

Revisión de las teorías existentes sobre el origen de la caldera de Las Cañadas, Tenerife (Islas Canarias)

Review of the existing theories about the origin of the Caldera of Las Cañadas, Tenerife (Canary Islands)



1. Caldera de Las Cañadas. Sacramento, A. (2018). Blog NaturaScape. Recuperado de <http://www.naturascape.es/un-paraie-volcanico-las-siete-canadas/>

Trabajo de Fin de Grado

Laura Santana Cerdón

Tutorizado por Ramón Casillas Ruiz. Grado en Biología. Septiembre 2018

Agradecimientos

Después de cuatro años de carrera hoy es el día en el que escribo este apartado para concluir mi Trabajo de Fin de Grado. Ha sido un período de aprendizaje donde he podido cumplir uno de mis sueños, estudiar Biología y ser bióloga.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia por el apoyo que me han dado para conseguir mi sueño. A mis compañeros que he conocido durante la carrera, que entre todos nos hemos apoyado para seguir adelante y por los grandes consejos que nos hemos dado. Por otro lado, agradecerle a mi tutor Ramón Casillas Ruiz por darme la oportunidad de poder ampliar mis conocimientos en el campo de la Geología y aprender más de este ámbito de la Biología. Por último, quiero agradecerme a mí misma por no rendirme nunca y luchar hasta llegar a este punto que, aunque el camino haya sido difícil, puedo decir con orgullo que lo he conseguido y que seguiré estudiando para seguir creciendo en este bonito mundo que es la biología.

Muchas gracias a todos.

Laura Santana Cordón.

Contenido

| | |
|--|----|
| <i>Resumen.</i> | 1 |
| <i>Abstract.</i> | 1 |
| <i>Introducción.</i> | 2 |
| <i>Objetivos.</i> | 6 |
| <i>Entorno geológico.</i> | 7 |
| <i>La caldera de Las Cañadas.</i> | 9 |
| <i>Discusión: teorías existentes acerca del origen de la caldera de Las Cañadas.</i> | 14 |
| <i>Teoría del colapso lateral</i> | 15 |
| <i>Teoría del colapso vertical</i> | 16 |
| <i>Conclusiones.</i> | 22 |
| <i>Conclusions.</i> | 22 |
| <i>Bibliografía.</i> | 24 |

Resumen.

El concepto de caldera con el paso del tiempo ha ido adquiriendo diferentes definiciones que ayudan a explicar el origen de las diferentes calderas. Una caldera que ha producido y sigue produciendo una gran controversia en cuanto a su origen es la caldera de Las Cañadas situada en Tenerife (Islas Canarias). Los mecanismos de su formación han sido discutidos por autores como Humboldt, y la polémica acerca de su origen continua en la actualidad. La presencia del Complejo Teide-Pico Viejo complica aún más el estudio del origen de la caldera, pero el debate se centra sobre todo en dos teorías ampliamente discutidas que son la teoría del colapso vertical y la teoría del colapso lateral. En el presente trabajo se expondrá una revisión bibliográfica donde se recogen los distintos datos presentados por diferentes autores para sustentar estas dos teorías con el fin de explicar el posible origen de la caldera de Las Cañadas.

Abstract.

The concept of caldera over time has acquired different definitions that help explain the origin of the different calderas. A caldera that has produced and continues to produce a great controversy as to its origin is the caldera of Las Cañadas located in Tenerife (Canary Islands). The mechanisms of its formation have been discussed by authors such as Humboldt, and the controversy about its origin continues at present. The presence of the Teide-Pico Viejo Complex further complicates the study of the origin of the caldera, but the debate focuses mainly on two widely discussed theories that are the theory of vertical collapse and the theory of lateral collapse. In this paper it will be exposed a bibliographic review where the different data presented by different authors are collected for these two theories in order to explain the possible origin of the caldera of Las Cañadas.

Palabras clave:

Origen, colapso, vertical, lateral, caldera, deslizamiento, pared.

Introducción.

La memoria de este trabajo bibliográfico constará de los siguientes contenidos:

- Una introducción donde se comentarán los diferentes tipos de calderas que se han definido.
- Una descripción del entorno geológico del Archipiélago Canario, así como de la isla de Tenerife.
- Un capítulo sobre la caldera de Las Cañadas donde se describe cómo es y se presentan ciertos datos que ayudarán a la comprensión de las teorías establecidas.
- Una exposición de las dos teorías más discutidas que son la del origen por colapso vertical y la del origen por colapso lateral.
- Finalmente, una discusión y las correspondientes conclusiones de este trabajo bibliográfico.

El concepto de caldera es originalmente un término geomorfológico que se aplica a grandes depresiones volcánicas circulares o ligeramente elípticas, provocadas por diversos procesos vulcano-tectónicos [Monroe et al., 2008]. Bravo (1962) define una caldera como una depresión crateriforme circular u ovalada, cerrada en todo su perímetro por elevadas paredes. Según Bravo (1962), las calderas del Archipiélago Canario son, en general, cráteres de volcanes localizados sobre la chimenea volcánica. Con el paso del tiempo el término caldera desarrolló connotaciones genéticas:

- Caldera de explosión (Fig. 1): constituyen depresiones topográficas de origen volcánico originadas por el desalojo de rocas como consecuencia de una salida violenta (explosiva) del magma o de productos relacionados como gases [Martínez et al., 1986]. Verdaderas calderas formadas únicamente por explosión no existen o solo se incluyen aquellas de pequeño tamaño para las que se usa la denominación más apropiada de cráteres de explosión [Monroe et al., 2008].



Figura 1. Caldera de Bandama, Gran Canaria. Google Inc. (2009). Google Earth (Versión 5.1.3533.1731) [Software].

- Calderas de colapso o hundimiento (Fig. 2): constituyen grandes depresiones que se originan por el colapso del techo de una cámara magmática superficial. La mayoría de las calderas tienen este origen, que suele estar relacionado con el vaciado parcial de la cámara magmática. Puede ocurrir que en detalle puedan haberse generado por mecanismos muy diferentes que responden a dos tipos principales: el colapso al independizarse y hundirse un gran bloque en la zona central del volcán y, como consecuencia, cede el techo de la cámara magmática; o el colapso durante o después de la emisión de grandes volúmenes de materiales pumíticos en erupciones muy explosivas. [Martínez et al., 1986; Monroe et al., 2008].



Figura 2. Caldera de Tejada, Gran Canaria. La línea azul delimita los bordes de la caldera. Pérez, H. (2012). Recuperado de [Mi Gran Canaria: TEJEDA, CALDERA DE \(ALDEA DE SAN NICOLÁS, ARTENARA Y TEJEDA\)](#)

- Calderas de erosión (Fig. 3): constituyen depresiones volcánicas muy modificadas por procesos de erosión y agrandadas por el retroceso de las paredes [Monroe et al., 2008]. Estas paredes que delimitan la caldera pueden alcanzar altitudes muy grandes con respecto a la base [Martínez et al., 1986].



Figura 3. Caldera de Taburiente, La Palma. GRAFCAN 2018. Google Inc. (2009). Google Earth (Versión 5.1.3533.1731) [Software].

- Calderas producidas por el deslizamiento del flanco de volcanes: constituyen depresiones volcánicas que no son completamente circulares, que fueron en un principio interpretadas como calderas de colapso y que pueden tratarse realmente

de depresiones en anfiteatro formadas por deslizamientos gigantes producidos al fallar el flanco de un gran volcán en relación o no con erupciones explosivas [Monroe et al., 2008].

Objetivos.

En base a lo anteriormente expuesto, se ha propuesto como objetivo general del presente trabajo realizar una revisión bibliográfica de las teorías que se han planteado para explicar el origen de la caldera de Las Cañadas. En este trabajo nos centraremos en las dos teorías más discutidas: la teoría del colapso vertical y la teoría del colapso lateral.

Para la consecución del mismo, se abordarán como objetivos específicos los siguientes:

1. Describir la estructura geológica y la evolución geológica de las Islas Canarias, en especial, la estructura y la evolución de la isla de Tenerife.
2. Establecer las características de la caldera de Las Cañadas.
3. Describir las diferentes teorías sobre la formación de la caldera.
4. Discutir las teorías expuestas presentando los datos recogidos por los diferentes autores.
5. Sacar las conclusiones más oportunas en base a la información expuesta en este trabajo.

Entorno geológico.

El Archipiélago Canario está conformado por un grupo de siete islas mayores junto a varios islotes, constituye una cadena de islas volcánicas localizada en el Océano Atlántico oriental estando cerca del margen continental africano. Las islas se han formado en el periodo Neógeno y se ubican sobre la corteza oceánica de edad Jurásica [Masson y Watts, 1995; Hunt et al., 2013]. Desde un punto de vista geomorfológico existen seis bloques insulares, dado que las islas de Lanzarote y Fuerteventura, además de varios islotes emergidos de sus plataformas costeras, constituyen un único edificio insular. Estos edificios insulares emergen del fondo oceánico desde profundidades de aproximadamente 3000 m [Bravo, 1962].

La isla de Tenerife es la más grande del Archipiélago Canario y presenta una compleja historia volcánica [Ancochea et al., 1999]. Después de Hawaii, Tenerife es la isla volcánica intraplaca más grande del mundo [Pous et al., 2002] y alberga el segundo complejo volcánico más grande de islas oceánicas después de Mauna Loa y Mauna Kea situados en Hawaii [Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. La isla de Tenerife presenta una evolución geológica basada en una alternancia de episodios constructivos y destructivos (Fig. 4) [Bryan et al., 1998; Piña-Varas et al., 2015]. Los episodios constructivos incluyen la acumulación de materiales volcánicos formados en variadas erupciones: fisurales, estrombolianas, vulcanianas, hidromagmáticas, etc. Sin embargo, los episodios destructivos incluyen deslizamientos gravitacionales y colapsos verticales [Piña-Varas et al., 2015]. La estructura geológica de la isla se define según dos complejos volcánicos principales: un escudo basáltico, que se encuentra principalmente sumergido y que constituye aproximadamente el 90% de la isla, continuando en la actualidad su construcción subaérea a través de dos zonas de rift (el NO-SE o de Santiago del Teide y el SO-NE, la dorsal de Pedro Gil o de la Esperanza) [Martí et al., 2008; Carracedo et al., 2009]; y el Complejo Central, que comprende el edificio Cañadas el cual representa un volcán compuesto caracterizado por erupciones altamente explosivas de magmas fonolíticos altamente evolucionados y los estratovolcanes Teide-Pico Viejo [Martí et al., 2008].

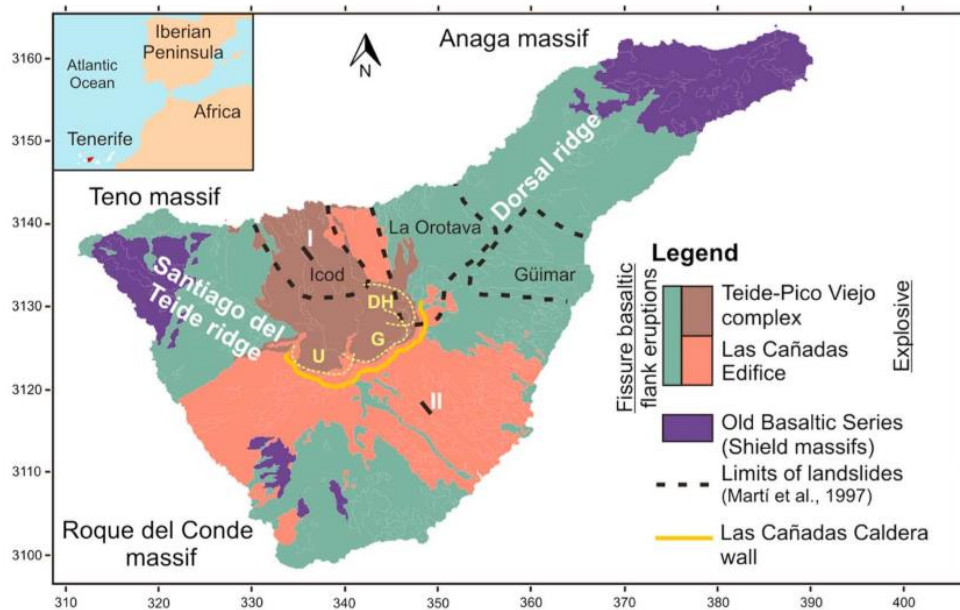


Figura 4. Mapa geológico de la isla de Tenerife. U: Ucanca, G: Guajara, DH: Diego Hernández. Recuperado de Piña-Varas et al., 2015.

El mencionado escudo basáltico (también denominado Serie Basáltica Antigua) constituye la porción subaérea basal de la isla y está formada por ankaramitas, basanitas y basaltos alcalinos datados entre 12 y 3.5 Ma [Ancochea et al., 1999; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. Actualmente, se encuentra expuesto en tres macizos profundamente erosionados: la península de Anaga al Noreste, el macizo de Teno al Noroeste y Roque del Conde al Sur [Masson y Watts, 1995; Ancochea et al., 1999; Pous et al., 2002; Soriano et al., 2006; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010; Hunt et al., 2011]. Se formaron en el Mioceno superior y en el Plioceno inferior siendo el resultado de varios ciclos volcánicos independientes intercalados con pausas importantes [Masson y Watts, 1995; Ancochea et al., 1999; Pous et al., 2002; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. Después de la construcción de la Serie Basáltica Antigua, tuvo lugar un periodo de inactividad volcánica que tuvo como consecuencia una extensa erosión de esta formación [Masson y Watts, 1995]. Finalizando este periodo, la actividad volcánica de la isla se concentró en la parte central donde tuvo lugar la construcción del complejo volcánico central, el edificio Cañadas (CE) [Pous et al., 2002; Hürlimann et al., 2004; Coppo et al., 2008] que tiene una composición de basáltica a fonolítica y fue construido y modificado por varios ciclos volcánicos [Coppo et al., 2008]. Además del CE, desde hace unos 170.000 años tuvo lugar la construcción del Complejo Teide-Pico Viejo, estando activo en la actualidad y dominado por magmas diferenciados [Soriano et al., 2006].

La caldera de Las Cañadas.

La caldera de Las Cañadas (CC) se formó en el interior del edificio Cañadas (CE) y representa una compleja depresión volcánica en donde la actividad del Complejo Teide-Pico Viejo (CTPV) ha sepultado la depresión inicial de la caldera por los depósitos volcánicos que actualmente esconden la mayor parte de su estructura interna [Pous et al., 2002]. La parte de la caldera que podemos ver actualmente en superficie (Fig. 5) se encuentra representada en dos tercios (Este-Sur y Oeste) por una pared acantilada con más de 25 km de longitud sin continuidad en los sectores Norte y Noroeste [Bravo, 1962; Ancochea et al., 1999]. La pared norte no está presente salvo en un segmento aislado conocido como La Fortaleza, el cual forma parte del macizo de Tigaiga [Pous et al., 2002]. La CC alcanza su máxima altitud en Guajara con una altura de 2712 m sobre el nivel del mar, donde la pared también posee su altura máxima (500 m) [Ancochea et al., 1999]. La extensión de la caldera es de aproximadamente 130 km² y el mayor diámetro es de unos 16 km. El CTPV se localiza en una posición subcentral de la caldera situándose un poco al noroeste del centro y alcanza alturas de 3100 m para Pico Viejo y 3718 m para Teide [Bravo, 1962].

El macizo de Tigaiga separa los valles de Icod y de La Orotava los cuales representan profundas cicatrices de colapsos de flancos en el Norte de la isla [Pous et al., 2002; Martí et al., 2008]. En el flanco sur de la dorsal de la Esperanza o Pedro Gil se encuentra el valle de Güímar que representa una estructura similar a los valles de Icod y de La Orotava [Ablay et al., 2000].

El historial de la actividad eruptiva en el área incluye tanto erupciones explosivas como efusivas [Martí et al., 2008]. Las lavas de composición fonolítica y traquifonolítica, se acumularon sobre todo en la zona noroeste de la CC en forma de lenguas cortas y gruesas elevando el aparato volcánico. Sin embargo, las lavas más fluidas en la zona norte alcanzaron el mar ya que descendieron por el valle Guancha-Icod y las que fluyeron por la zona Este, Sur y Oeste rellenaron la depresión de Las Cañadas [Bravo, 1962]. El vulcanismo fonolítico se limita al Complejo Central, al CE y, actualmente, al CTPV, con solo dos manifestaciones de este tipo existentes fuera del área, en el flanco suroeste inferior de la isla (Montaña de Guaza y Caldera del Rey) [Martí et al., 2008].

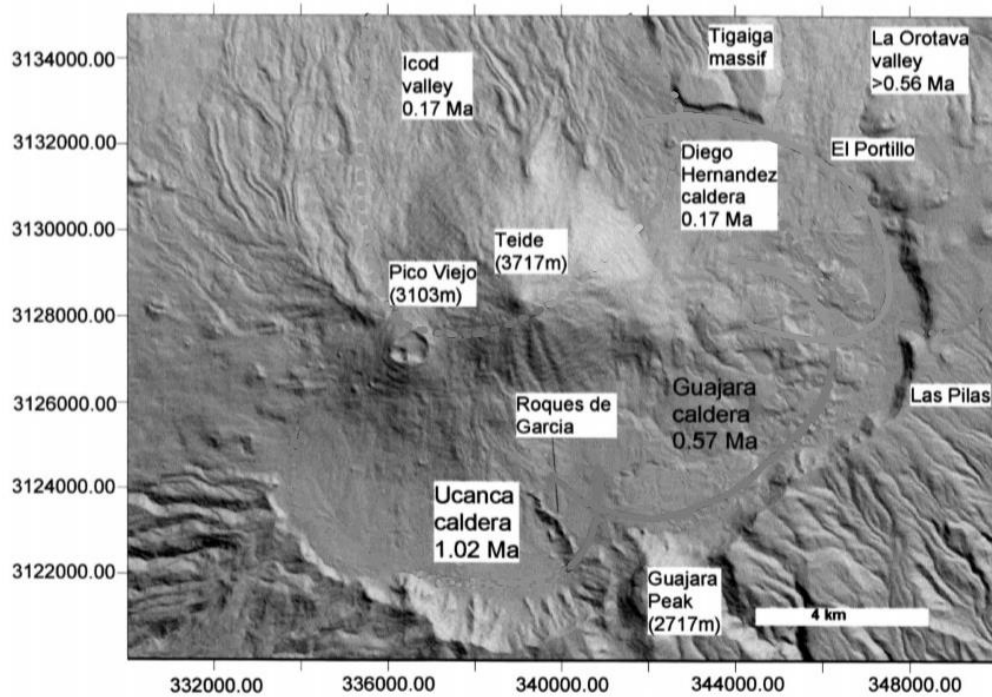


Figura 5. Relieve sombreado de la caldera de Las Cañadas. Recuperado y modificado de Martí y Gundmundsson, 2000.

Clásicamente, se ha dividido a la CC en dos grandes sectores, occidental y oriental, siendo los Roques de García los que marcan dicha división [Ancochea et al., 1999]. Los Roques de García representan un gran espolón de rocas pre-caldera que colindan con la pared sur representando el único resto de materiales del CE dentro de la caldera debido a que el resto fue cubierto por los depósitos del CTPV [Arnaud et al., 2001; Pous et al., 2002]. El CE se ha considerado siempre como una estructura volcánica compleja formada por la superposición de distintas fases de construcción [Ancochea et al., 1999]. Ancochea et al. (1995, 1999 y 2000) ponen de manifiesto que la construcción del CE se debe a la superposición de 3 edificios sucesivos (Fig. 6) [Ancochea et al., 1999; Hunt et al., 2011]:

1. Edificio Cañadas I: se desarrolla entre 3.5-2.6 Ma y en ella se construye un primer edificio central. Los materiales visibles de este edificio aparecen en la pared de la caldera y en los flancos del CE, siendo la Cañada de La Angostura donde se pueden ver estos materiales superficialmente, también en el fondo de barrancos profundos y en las galerías de agua en el sur del edificio. Los materiales de este edificio son lavas basálticas o traquibasálticas y piroclastos sálicos [Ancochea et al., 1999].
2. Edificio Cañadas II: se desarrolla entre 2.4-1.4 Ma y está caracterizada por abundantes manifestaciones piroclásticas, sobre todo en su sector occidental. Los

materiales de este edificio se encuentran principalmente en el sur y oeste del CE, en el sector occidental de la pared de la caldera y en el Norte del macizo de Tugaiga. Los materiales de este edificio se caracterizan por ser flujos traquíticos y traquibasálticos, aunque también existe una sucesión de gruesas capas fonolíticas [Ancochea et al., 1999].

3. Edificio Cañadas III: se desarrolla entre 1.2-0.15 Ma, existe de nuevo una actividad piroclástica sálica importante, en este caso en los sectores oriental y meridional. Los materiales de este edificio se encuentran en mayor extensión y espesor en la parte oriental del CE [Ancochea et al., 1999].

Las distintas fases de actividad volcánica intensa están separadas por fases de destrucción erosiva y el colapso del flanco con la formación de avalanchas de escombros [Ancochea et al., 1999; Martí et al., 2008]. Después de la construcción del edificio Cañadas I ocurrió un importante período destructivo caracterizado por la existencia de grandes derrumbes donde los depósitos de los escombros de este edificio afloran principalmente en el Norte del CE y en el fondo del mar. Por lo que el hecho de que la mayoría de los afloramientos del edificio Cañadas I estén en el sur indican que ocurrió una destrucción del edificio en la zona norte. Posteriormente a ese período destructivo, comenzó un período de construcción donde se generó el edificio Cañadas II. Después de la construcción del edificio Cañadas II hubo un período de erosión seguido de la formación del edificio Cañadas III. Finalmente, ocurre la formación de la caldera de Las Cañadas, donde actualmente continúa la actividad en el Complejo Teide-Pico Viejo [Ancochea et al., 1999].

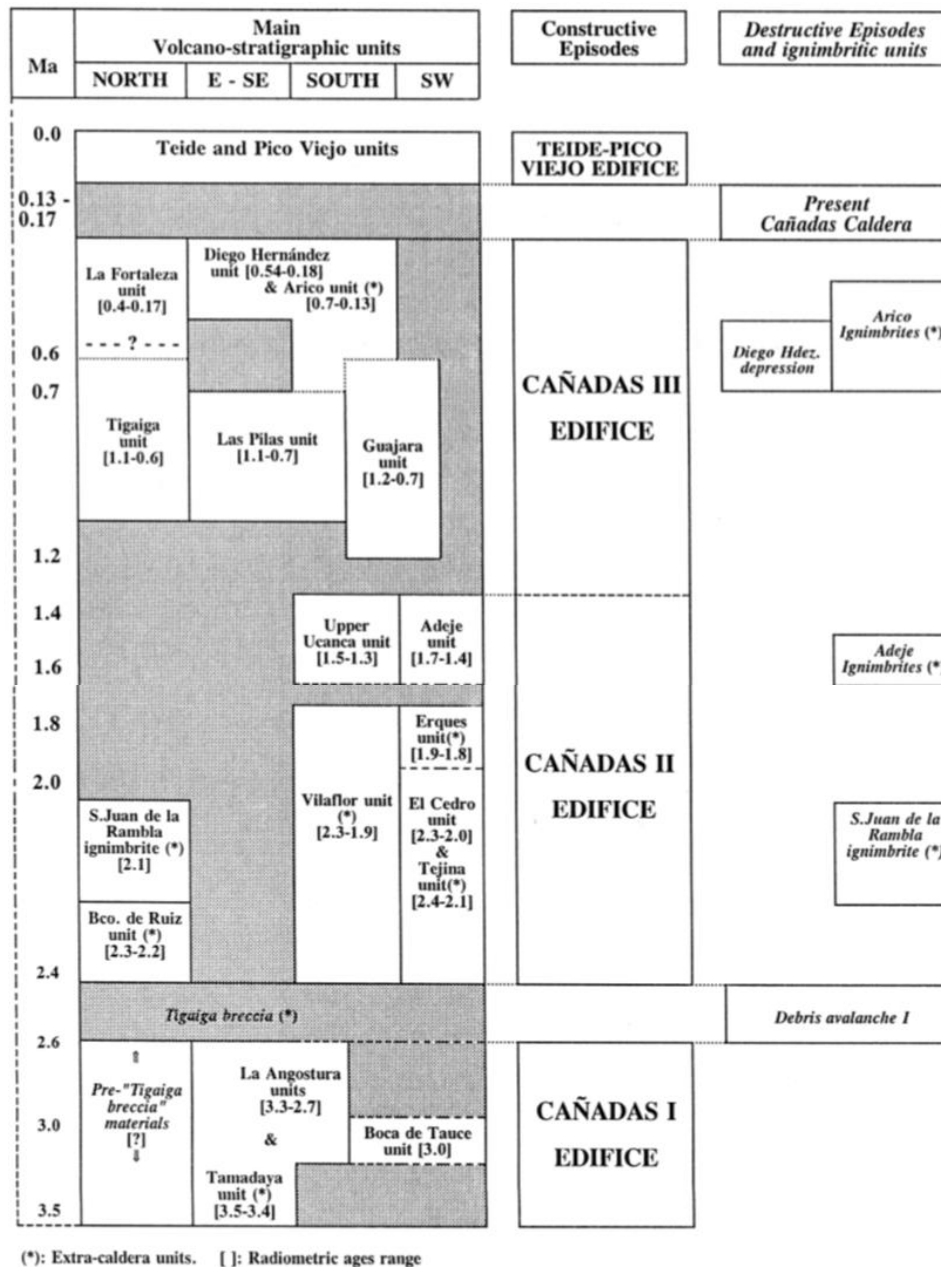


Figura 6. Modelo estratigráfico para el edificio Cañadas propuesto por Ancochea et al. (1995, 1999 y 2000). Recuperado de Ancochea et al., 1999.

Sin embargo, Fúster et al. (1968) y Araña (1971) diferencian dos series denominadas Cañadas inferior y Cañadas Superior [Ancochea et al., 1999]. Otros autores como Martí et al., (1994) dividen el CE en dos grupos (Fig. 7): Grupo Inferior (~3.5-2 Ma) y Grupo Superior (~1.6-0.17 Ma) [Ancochea et al., 1999; Hürlimann et al., 2004; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. El Grupo Inferior engloba hasta siete unidades poco estudiadas situadas principalmente en las partes inferiores de la pared de la caldera y se compone por lavas fonolíticas, basálticas y rocas piroclásticas incluidas tobas soldadas

de composición fonolítica. Sin embargo, el Grupo Superior está constituido por tres formaciones: Formación Ucanca (1.54-1.07 Ma), Formación Guajara (0.85-0.57 Ma) y la Formación Diego Hernández (0.38-0.18 Ma), donde cada una de ellas terminó con el colapso de la caldera. El proceso de colapso superpuesto se relaciona con una migración hacia el este de una cámara magmática poco profunda [Ablay et al., 2000; Schnegg et al., 2010].

| | | |
|---------------------|-------------|--------------------------------------|
| Las Cañadas Edifice | Upper Group | Diego Hernández Fm (0.37-0.18 Ma) |
| | | Guajara Fm (0.85-0.57 Ma) |
| | | Ucanca Fm (1.57-1.07 Ma) |
| | Lower Group | Undifferentiated (3.3-2 Ma) |

Figura 7. Estratigrafía del edificio Cañadas propuesta por Martí et al. 1994. Recuperado de Ancochea et al., 1999.

Discusión: teorías existentes acerca del origen de la caldera de Las Cañadas.

Los mecanismos de formación de la caldera de Las Cañadas (CC) han sido discutidos por Humboldt (1814), Buch (1825), Lyell (1855), y más recientemente por autores como Hausen (1956), Blumenthal (1961), Bravo (1962), Fúster et al. (1968), McFarlane y Ridley (1968), Araña (1971), Coello (1973), Booth (1973), Borley (1974), Ancochea et al. (1990), Martí et al. (1994), entre otros autores [Ancochea et al., 1999].

El origen de la CC es controvertido y existe un gran debate que se centra en si la depresión que forma la caldera se debe a colapsos laterales o a colapsos verticales [Coppo et al., 2008; Piña-Varas et al., 2015]. En los primeros estudios en relación con la CC, autores como Hausen (1956) consideran un primer volcán denominado volcán pre-caldera que alcanzó una altitud mayor que la del Teide (aproximadamente 4.000 metros). Después de esta fase, ocurrió una fase explosiva con la expulsión de enormes masas de lapillis, bombas, escorias y grandes derrumbamientos que dieron lugar a la caldera. Como consecuencia de la salida de estos materiales, admite otra fase explosiva donde se originó un vacío en el interior del volcán cuya consecuencia fue un movimiento de subsidencia que terminó por dar forma a la caldera [Hausen, 1960]. Sin embargo, posteriormente, las explicaciones dadas por los investigadores se agrupan en 2 modelos diferentes. Existen autores que suponen que la CC fue formada por un gran deslizamiento gravitacional del CE hacia el Norte (Coello, 1973; Navarro y Coello, 1989; Ancochea et al., 1999; Ablay y Hürlimann, 2000, entre otros) y los que asumen que la formación se debe a múltiples colapsos verticales (Martí y Araña, 1991; Martí et al., 1994, 1996; Martí y Gudmundsson, 2000; Pous et al., 2002; Coppo et al., 2008; Blanco-Montenegro et al., 2011; Piña-Varas et al., 2015; entre otros).

De esta forma, muchos estudios afirman que la actual escarpadura de la pared de la CC fue producida por uno o varios colapsos laterales dirigidos en dirección norte, entre estos autores podemos encontrar a Bravo (1962), Navarro y Coello (1989), Ancochea et al. (1990, 1998, 1999), Carracedo (1994), Masson y Watts (1995, 1998, 2001), Cantagrel et al. (1999), Arnaud et al. (2001), y Masson et al. (2002) [Coppo et al., 2008]. Sin embargo, autores como Fúster et al. (1968), Araña (1971), Martí et al. (1994, 1996 y 1997), Bryan et al. (1998), Martí (1998) y Martí y Gudmundsson (2000) siguieron otra línea de estudio que se relaciona con la formación de la CC como el resultado de repetidos derrumbes

verticales originados por los colapsos acaecidos durante las erupciones volcánicas mayores que forman la caldera [Coppo et al., 2008]. Incluso autores como Ablay y Hürlimann (2000), Martí y Gudmundsson (2000) y Brown y Branney (2004) relacionaban estos colapsos verticales con una actividad explosiva y la migración de la cámara de magma asociada [Blanco-Montenegro et al., 2011].

Según Carracedo (1996) en las galerías hay una evidencia clara para interpretar la CC como una depresión abierta al mar ya que el perímetro norte de la caldera falta por completo y afirma que no está enterrado por el CTPV dado que en las galerías solo se han encontrado materiales post-caldera. Expone dos hipótesis que son: 1) la CC es una depresión abierta hacia el mar por un único (o múltiples) deslizamiento(s) gravitacional(es), hipótesis apoyada también por Bravo (1962), Coello (1973), Navarro y Coello (1989) y Carracedo (1994); y 2) la CC es una depresión abierta hacia el mar originada por el colapso de la cámara magmática y el posterior deslizamiento hacia el norte del flanco septentrional de la caldera de colapso originada, autores como Booth (1973) y Martí et al (1994) apoyaban también esta hipótesis [Carracedo, 1996].

En base a lo expuesto anteriormente, podemos ver que existe mucha controversia en cuanto al origen de la caldera de Las Cañadas (CC) ya que aún no se ha esclarecido del todo su origen. A continuación, discutiré por separado ambas teorías exponiendo los datos que presentan los distintos autores para apoyar una teoría u otra.

Teoría del colapso lateral

Esta teoría se basa en que la CC se ha formado por colapsos laterales que afectaron al edificio Cañadas (CE). Autores como Coello et al. (1973), Ancochea et al. (1999) y Ablay y Hürlimann (2000), entre otros, se basan en esta teoría afirmando que se han producido avalanchas de grandes masas de escombros [Coello, 1973; Ancochea et al., 1999; Ablay y Hürlimann, 2000]. Apoyan esta teoría basándose en los depósitos de avalanchas de escombros encontrados en la costa norte, así como en el fondo del océano al norte de la Isla, y estos depósitos los relacionan con eventos de colapsos laterales que ocurrieron en la evolución del CE.

Autores como Bravo (1962) hablan del “fanglomerado” el cual está compuesto de una masa arcillo-arenosa donde se encuentran englobados de forma heterogénea bloques de rocas de todos los tamaños. Este fanglomerado tiene un comportamiento plástico y el límite de este subsuelo se encuentra rodeando completamente el escudo volcánico central.

Su origen se supone que es debido a explosiones de gran intensidad que redujeron a escombros toda la estructura central de la isla. Este fanglomerado actúa como una superficie de deslizamiento mediante el cual se han deslizado grandes masas inestables que han originado los valles de La Orotava y Güímar [Bravo, 1962; Coello, 1973; Coppo et al., 2009]. El fanglomerado se ha podido confirmar gracias a los datos geológicos que se han recogido en las numerosas galerías perforadas para el suministro de agua que han revelado este estrato [Schnegg et al., 2010].

Como ya se expuso anteriormente, Ancochea et al. (1999) afirman que la construcción del CE se debe a la superposición de 3 edificios [Arnaud et al., 2001] y ponen de manifiesto que la brecha de Tigaiga que fue encontrada en las galerías subterráneas de agua, al norte de la Isla, representa los depósitos de escombros derivados de la destrucción de las formaciones volcánicas correspondientes al edificio Cañadas I situadas en el norte de Tenerife. Con respecto al valle de Icod, este representa una depresión abierta al norte que está cubierto por las lavas del Teide y Pico Viejo. La inexistencia actual de la pared norte de la caldera sugiere que el origen de la CC podría ser consecuencia de un gran deslizamiento en dirección Norte dando lugar al valle de Icod que más tarde se rellenaría con la erupción del Complejo Teide-Pico Viejo (CTPV).

Siguiendo con las ideas propuestas por Ancochea et al. (1999) afirman que después de la primera fase de construcción del CE (Cañadas I) ocurrió un gran episodio de destrucción (hace 2.6-2.3 Ma). Después de esto, se construyó el edificio Cañadas II ubicado en la parte occidental de la actual CC donde la distribución de sus depósitos junto con la reconstrucción de la morfología y la serie de diques apuntan a la existencia de un gran edificio central. En un edificio volcánico los eventos de colapsos laterales repetidos son muy comunes y frecuentemente ocurren siguiendo direcciones similares. Por lo tanto, si la CC se ha formado en más de un episodio, todos ellos deberían haber ocurrido después del edificio Cañadas III y antes del CTPV [Ancochea et al., 1999].

En conclusión, los datos recogidos por estos autores apoyan el origen de la CC como una caldera de deslizamiento multicíclica debida a colapsos laterales dirigidos al norte [Ancochea et al., 1999; Ablay y Hürlimann, 2000].

Teoría del colapso vertical

La teoría del colapso vertical es apoyada por autores como Martí et al. (1996), Martí y Gundmundsson (2000), Pous et al. (2002), Coppo et al. (2008), Blanco-Montenegro et al.

(2011) y Piña-Varas et al. (2015), entre otros autores [Martí et al., 1996; Martí y Gundmundsson, 2000; Pous et al., 2002; Coppo et al., 2008; Blanco-Montenegro et al., 2011; Piña-Varas et al., 2015].

Martí et al. (1996) apoyan ambas teorías donde establecen que primero ocurrió un colapso de la caldera vertical seguido de colapsos laterales. Estos autores están de acuerdo con la teoría del colapso lateral dada la presencia de los depósitos de escombros en el lado norte de la CC, pero dadas ciertas características morfológicas de la caldera como, por ejemplo, las paredes empinadas y el contorno elíptico festoneado también apoyan la teoría del colapso vertical, ya que estas características son típicas de las calderas colapsadas. Por lo que interpretan la ausencia de una parte de la pared norte de la caldera para reflejar la modificación del flanco norte del CE después del colapso de la caldera, esto ya había sido propuesto por Booth (1973). Presentan varias objeciones en cuanto al origen único de la CC por deslizamiento gravitacional lateral:

- La cicatriz producida por el deslizamiento lateral propuesto (CC y el valle de Icod) es más ancha proximalmente siendo esto contrario a la geometría esperada si el origen fuera únicamente el colapso lateral.
- Esta teoría no explica por qué La Fortaleza se ha mantenido intacta ya que representa un bloque de pared de la CC que descansa sobre el macizo de Tigaiga que está formado por materiales pre-caldera.
- La formación de la parte occidental de la caldera por colapsos laterales es geoméricamente improbable dado que los deslizamientos de tierra postulados tendrían que haber cruzado la barrera que supone la formación Roques de García para llegar hasta el valle de Icod.

En conclusión, estos autores basándose en estos datos apoyan el origen de la CC como un colapso vertical seguido de colapsos laterales [Martí et al., 1996].

En otro estudio realizado por Martí en colaboración con Gundmundsson (Martí y Gundmundsson, 2000), describen la evolución del Grupo Superior del CE (recordar que dividen al CE en Grupo Inferior y Grupo Superior) [Ancochea et al., 1999; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. Con respecto al Grupo Superior, estos autores exponen que existieron diferentes ciclos de vulcanismo fonolítico y que al final de cada ciclo se producían grandes colapsos verticales. Explican estos ciclos como consecuencia de sucesivos episodios de crecimiento y destrucción de cámaras de magma poco profundas,

donde el colapso de la cámara ocurría cuando está estaba lo suficientemente madura y había producido volúmenes significativos de magmas. Por lo que sugieren que se requieren algunas condiciones mecánicas específicas para que ocurra el colapso de la caldera. En conclusión, afirman que las calderas de colapso superpuestas se relacionan con edificios volcánicos de larga duración donde puede ocurrir la migración repetida de la cámara magmática, por consiguiente, defienden la migración de la cámara magmática y el origen de la CC como consecuencia de colapsos verticales [Martí y Gundmundsson, 2000].

Pous et al. (2002) apoyan el colapso vertical múltiple como origen de la CC. Basándose en estudios magnetoteléuricos realizados en la caldera identificaron varios acuíferos cuya localización estaría condicionada por la existencia de varias calderas de colapso vertical. Mediante estos estudios, se ha sugerido que el origen de la CC fue por múltiples colapsos verticales que originaron dos depresiones cerradas en los sectores occidental (Ucanca) y central (Guajara) (Fig. 8). También han establecido que la Formación Roques de García es un verdadero límite estructural vertical que se introduce en la depresión de la caldera. Este hecho apoya la idea de que la caldera se ha formado por más de un evento de derrumbe [Pous et al., 2002].

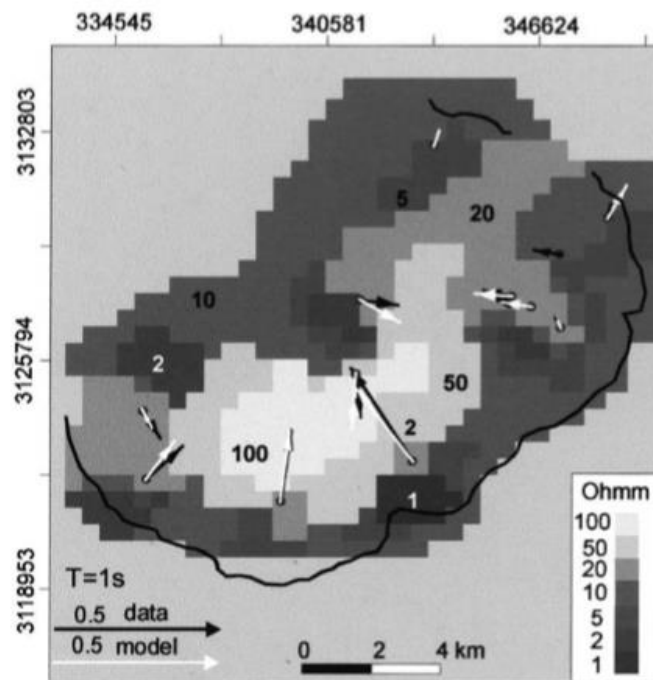


Figura 8. Modelo 3D de la caldera Cañadas donde se diferencian dos depresiones: Ucanca y Guajara. Recuperado de Pous et al., 2002.

Coppo et al. (2008) defienden que el CE está formado por dos grupos denominados Grupo Inferior y Grupo Superior [Ancochea et al., 1999; Coppo et al., 2008; Schnegg et al., 2010]. Estos autores basándose en estudios magnetotelúrico afirman que existen dos depresiones principales en la caldera que se interpretan como resultado de dos colapsos verticales situados en las calderas de Guajara y Diego Hernández. Cada uno de estos colapsos es el resultado de complejos procesos que en última instancia dieron lugar al colapso vertical. De tal forma que basándose en estos datos apoyan la teoría de que la CC se formó después del colapso vertical de distintos edificios volcánicos (Fig. 9) [Coppo et al., 2008].

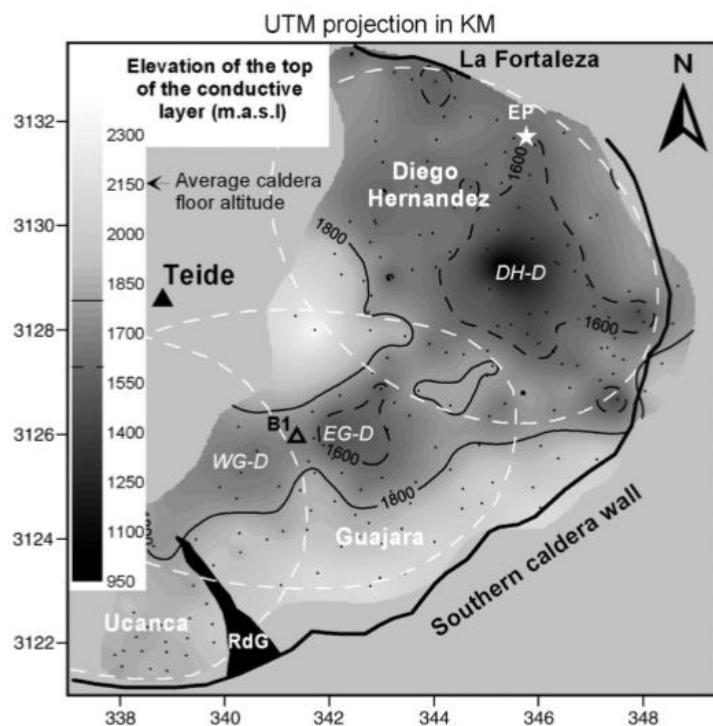


Figura 9. Imagen obtenida por audiomagnetotelúrica. Se deducen tres calderas (líneas discontinuas blancas): Ucanca, Guajara y Diego Hernández. Recuperado de Coppo et al., 2008.

Blanco-Montenegro et al. (2011) se basan en datos magnéticos para apoyar la teoría del colapso vertical como origen de la CC. Se centran en la ubicación de la pared de la cabecera del colapso del origen del valle de Icod para defender esta teoría donde consideran que se produjo un solo colapso en esta área y que la pared norte de la caldera se encuentra bajo las laderas situadas al norte del CTPV. En el Norte de la isla se encuentran estructuras fuertemente magnetizadas que estos autores las relacionan con intrusiones de magma favorecidas por la descompresión ocasionada por colapsos. El contraste de magnetización entre las estructuras resultantes de los deslizamientos

gravitacionales y, los materiales volcánicos de los depósitos de avalanchas de escombros menos magnetizados que llenan las cicatrices contribuyen a las anomalías magnéticas observadas por estos autores. Afirman que los valores más altos de magnetización aparecen en las cercanías del CTPV donde interpretan estas estructuras como sistemas de diques de alta densidad sugiriendo que la cicatriz del colapso de Icod se encuentra sepultada por el CTPV (Fig. 10), por lo que estos datos rechazan la teoría del origen único por colapso lateral de la CC [Blanco-Montenegro et al., 2011].

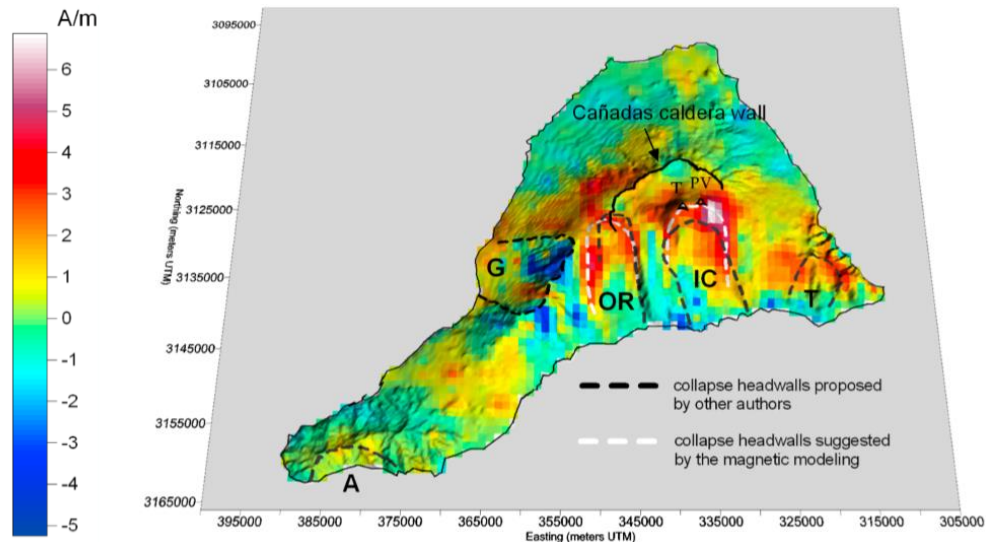


Figura 10. Distribución de la magnetización obtenida a través de la inversión lineal del mapa de anomalías magnéticas. Las líneas discontinuas muestran la ubicación de los anfiteatros deslizamientos que originarían el valle de Icod (IC). OR: La Orotava; G: Güümar; T: Teno; A: Anaga. Los triángulos muestran la ubicación de los cráteres de Teide (T) y Pico Viejo (PV). Recuperado de Blanco-Montenegro et al., 2011.

Por último, Piña-Varas et al. (2015) analizando el modelo de resistividad tridimensional respaldan la teoría del colapso vertical y el posterior deslizamiento lateral. Los datos que obtuvieron confirman la idea de que la pared norte de la caldera debe estar sepultada y localizada aproximadamente debajo del Teide. Afirman que varios estudios apuntan a un origen relacionado con un proceso multicíclico que implican sucesivos colapsos verticales [Piña-Varas et al., 2015]. En la Figura 8 A) se representa el esquema propuesto por Martí (2004) donde se muestra cómo sería la estructura interna de la caldera suponiendo el origen de colapso vertical-colapso lateral (esquema superior) y el origen únicamente por colapso lateral (esquema inferior). En la Figura 8 B) se representa la sección transversal obtenida del modelo de resistividad superpuesto a los esquemas de Martí (2004) donde el dibujo superior se corresponde con el origen de colapso vertical-colapso lateral y el inferior con el origen únicamente por colapso lateral. En la imagen

superior de la figura B se representa la pared norte de la caldera enterrada y localizada debajo del Teide, la línea roja indicaría la ubicación de la pared propuesta por estos autores.

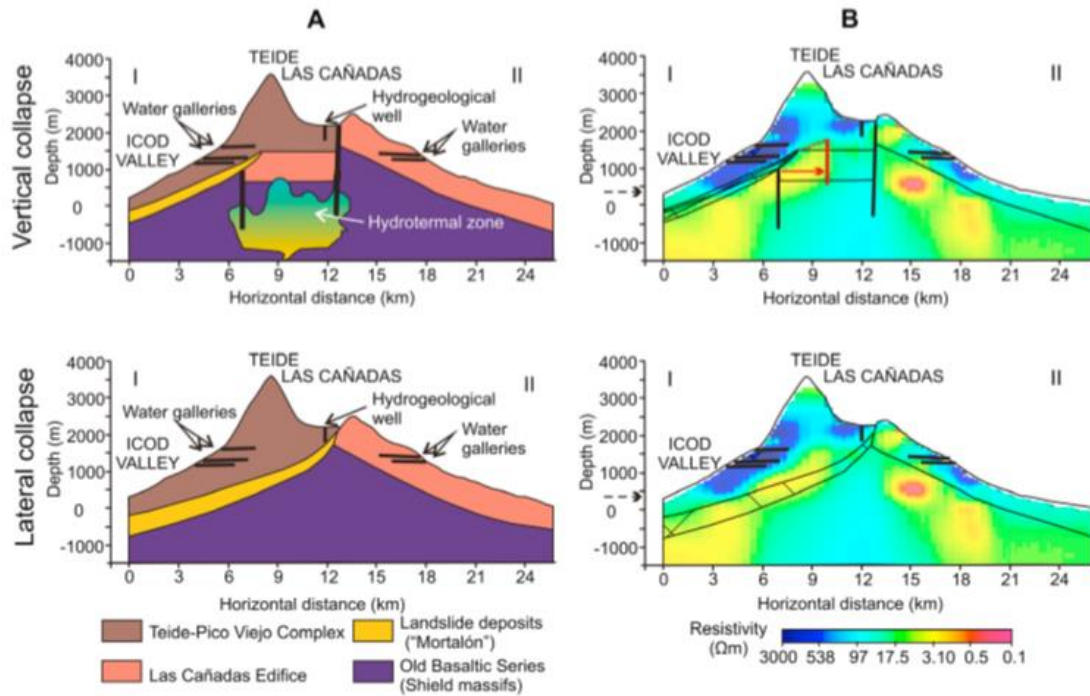


Figura 11. A) Esquema propuesto por Martí (2004) para explicar el origen de la CC. B) Sección transversal del modelo de resistividad superpuesto a los esquemas de Martí (2004). El área rayada corresponde a los depósitos de avalanchas de escombros. La línea roja vertical corresponde a la pared norte de la caldera. Recuperado de Piña-Varas et al., 2015.

Conclusiones.

En conclusión, aún no se ha podido establecer una teoría plausible para el origen de la caldera de Las Cañadas. Su origen parte de dos ideas que son que la caldera fue formada por un gran deslizamiento (o varios) en dirección norte; y la idea de que la caldera se formó por procesos de colapsos verticales. Aunque existe una tercera teoría que sería la que supone varios colapsos verticales seguidos de un deslizamiento lateral hacia el norte. La ausencia actual de la pared norte de la caldera ha complicado el poder establecer inequívocamente una teoría u otra dado que podría sugerir que el origen de la caldera de Las Cañadas podría ser una consecuencia de un gran deslizamiento en dirección norte dando lugar al valle de Icod que más tarde se rellenaría con los materiales rocosos que constituyen el Complejo Teide-Pico Viejo, aunque también podría haber sido enterrada por el Complejo Teide-Pico Viejo siendo su origen un colapso vertical (o varios). Por tanto, en cuanto a la ubicación de la pared norte de la caldera varios autores apoyan que se encuentra sepultada debajo del Complejo Teide-Pico Viejo por lo que esto apoya un origen de colapso vertical para la caldera. Para explicar estos aspectos, recientemente, se ha planteado la existencia de colapsos verticales a los que seguirían colapsos laterales hacia el norte.

Conclusions.

In conclusion, it has not yet been possible to establish a plausible theory for the origin of the Cañadas caldera. Its origin comes from two ideas that are that the caldera was formed by a large landslide (or several) in northbound; and the idea that the caldera was formed by processes of vertical collapses. Although there is a third theory that would be the one that involves several vertical collapses followed by a lateral landslide to the north. The current absence of the northern wall of the caldera has made it difficult to unequivocally establish a theory or other given that could suggest that the origin of the Cañadas caldera could be a consequence of a large northward landslide giving rise to the Icod Valley that later filled with the eruption the Teide-Pico Viejo Complex, although it could also have been buried by the Teide-Pico Viejo Complex, its origin being a vertical collapse (or sv. Therefore, regarding the location of the northern wall of the caldera, several authors support that it's buried under the Teide-Pico Viejo Complex, which supports an origin of vertical collapse for the caldera. Since there are no detailed subsurface geophysical data of the whole caldera that unambiguously approve one theory

or another, several authors support the third theory that states that first a vertical collapse followed by lateral collapses occurred.

Bibliografía.

- Ablay, G. y Hürlimann, H.** 2000. Evolution of the north flank of Tenerife by recurrent giant landslides. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **103**: 135-159
- Ancochea, E., Huertas, M. J., Cantagrel, J. M., Coello, J., Fúster, J. M., et al.** 1999. Evolution of the Cañadas edifice and its implications for the origin of the Cañadas Caldera (Tenerife, Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **88**: 177-199.
- Arnaud, N., Huertas, M. J., Cantagrel, J. M., Ancochea, E. y Fúster, J. M.** 2001. Edades $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ de los depósitos de Roques de García (Las Cañadas, Tenerife). *Geogaceta*, **29**: 19-22
- Blanco-Montenegro, I., Nicolosi, I., Pignatelli, A., García, A. y Chiappini, M.** 2011. New evidence about the structure and growth of ocean island volcanoes from aeromagnetic data: The case of Tenerife, Canary Islands. *Journal of Geophysical research*, **Vol. 116**, B03102, doi: 10.2029/2010JB007646
- Bravo, T.** 1962. El circo de Las Cañadas y sus dependencias. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **60**, págs. 93-108
- Bryan, S. E., Cas, R. A. F. y Martí, J.** 1998. Stratigraphy of the Bandas del Sur Formation: an extracaldera record of Quaternary phonolitic explosive eruptions from the Las Cañadas edifice, Tenerife (Canary Islands). *Geol. Mag.*, **135**, págs.: 605-636
- Carracedo, J. C.** 1996. Morphological and structural evolution of the western Canary Islands: hotspot-induced three-armed rifts or regional tectonic trends? *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **72**: 151-162
- Carracedo, J. C., Guillou, H., Rodríguez-Badiola, E., Pérez-Torrado, F. J., Rodríguez-González, A., et al.** 2009. La dorsal NE de Tenerife: hacia un modelo del origen y evolución de los rifts de islas oceánicas. *Estudios Geológicos*, **65** (1), págs.: 5-47, doi: 10.3989/egeol.39755.056
- Coello, J.** 1973. Las series volcánicas en subsuelos de Tenerife. *Estudios geológicos*, Vol. XXIX, Nº 6, págs. 489-501.
- Coppo, N., Schnegg, P. A., Heise, W., Falco, P. y Costa, R.** 2008. Multiple caldera collapses inferred from the shallow electrical resistivity signature of the Las Cañadas caldera, Tenerife, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **170**: 153-166.
- Coppo, N. P., Schnegg, P. A., Falco, P. y Costa, R.** 2009. A Deep scar in the flank of Tenerife (Canary Islands): Geophysical contribution to tsunami Hazard assessment. *Earth and Planetary Science Letters* **282**: 65-68
- Hausen, H.** 1960. Las calderas canarias: consideraciones sobre los modos de formación, según resultados de estudios realizados en el periodo 1947-1957. *Anuario de Est. Atl.*, Nº 6, págs. 133-194.
- Hunt, J. E., Wynn, R. B., Masson, D. G., Talling, P. J. y Teagle, D. A. H.** 2011. Sedimentological and geochemical evidence for multistage failure of volcanic island landslides: A case study from Icod landslide on north Tenerife, Canary Islands. *Geochemistry, Geophysics, Geostems*, **12**, Q12007, doi: 10.1029/2011GC003740
- Hunt, J. E., Wynn, R. B., Talling, P. J. y Masson, D. G.** 2013. Turbidite record of frequency and source of large volumen (>100 km³) Canary Island landslides in the last 1.5 Ma: Implications for landslide triggers and geohazards. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **14**, 2100-2123, doi: 10.1002/ggge.20139
- Hürlimann, M., Martí, J. y Ledesma, A.** 2004. Morphological and geological aspects related to large slope failures on oceanic islands. The huge La Orotava landslides on Tenerife, Canary Islands. *Geomorphology*, **62**: 143-158
- Martí, J., Ablay, G. J. y Bryan, S.** 1996. Comment on "The Canary Islands: an example of structural control on the growth of large oceanic-island volcanoes" by J. C. Carracedo. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **72**: 143-149

Martí, J. y Gundmundsson, A. 2000. The Las Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands): an overlapping collapse caldera generated by magma-chamber migration. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **103**: 161-173

Martí, J., Spence, R., Calogero, E., Ordoñez, A., Felpeto, A., et al., 2008. Estimating building exposure and impact to volcanic hazards in Icod de los Vinos, Tenerife (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **178**: 553-561

Martínez, J., Menéndez, I. y Casas, D. 1986. Formas volcánicas: las calderas. Colección aula-taller, serie monografías didácticas, I.C.E. Universidad Politécnica de Las Palmas

Masson, D. G. y Watts, A. B. 1995. A giant landslide on the north flank of Tenerife, Canary Islands. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, N° **B12**, págs 24, 487-24, 498.

Mitchell, N. C., Masson, D. G., Watts, A. B., Gee, M. J. R. y Urgeles, R. 2002. The morphology of the submarine flanks of volcanic ocean islands. A comparative study of the Canary and Hawaiian hotspot islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **115**: 83-107

Monroe, J. S., Wicander, R. y Pozo, M. 2008. Geología. Dinámica y evolución de la Tierra. Edición Paraninfo

Piña-Varas, Ledo, P. J., Queralt, P., Marcuello, A., Bellmunt, F., et al. 2015. Vertical collapse origin of Las Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands) revealed by 3-D magnetotelluric inversión. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 1710–1716, doi:10.1002/2015GL063042.

Pous, J., Heise, W., Schnegg, P. A., Muñoz, G., Martí, J., et al. 2002. Magnetotelluric study of the Las Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands): structural and hydrogeological implications. *Earth and Planetary Science Letters* **204**: 246-263.

Rodríguez-González, A. y Fernández-Turiel, J. L. 2015. Las geoformas volcánicas y su modelado morfométrico con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Enseñanza de las Ciencias de La Tierra (23.1), edición electrónica 2385-3484, págs. 40-48

Schnegg, P. A., Coppo, N., Falco, P. y Costa, R. 2010. Conductive structures around Las Cañadas caldera, Tenerife (Canary Islands, Spain): A structural control. *Geologica Acta*, Vol. 8, N° **1**, 67-82

Soriano, C., Galindo, I., Martí, J. y Wolff, J. 2006. Conduit-vent structures and related proximal deposits in the Las Cañadas caldera, Tenerife, Canary Islands. *Bull Volcanol* **69**: 217-231.

Figura portada [1]: Sacramento, A. 2018. Blog de turismo natural NaturaScape. Recuperado de: [Un paraje volcánico...las Siete Cañadas - NaturaScape](#)

Figura 1: Google Inc. 2009. Imagen extraída con el programa Google Earth (Versión 5.1.3533.1731) [Software]

Figura 2: Pérez, H. 2012. Blog de origen y noticias de lugares de Gran Canaria, Mi Gran Canaria. Recuperado de [Mi Gran Canaria: TEJEDA, CALDERA DE \(ALDEA DE SAN NICOLÁS, ARTENARA Y TEJEDA\)](#)

Figura 3: GRAFCAN 2018. Google Inc. (2009). Imagen extraída con el programa Google Earth (Versión 5.1.3533.1731) [Software].