservorio magmático superficial (Jónsson 2009). En el sector suroccidental de la cresta sinuosa se

encuentra la zona de Minas de Azufre, un campo fumarólico activo con importantes depósitos de azufre nativo (Goff et al. 2000). En esta zona, las temperaturas de la fumarolas alcanzan más de 250°C.

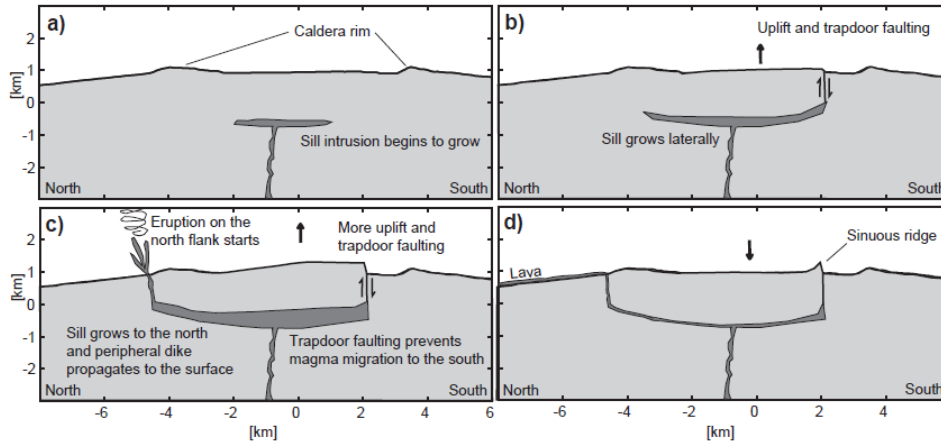


Figura 6. Esquemas del movimiento de la falla tipo trampilla del volcán Sierra Negra (Jónsson et al. 2005).

Referencias

- Amelung F, Jónsson S, Zebker H, Segall P (2000) Widespread uplift and “trapdoor” faulting on Galápagos volcanoes observed with radar interferometry. *Nature* 407:993–996. doi: 10.1038/35039604
- Chadwick WW, Geist DJ, Jónsson S, Poland M, Johnson DJ, Meertens CM (2006) A volcano bursting at the seams: Inflation, faulting, and eruption at Sierra Negra volcano, Galápagos. *Geology* 34:1025–1028. doi: 10.1130/G22826A.1
- Delaney JR, Colony WE, Gerlach TM, Nordlie BE (1973) Geology of the Volcan Chico Area on Sierra Negra Volcano, Galapagos Islands. *Geol Soc Am Bull* 84:2455–2470. doi: 10.1130/0016-7606(1973)84<2455:GOTVCA>2.0.CO;2
- Geist D (1996) On the emergence and submergence of the Galápagos islands. *Not Galapagos* 56:5–9.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Geist DJ, Harpp KS, Naumann TR, Poland M, Chadwick WW, Hall M, Rader E (2008)
The 2005 eruption of Sierra Negra volcano, Galápagos, Ecuador. Bull
Volcanol 70:655–673. doi: 10.1007/s00445-007-0160-3

Goff F, McMurtry GM, Counce D, Simac JA, Roldán-Manzo AR, Hilton DR (2000)
Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes,
Galapagos Archipelago, Ecuador. Bull Volcanol 62:34–52. doi:
10.1007/s004450050289

Jónsson S (2009) Stress interaction between magma accumulation and trapdoor
faulting on Sierra Negra volcano, Galápagos. Tectonophysics 471:36–44.
doi: 10.1016/j.tecto.2008.08.005

Jónsson S, Zebker H, Amelung F (2005) On trapdoor faulting at Sierra Negra
volcano, Galápagos. J Volcanol Geotherm Res 144:59–71. doi:
10.1016/j.jvolgeores.2004.11.029

Mouginis-Mark PJ, Rowland SK, Garbeil H (1996) Slopes of Western Galapagos
volcanoes from airborne interferometric radar. Geophys Res Lett 23:3767–
3770. doi: 10.1029/96GL03280

Munro DC, Rowland SK (1996) Caldera morphology in the western Galapagos and
implications for volcano eruptive behavior and mechanisms of caldera
formation. J Volcanol Geotherm Res 72:85–100.

Reynolds RW, Geist D, Kurz MD (1995) Physical volcanology and structural
development of Sierra Negra volcano, Isabela Island, Galápagos
archipelago. Geol Soc Am Bull 107:1398–1410. doi: 10.1130/0016-
7606(1995)107<1398:PVASDO>2.3.CO;2

Reynolds RW, Geist DJ (1995) Petrology of lavas from Sierra Negra volcano,
Isabela Island, Galápagos archipelago. J Geophys Res Solid Earth
100:24537–24553. doi: 10.1029/95JB02809



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Rodd RL, Lees JM, Tepp G (2016) Three-dimensional attenuation model of Sierra Negra Volcano, Galápagos Archipelago. *Geophys Res Lett* 43:6259–6266. doi: 10.1002/2016GL069554

Tepp G, Ebinger CJ, Ruiz M, Belachew M (2014) Imaging rapidly deforming ocean island volcanoes in the western Galápagos archipelago, Ecuador. *J Geophys Res Solid Earth* 119:2013JB010227. doi: 10.1002/2013JB010227

Vigouroux N, Williams-Jones G, Chadwick W, Geist D, Ruiz A, Johnson D (2008) 4D gravity changes associated with the 2005 eruption of Sierra Negra volcano, Galápagos. *GEOPHYSICS* 73:WA29-WA35. doi: 10.1190/1.2987399

Yun S, Segall P, Zebker H (2006) Constraints on magma chamber geometry at Sierra Negra Volcano, Galápagos Islands, based on InSAR observations. *J Volcanol Geotherm Res* 150:232–243. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2005.07.009