



Modelos geológicos en 3D de la isla de Tenerife

Ilazkiñe Iribarren Rodríguez

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



MODELOS GEOLÓGICOS EN 3D DE LA ISLA DE TENERIFE

Itzkiñe Iribarren Rodríguez

Programa de Doctorado de Ciencias de la Tierra

Departamento de Geodinámica y Geofísica

Universitat de Barcelona

Joan Martí Molist
Director

Joan Manuel Vilaplana
Tutor



Barcelona 2014

Capítulo 3

PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

La información que se ha tratado para la elaboración de los modelos 3D de la geología del subsuelo de Tenerife consiste en la topografía y batimetría de la isla de Tenerife y su entorno, los mapas geológicos de superficie, la topología de las perforaciones y geología que se registra en algunas de ellas. En concreto se han utilizado los siguientes archivos y bases de datos:

- 4 archivos tipo shapefile con la ubicación y traza de las galerías y pozos de Tenerife: a) ubicación de las bocaminas, b) ubicación de los pozos, c) ubicación de los sondeos de investigación y d) la traza de las galerías, proporcionados por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF).
- Fichas del CIATF en formato analógico, donde se describe la geometría, geología e hidrología de las galerías.
- Cartografía geológica de diversas fuentes (IGME; Bryan et al. (1998); Ablay et al. (2000); Galindo (2005); Soriano et al. (2006))
- El Modelo Digital del Terreno, como base topográfica de la isla de Tenerife y batimétrica de su periferia proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La topografía utilizada tiene celdas de 25m, mientras que la batimetría las tiene de 100m.
- Datos de estudios geofísicos, como la magnetotelúrica (Coppo et al., 2008; Copo et al., 2010) y microgravimetría (Gottsmann et al, 2008).

3.1 GEOLOGÍA Y GEOMETRÍA DE LAS PERFORACIONES

Durante la segunda mitad del siglo XIX, ante la insuficiencia de las aguas superficiales y de lluvia para cubrir las necesidades humanas y agrícolas de agua humanas y agrícolas, se da comienzo a excavaciones para la extracción de agua subterránea. Debido a la abrupta topografía de la isla, se opta por explotaciones

horizontales, más que por pozos verticales (aunque ya existían construcciones de este tipo desde el siglo XV) que conforman actualmente una densa red de galerías distribuidas por toda la isla. (Navarro et al., 1989a)

En la actualidad existen 1052 galerías que suman una longitud acumulada superior a los 1705 km, y se cuenta con unos 395 pozos de una profundidad media de 120 m. Las excavaciones se clasifican en varios tipos:

Galerías nacientes: Este es el tipo más antiguo de captación, de caudal fluctuante debido a que extrae aguas de acuíferos colgados, que varían según los cambios climáticos.

Galerías convencionales: Estas excavaciones captan el agua de la zona saturada y tienen una longitud de 3 km de promedio. Son este tipo de galerías las que abastecen con un 71% del total del agua extraída. Debido a que no se llega a la recuperación total del nivel freático, se suele seguir reperforando hasta mantener el volumen de extracción o hasta que finalmente la vida útil de estas obras llega a su fin, bien cuando la perforación queda por encima del nivel de la zona saturada, o bien cuando se alcanza el zócalo impermeable en su frente.

Socavones: Son perforaciones de unos centenares de metros de longitud, las cuales nunca han alumbrado agua y que no se pretenden seguir excavando.

Galerías-pozo: Son galerías en su comienzo, pero en su frente se excavan pozos o zanjas y por medio de bombeo se extrae el agua hasta la bocamina.

En la cronología de la excavación de galerías se pueden establecer varias etapas:

1ª) 1850-1910. Apertura del 90% de las galerías de tipo naciente, situadas en lugares cercanos a manantiales naturales. Muchas de ellas siguen actualmente alumbrando agua. Excavación de algunas galerías convencionales. La explotación casi se limita a acuíferos colgados, y la zona saturada se mantiene prácticamente intacta.

2ª) 1910-1930. Comienza la productividad de las galerías convencionales, y se intensifican en las dos vertientes de la dorsal NE y el Valle de La Orotava. Comienza el descenso de la superficie freática.

3^a) 1930-1945. Caída del nivel freático superior a los 100 m en la dorsal NE, donde la concentración de galerías es mayor.

4^a) 1945-1965. Para finales de esta etapa, el 90% de las galerías existentes hoy en día ya están abiertas. El nivel freático sigue en descenso y las galerías que quedan por encima de la zona saturada se quedan colgadas (secas).

5^a) 1965-1985. Culmina la producción de las galerías. Se comienza la construcción de pozos, primero convencionales y después de tipo sondeo.

Las galerías constan de una perforación principal de la cual pueden desarrollarse ramificaciones. Tienen una ligera pendiente hacia el exterior (del 5 ‰) para que el agua corra hacia bocamina por gravedad. Respecto a sus dimensiones, suelen ser de unos 2 x 2 m (en ocasiones menos) y de longitud variable. Pueden tener elementos de sostenimiento en algunos tramos, debido a la inestabilidad de algunos materiales que atraviesan, ocurriendo derrumbamientos que han obstaculizado el paso hasta el frente de las mismas. Al encontrarse en una zona volcánica no es raro detectar en su interior altas concentraciones de gases como CO₂ o Rn e incremento en la temperatura y humedad.

Las bocaminas de las galerías se sitúan entre los 3 m y 2524 m de altitud, su disposición es radial en torno a la zona central de las Cañadas del Teide, y perpendicular a los ejes de las dorsales NE y NW. La longitud máxima la alcanza la galería de Aguas de la Matanza, con 6320 m de longitud. (Navarro et al., 1989a)

3.1.1 GEOMETRÍA: ARCHIVOS SHAPEFILES

Los ficheros digitales son del tipo llamado shapefile (ESRI ©), que es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. El formato carece de capacidad para almacenar información geométrica.

Los archivos shapefile proporcionados por el CIATF son 4 (Tabla 3.1 y Figura 3.1):

1. *Poli2d.shp*: Registro de 2183 elementos del tipo polilínea. Por lo tanto, este archivo muestra la traza de cada explotación de tipo horizontal, llamadas

galerías. Cada galería puede contener distintos ramales, que corresponden a los brazos o trayectos que se desvían de la traza principal.

2. *Pozos.shp*: Registro de 395 puntos. Estos puntos indican la posición geográfica de cada uno de los pozos
3. *Sondinv.shp*: Registro de 6 puntos. Muestra la ubicación de los dos sondeos que se realizaron para investigación, no se extrae agua de ellos.
4. *Galeries.shp*: Registro de 1113 puntos. Estos puntos son los que indican las coordenadas de la entrada o bocamina de cada una de las galerías de la isla.

	NOMBRE DEL ARCHIVO	TIPO DE ARCHIVO	NÚM DE REGISTROS	TIPO DE ELEMENTO
CIATF 2011	Galerias.shp	Shapefile	1113	Puntos
	Poli2d.shp	Shapefile	2183	Polilíneas
	Pozos.shp	Shapefile	395	Puntos
	Sondinv.shp	Shapefile	6	Puntos

Tabla 3.1 Cantidad de atributos y tipos de archivos digitales del CIATF.

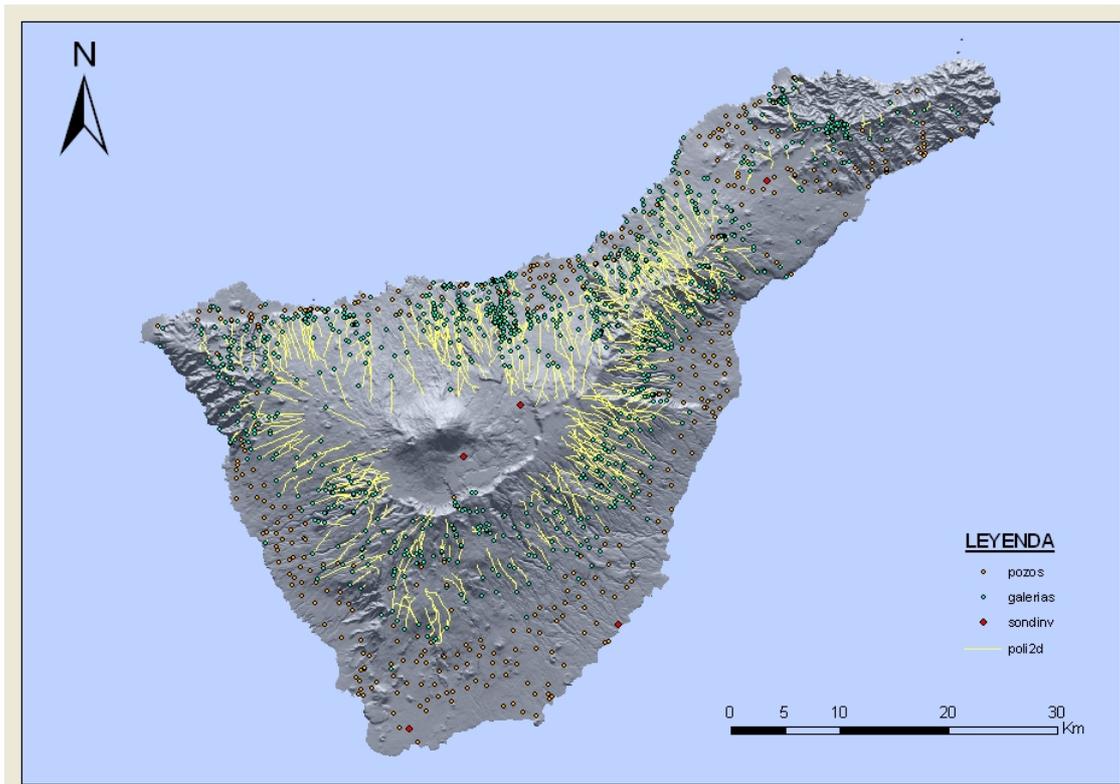


Figura 3.1 Distribución de los elementos gráficos aportados por el CIATF representados sobre el mapa de la isla de Tenerife.

Como se observa en las tablas de atributos de los distintos archivos (Tabla 3.2), la información que recoge cada elemento es la que se indica aquí:

- FID: Número que le da por defecto el programa a cada uno de los atributos, de manera que cada atributo tenga un número único. Se denomina FID en el caso de las capas, mientras que serán OID en caso de número identificativo de objetos.
- Shape: Tipo de geometría del atributo, que puede ser point, line, multipoint, multipatch o polygone.
- CodObra: Número identificativo de cada obra de excavación o galería. En este caso los nombres están escritos con mayúsculas y los artículos están pospuestos entre paréntesis.
- NombreObra: Nombre de la excavación.
- Municipio: Municipio en el que se encuentra la obra.
- Tipo: Sondeo, pozo o galería.

- Subtipo: Socavón, naciente o convencional.
- X: Coordenadas UTM en X.
- Y: Coordenadas UTM en Y.
- Z: Altura topográfica.
- Angulo
- Nombre: Nombre de la galería, en minúsculas y con los artículos al comienzo.
- CODRAMAL: Cada ramal tiene un número de 3 cifras. Que desde la bocamina al frente comienza en 000 y va aumentando según 100,200,...
- ORIGRAMAL: Profundidad a la que se sitúa el ramal dentro del ramal principal.
- LONGRAMAL: Longitud total del ramal.
- LONGTOTAL: Profundidad que alcanza dicho ramal teniendo como origen la bocamina de la galería.

*En el caso de los nombres de las columnas, el contenido es el mismo según indica su nombre, independientemente de si éste está escrito con letras mayúsculas o minúsculas. Los archivos originales se encontraban con este formato, que no se ha alterado. (Tabla 3.2 y Figura 3.2)

En la siguiente tabla se indican las columnas que contiene cada uno de los 4 archivos, que en algunos casos son comunes (Tabla 3.2).

	Galerías.shp	Poli2d.shp	Pozos.shp	Sondinv.shp
FID	X	X	X	X
Shape	X	X	X	X
CodObra	X	X	X	X
NombreObra	X	X	X	X
Municipio	X		X	X
Tipo	X		X	X
Subtipo	X		X	X
X	X		X	X
Y	X		X	X
Z	X		X	X
Angulo	X			
Nombre	X		X	X
CODRAMAL		X		
ORIGRAMAL		X		
LONGRAMAL		X		
LONGTOTAL		X		

Tabla 3.2 Información contenida en la tabla de atributos de los archivos shapefile

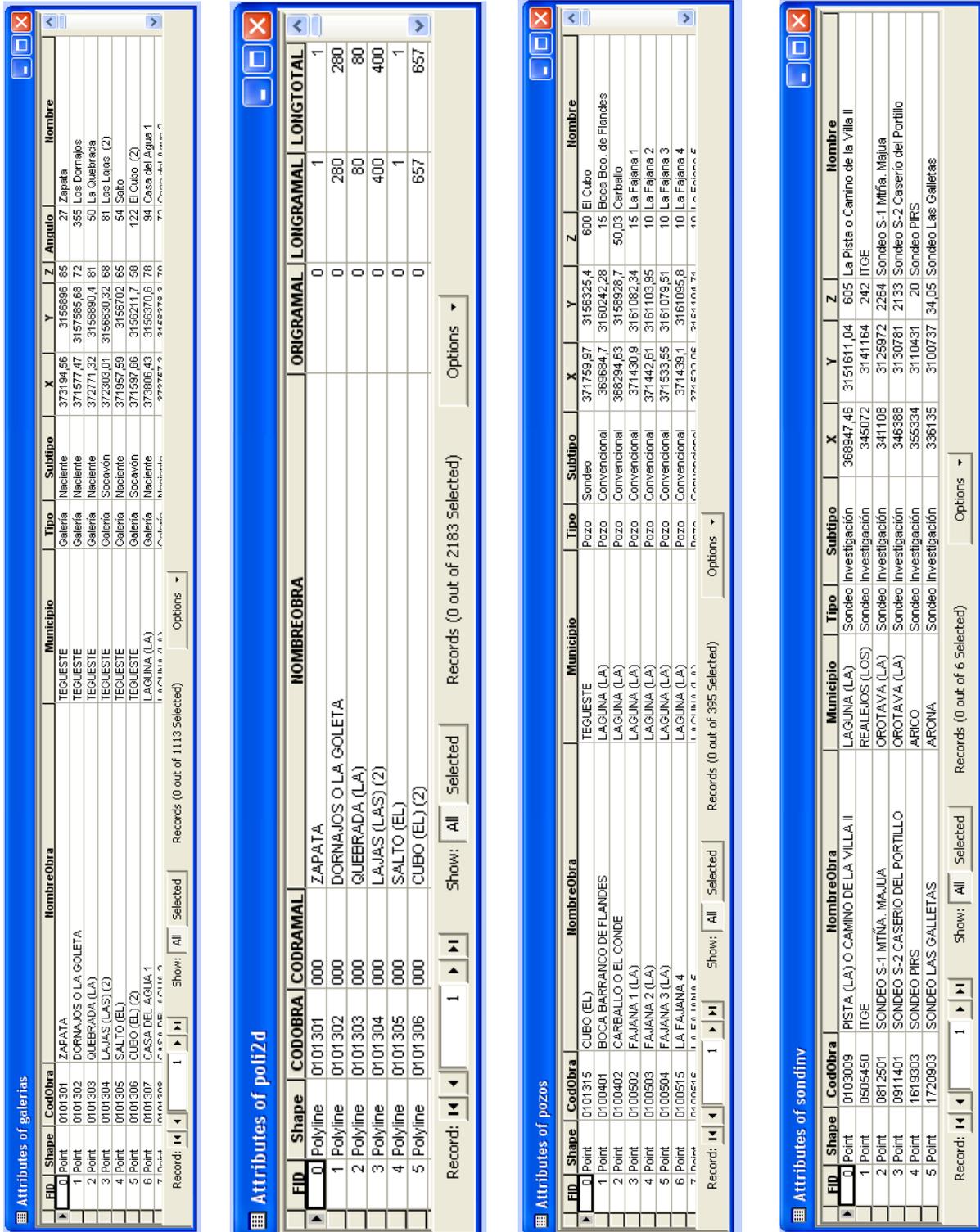


Figura 3.2 Atributos de los 4 archivos shapefiles aportados por el CIATF. De izquierda a derecha: galerias, poli2d, pozos, sondivn.

3.1.2 GEOLOGÍA: FICHAS DE GALERÍAS

El Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) proporcionó la información que dispone de las galerías en unas fichas de formato analógico con el contenido de la geometría de la galería, evolución de la excavación y mapa de planta (Figura 3.3). Además, en muchos de los casos se adjunta una descripción de las rocas que se perforaban, así como un mapa en planta de las unidades geológicas que se describen, información sobre el caudal de agua o los puntos de captación. No obstante, esta información no siempre está disponible, de forma que de un total de 1052 galerías existentes, sólo se pudo obtener información geológica de 449. (Tabla 3.3).

	Tenerife		Zona Central de Tenerife	
	Núm	%	Núm	%
TOTAL galerías	1052	-	262	-
TOTAL galerías recopiladas	449	42.68	222	84.75

Tabla 3.3 Número de galerías con registro geológico en las fichas del CIATF

En lo que se refiere a la geología, las descripciones comienzan en la bocamina y avanzan hacia el frente de la galería. Se indican los límites según su profundidad dentro de la traza de la galería, entre los que se encuentran los diferentes materiales perforados. Normalmente se menciona el tipo de roca (por ejemplo: basalto augítico), que se suele asociar a las series que definió Fúster et al. (1968) (ver Tabla 2.1).

En las ocasiones en que se atraviesan diques, se puede encontrar el espesor de los mismos e incluso en algunas ocasiones su orientación e inclinación.

Debe puntualizarse, que las descripciones geológicas fueron realizadas por distintos técnicos y en periodos de tiempo distintos. Por lo tanto no se utilizó un criterio homogéneo en su descripción. Esto comporta que en ocasiones las descripciones para una misma unidad sean distintas y cueste reconocer su correcta identificación.

Capítulo 3: PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

EXCMA. MANCOMUNIDAD PROVINCIAL INTERINSULAR DE SANTA CRUZ DE TENERIFE										
INFORME SOBRE LA GALERIA				SIGLAS						
16 de Mayo				13-163-04						
SITUACION Y COORDENADAS			DATOS ADMINISTRATIVOS							
Isla	Tenerife		Expediente inicial	2385						
Municipio	Arico		Expedientes posteriores	5888(1) 6112						
Barranco	Lere		Fecha de concesión	16-1-1943						
Toponimia	Sueladero del Castaño		Fecha de terminación	25-3-1960						
Moja 1:25.000	13		Expedientes de denuncia							
Moja 1:5.000	163									
X	352.815									
Y	3116.170									
Z	150									
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS			DATOS DE LA PROPIEDAD							
Fecha de comienzo	2 1943		Primer propietario	Floresbue Garcia Mesa						
Fecha de parada (longitud)	2 1966		Propietario actual	Cda. 16 de Mayo						
Fecha de reanudación			Dirección							
Altura media	180		Presidentes	D. Antonio Mirasol Riquelme						
Trabajos actuales	Ninguno		Dirección	J. Reñero Muñoz - SD						
INSTALACIONES	TIPO	TUBERIA (φ)	POTENCIA (CV)	Términos afectados						
Aire comprimido	Lister	2"	46	Privado.						
Extractor	Lister	350 mm	885							
Canalización	No tiene									
OBSERVACIONES: 1) En trámite.										
PLANIMETRIA										
OBRAS AUTORIZADAS	GALERIA PRINCIPAL				RAMALES					
	Alineación	Rumbo	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	Origen (m)	Margen	Alineación	Rumbo	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)
OBRAS CONSTRUIDAS	1	357°00	210000	210000						
	2	347°23	6100	6100						
	3	356°43	20300	30000						
	4	356°71	20000	50000	2675	I				
	5	356°73	20800	80000						
	6	356°93	11430	91430						
	7	356°33	24290	115720						
	8	354°89	14940	130660						
	9	356°33	45310	175970						
	10	327°33	34000	199970						
	11	357°65	11540	211510						
	12	378°32	1040	212550						
	13	361°90	6460	219010						

DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA H.34 "16 DE MAYO"

ESQUEMAS	DESCRIPCION
	<p>CARACTERÍSTICAS GENERALES.- Longitud desconocida (alrededor de 2.500 m.). Cota: 580 m. Distancia al mar: 7.400 m. No se pasó de 800 m. por tener gases inflamables. Aunque tiene ventilación, hacía más de un año que no entraba nadie. El tramo visitado corta basaltos antiguos y fonolitas Cañadas. No tiene agua canalizada.</p>
	<p>LITOLOGIA.- Embocullada en las fonolitas de la serie Cañadas Superior, entre en Serie II a los 680 m., según una compleja estructura cuya más probable interpretación parece ser la del esquema anexo. La descripción detallada del tramo visitado de la galería es como sigue: 800-780 m.: Pié de monte. 780-680 m.: Basaltos augítico-olivínicos (pocos cristales). Todo está muy alterado por la humedad. 680-670 m.: Pié de monte, y sobre él una capa de unos cm. de pumitas. 670-590 m.: Compacto sfanítico, muy duro, negro y poco alterado, probablemente fonolítico. 590-575 m.: Pié de monte y pumitas, buzando hacia adentro. 575-520 m.: Basalto sfanítico, muy microfracturado, bastante alterado, y en algún punto con pequeños cristales de augita y olivino. 520 m.: Discordancia vertical, que pudiera ser debida a una falla, dado el gran número de grandes fracturas verticales que aparecen en las fonolitas. 520-0 m.: Fonolitas, con pocas escorias. Muchas fracturas y abundantes escombros sueltos.</p>
	<p>HIDROGEOLOGIA.- Nunca ha tenido agua en cantidad explotable. Alrededor de 1955 al cortar una zona bastante porosa de escorias, dió 10 ó 15 pipas/hora, de las que ahora quedan goteos y humedades muy ligeras entre 715 y 730 m., donde se hicieron los análisis. De 1965 a 1969 en los 2.400 m., aproximadamente, parece que tuvo un alumbriamiento análogo al descrito con 40 ó 50 pp./h., de las que ahora le quedan 5 ó 6 (?).</p>

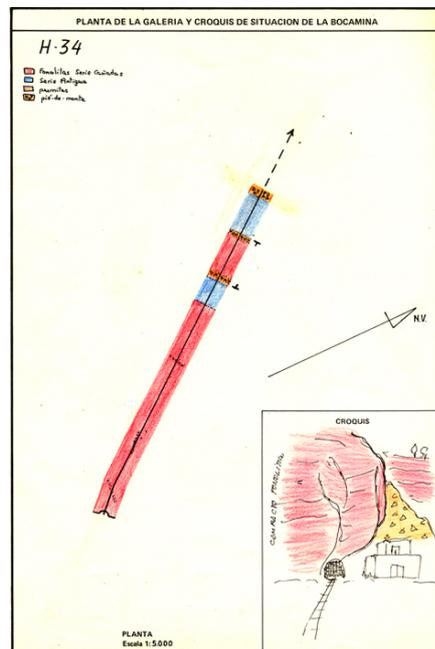


Figura 3.3 Aspecto de una ficha con la descripción geológica e ilustración de los cambios en planta. (Procedente del CIATF)

3.1.3 GEOLOGÍA: FICHAS DE POZOS

El Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) dispone también de una serie de fichas de pozos de perforación de la isla de Tenerife. De los 395 pozos catalogados en formato digital, como se ha expuesto anteriormente, no están todos recogidos en las fichas, y sólo algunos de los que fueron objeto de estudio durante el proyecto SPA-15 (1973) contienen descripción geológica de los materiales atravesados.

Por otro lado, CIATF encargó que se hiciese durante sucesivos años (entre 1988 y 1993) un catálogo de los pozos existentes, el cual fue realizado por municipios y se divide en 13 volúmenes. Dicho catálogo muestra descripciones bastante completas.

Tomando el catálogo como fuente de información para la geología de los pozos, se ha conseguido información geológica de 188 pozos, ya que no todos los catalogados muestran descripción geológica. Además, de entre estos 188 hay 58 que no muestran el espesor de los materiales perforados, por lo que se les ha dado un metro de espesor por defecto a los materiales del emboquille. Del resto se tiene un registro algo mayor, pero sin llegar en ninguno de los casos a los 500 m de profundidad.

Cabe añadir que además de la información de las fichas del CIATF se incluye la información de los 5 pozos de investigación de Las Cañadas del Teide, cuya descripción se puede consultar en el artículo de Ablay et al. (2000). El máximo espesor lo alcanza el sondeo B-1 con 510 m de profundidad.

3.2 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

En lo que se refiere a la geología de superficie, se tuvieron en cuenta los estudios de distintos autores. La cartografía geológica que abarca toda la isla pertenece al Instituto Geológico y Minero Español (IGME), GEODE2006, digitalizada y de detalle (1/25000 y síntesis a 1/100000) realizados entre 1978 y 1988. Se utilizó una cartografía simplificada (Figura 3.4), en la que se diferencian las unidades de: Anaga, Teno y Roque del Conde, edificio Cañadas, Teide-Pico Viejo, edificio dorsal y periféricos, formaciones sedimentarias, antrópico y diques y pitones, ya que de esta manera resulta más manejable la información sabiendo que queríamos trabajar a una escala grande y utilizando unidades de complejos y grupos volcano-estratigráficos principalmente. Los

mapas del IGME se desarrollaron en 1978, 1984 y 1988 a escala 1:25.000. Al modelizar fue la ya mencionada cartografía simplificada la que se introdujo, pero además se consultaron otros mapas parciales, de áreas más específicas, como son los Bryan et al. (1998), Ablay et al. (2000) Galindo (2005) Soriano et al. (2006). Estos mapas se pueden ver en las figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8.

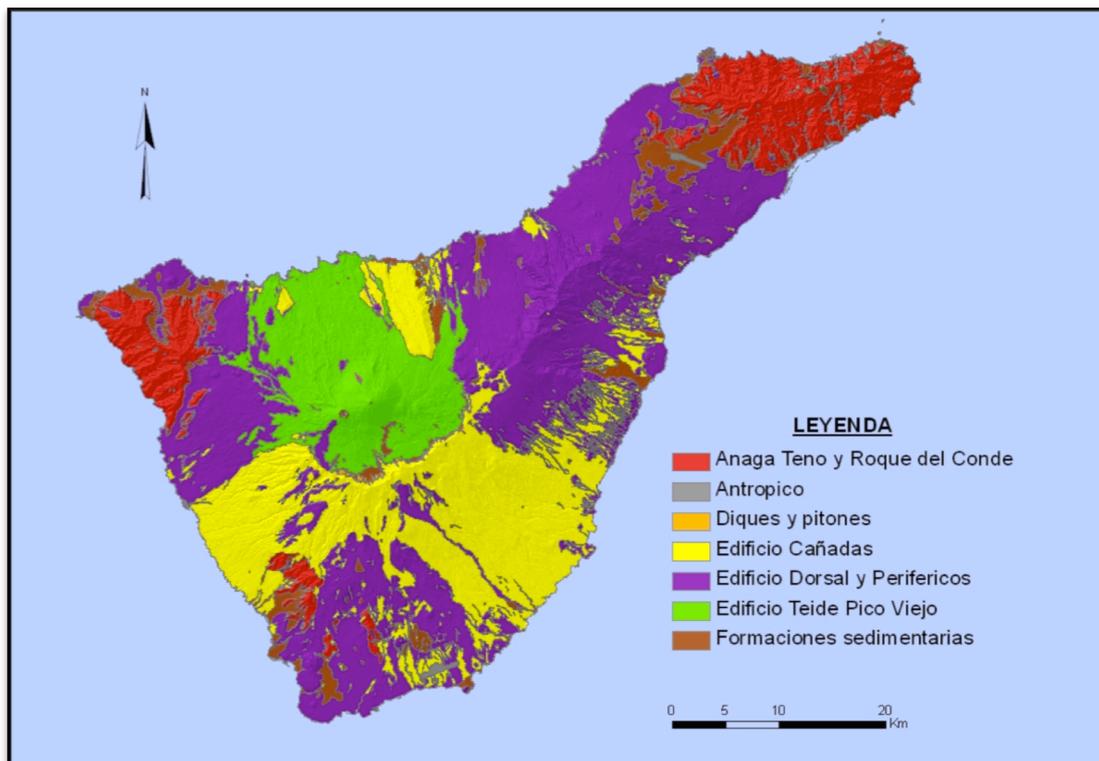


Figura 3.4 Mapa geológico del IGME simplificado.

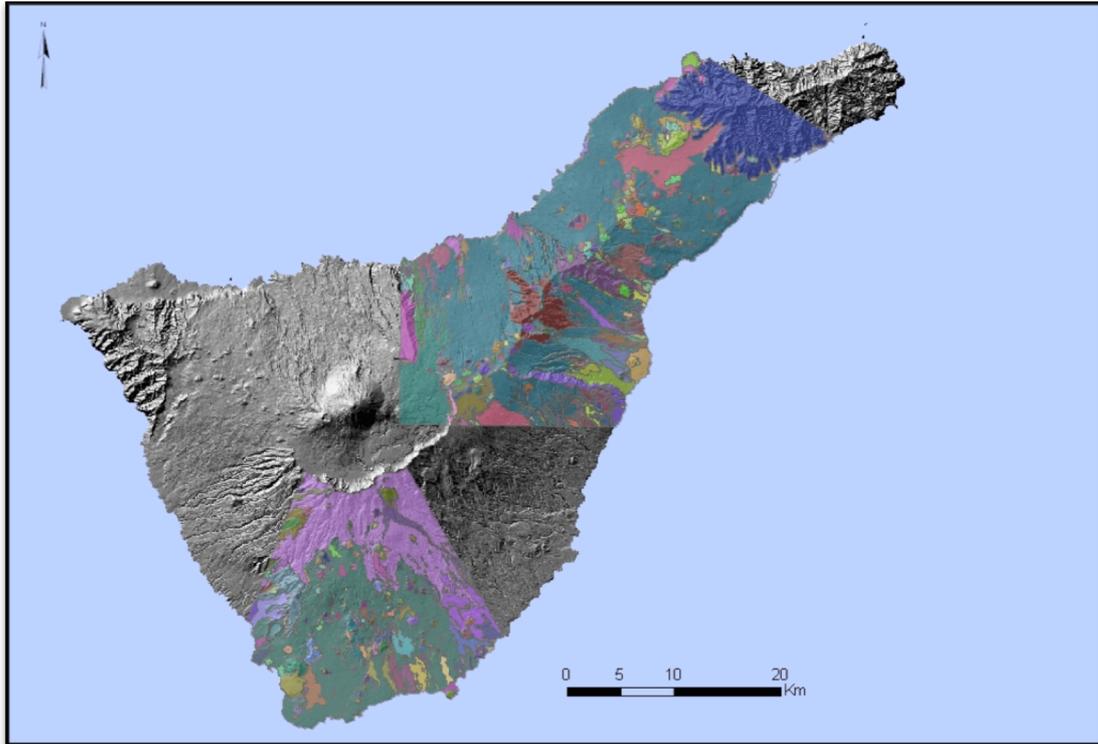


Figura 3.5 Mapa geológico parcial de la dorsal NE y S de Tenerife. No se incluye la leyenda de colores por tener demasiados términos para visualizar a esta escala. Basado en Galindo (2005)

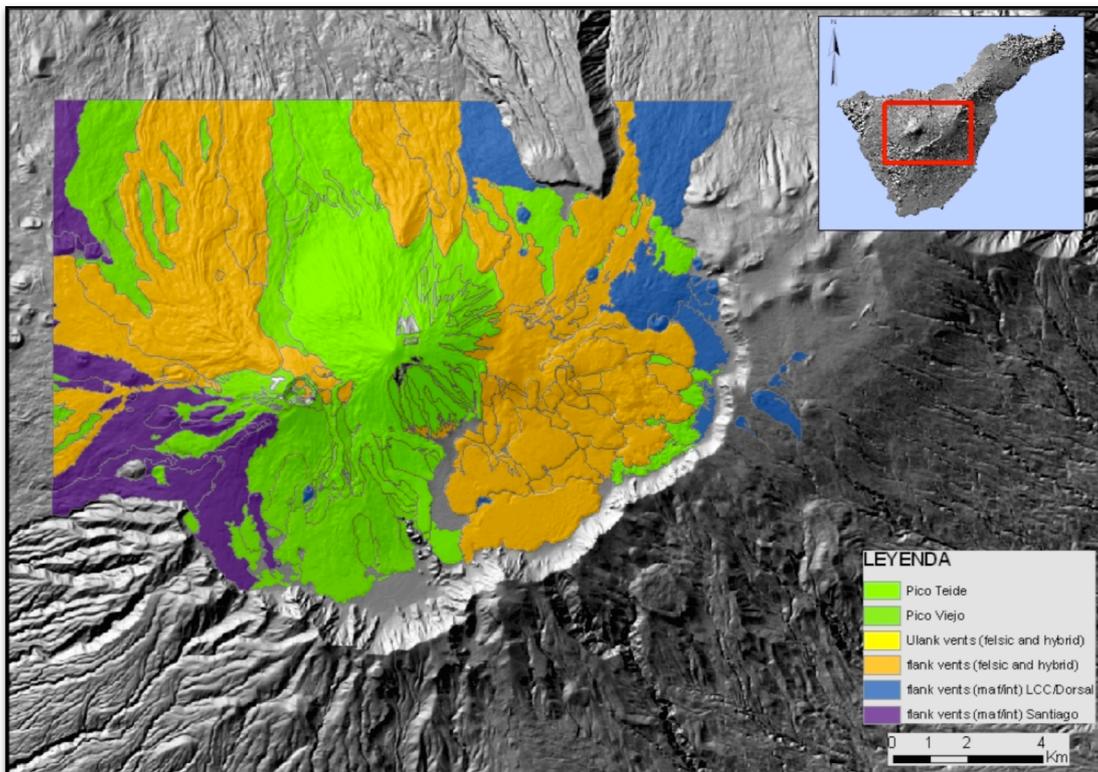


Figura 3.6 Mapa geológico del Complejo Central. Basado en Ablay et al. (2000)

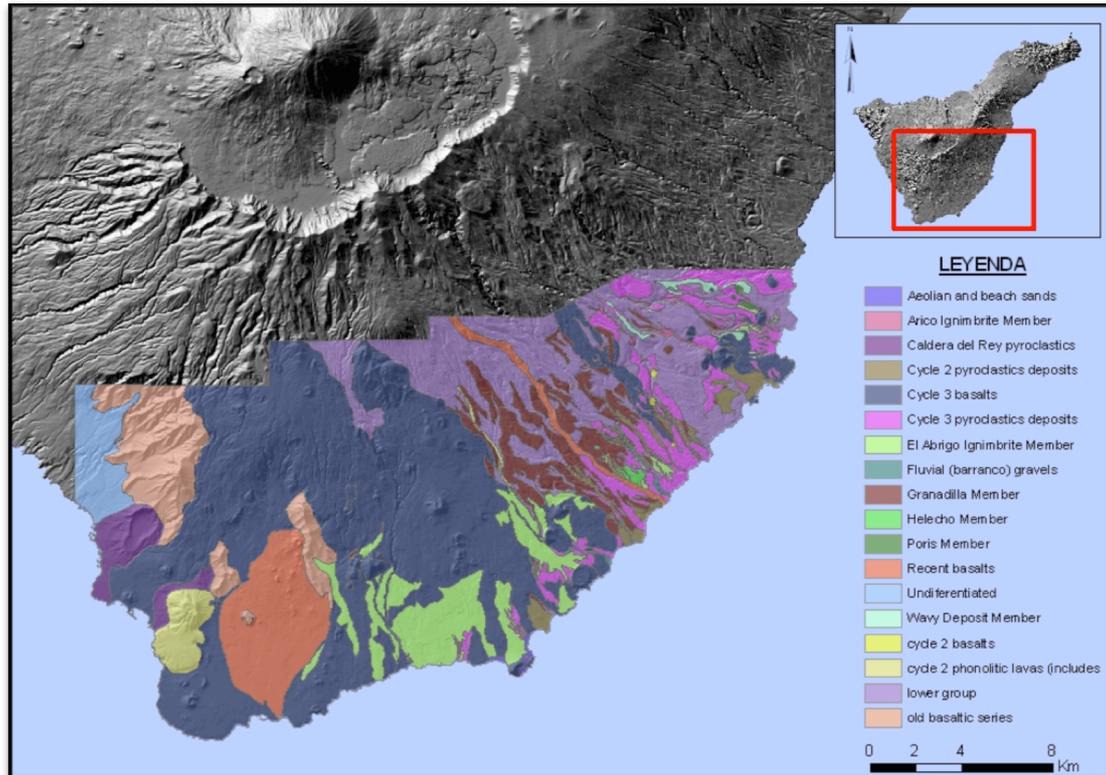


Figura 3.7 Mapa geológico de las Bandas del Sur. Basado en Bryan et al. (1998)

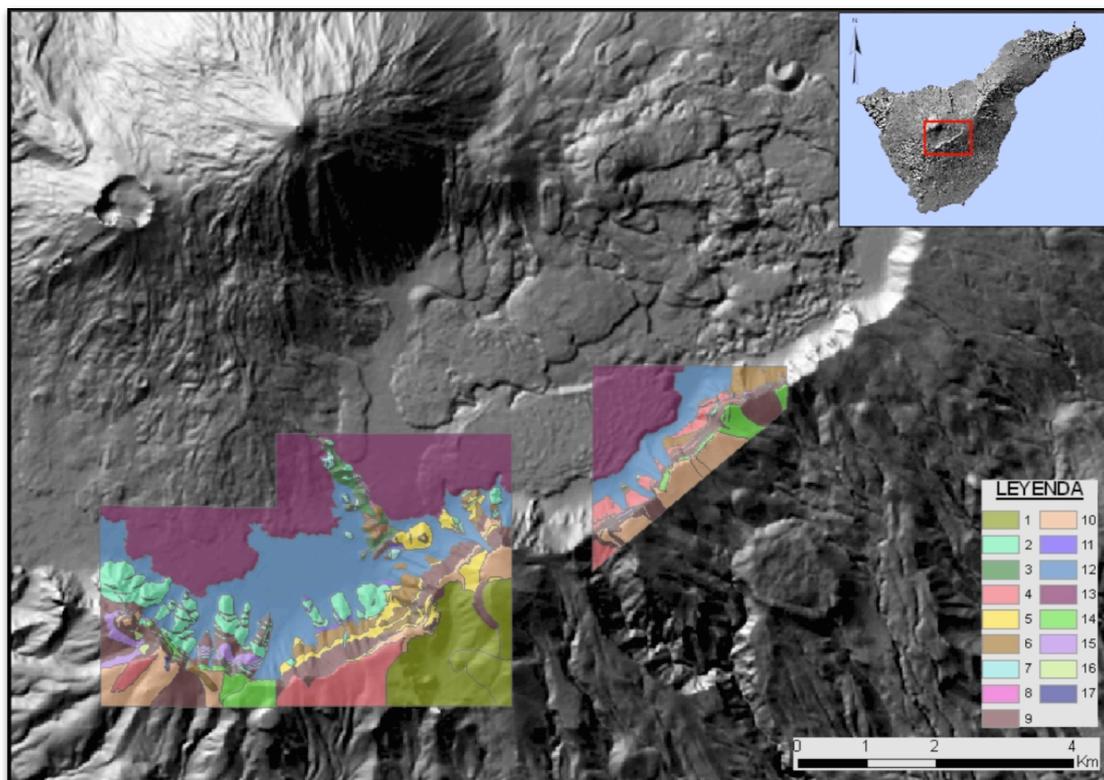


Figura 3.8 Mapa geológico de la pared Sur de la Caldera de Las Cañadas. Basado en Soriano et al. (2006)

3.3 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

3.3.1 TOPOGRAFÍA

Como base topográfica, se partió del Modelo Digital del Terreno de 25m de tamaño de celda (MTN25) proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la isla de Tenerife (Figura 3.12). Se denomina Modelo Digital del Terreno a una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, como es la altura del terreno.

Los modelos digitales del terreno (MDT de ahora en adelante) son simbólicos, pues establecen relaciones de correspondencia con el objeto real mediante algoritmos o formalismos matemáticos que son tratados mediante programas informáticos. Estos modelos representan distribuciones espaciales variables, acotando su uso a fenómenos gráficos.

Dicho MDT25 se transformó en un ráster con formato binario empaquetado que permitió su visualización de manera sencilla en ArcGis, al cual se le llamó DEM25 (nombre de Modelo Digital de Elevaciones en inglés). Este ráster de la isla de Tenerife contiene un total de 3688 atributos o registros (ver Figura 3.9). Tomando como base este archivo y haciendo uso de la herramienta informática ArcMap, se generó un sombreado de la isla, para facilitar la ubicación geográfica de manera visual del resto de la información que se añadiese.

Rowid	VALUE	COUNT
0	0	1473
1	1	2323
2	2	3138
3	3	4160
4	4	3313
5	5	4772
6	6	2655
7	7	2573
8	8	2457
9	9	2548

Figura 3.9 Atributos del DEM25. Interpretada a partir del MDT25 del IGN.

Este formato binario empaquetado es un formato especial de compresión de información. La técnica de compresión utilizada es la codificación por grupos de longitud variable y consiste en indicar la frecuencia de un valor dado, seguido por ese valor, y así sucesivamente. La información que contiene el modelo se limita a un

número identificativo de la columna (Rowid), un valor que indica la altura topográfica o valor de z de la celda (VALUE) y número que expresa cuántas celdas contienen el mismo valor de altura (COUNT). (Figuras 3.9, 3.10 y 3.11).

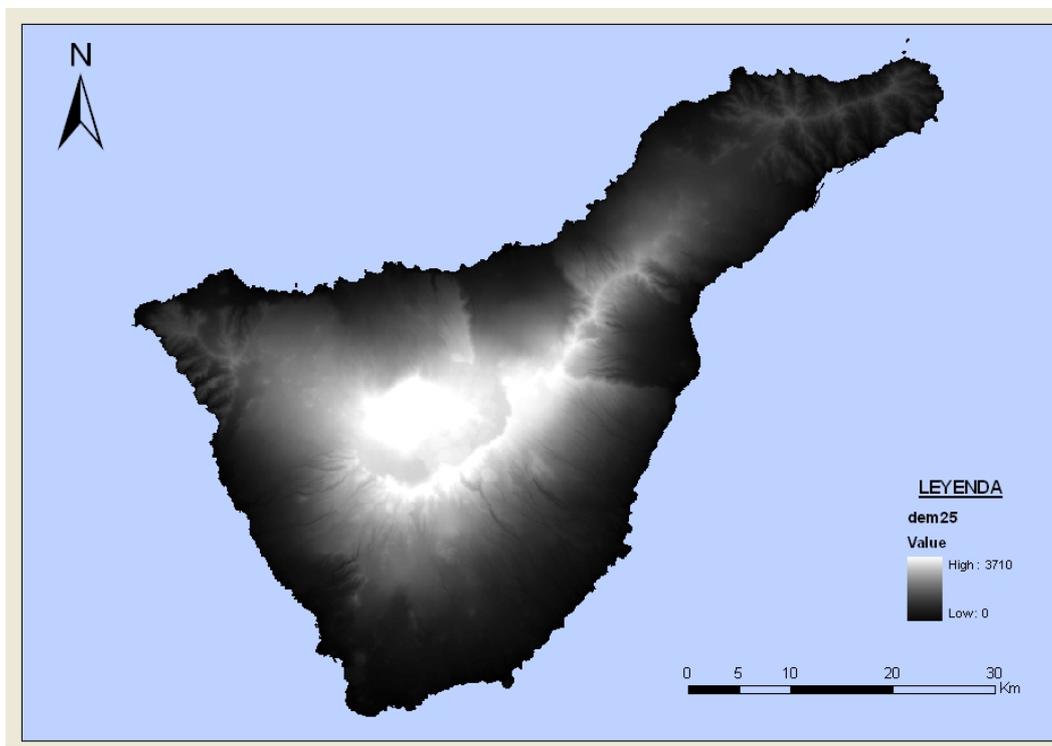


Figura 3.10 Ráster del DEM25 de la isla de Tenerife, proporcionado por el IGN.

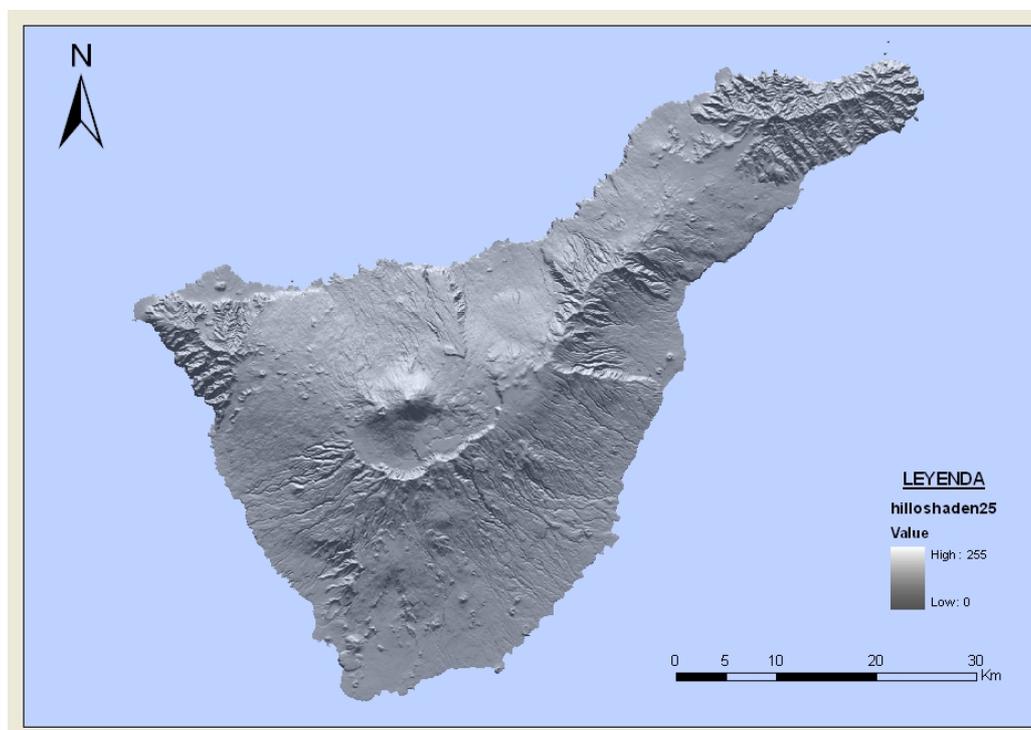


Figura 3.11 Sombreado de la isla de Tenerife, generado a partir del DEM25 del IGN.

3.3.2 BATIMETRÍA

A partir de un MDT de 100 m de celda que alberga los datos batimétricos del fondo marino circundante a la isla de Tenerife, y siguiendo un procedimiento igual al de la topografía de la isla, se visualizó el relieve del fondo marino, pero con una resolución algo menor que en el caso de la topografía subaérea, que era de 25 m. (Figura 3.12)

En la imagen se puede ver la batimetría con una resolución de 100m por celda y la topografía con 25m de celda.



Figura 3.12 Sombreado de la isla de Tenerife con una resolución de 25m y batimetría circundante con una resolución de 100m.

3.4 GEOFÍSICA

En los terrenos volcánicos son varios los métodos geofísicos que se aplican para su estudio, por lo general enfocados a conocer su estructura interna. En el caso de Tenerife se han aplicado entre otros métodos los magnetotelúricos (Ortiz et al, 1986; Pous et al., 2002; Coppo et al., 2008; Coppo et al., 2010), la tomografía sísmica (García Yeguas, 2010), microgravimetría (Vieira et al., 1989; Camacho et al., 1991; Gottsmann et al., 2008) y aeromagnetismo (Blanco-Montenegro, 1997; Araña et al., 2000).

De todos estos estudios sólo se ha podido acceder a la información digital procesada y a su interpretación para la parte central de la isla de Tenerife de:

- Microgravimetría que publicó Gottsmann et al. (2008)
- Magnetotelúrica de Coppo et al. (2010)

Los datos de microgravimetría de Gottsmann et al. (2008) representan valores de contraste de densidad para la isla a cota a 0 m, 500 m y 1000 m y para la zona central a 500 m, 1000 m, 1500 m y 2000 m. Los resultados de este estudio no definen límites que se puedan asociar claramente a las unidades volcano-estratigráficas con las que se ha trabajado, siendo complicada la inserción de éstos a los modelos geológicos.

En el caso de la magnetotelúrica, los resultados (valor de Z) se interpretan como la base de la formación Teide-Pico Viejo, siendo posible convertirlos en pozos imaginarios con un registro geológico que atraviesan dicha unidad desde la superficie, llegando al contacto con el grupo Cañadas.

3.4.1 MICROGRAVIMETRÍA

Los estudios de gravimetría estructural y microgravimetría se basan en la obtención de medidas de la gravedad relativa en diversos puntos de una área determinada, las cuales se procesan y comparan con las obtenidas en los otros puntos, con el fin de determinar la distribución de densidades en profundidad. La instrumentación requerida para ello son los gravímetros relativos, como por ejemplo el Lacoste & Romberg. Estas medidas se referencian respecto a un punto de medida ubicado fuera de la zona de estudio, que en el caso de las islas volcánicas puede entrañar cierta dificultad debido a la limitación espacial. Si dentro de la red de puntos de medida existiese un gravímetro absoluto no sería necesario referenciar la red con un punto externo (Battaglia et al., 2008).

Tras la corrección de los efectos de marea, el cambio de la gravedad observada es la diferencia de gravedad a lo largo de la línea base (entre el punto de medida y la referencia). Para la obtención de la gravedad residual, se requiere hacer unos ajustes que eviten ciertos efectos como el de la gravedad de aire-libre, el efecto de deformación de Bouguer y el efecto de “tabla de agua subterránea”. (Battaglia et al., 2008)

En el año 2008 Gottsmann et al. publican un estudio sobre la estructura bajo el Complejo Volcánico Central de Tenerife basado en nuevos datos gravimétricos. Detectan un núcleo de alta densidad que en el mapa se expresa como un máximo de gravedad local, el cual se encuentra en la intersección entre dos estructuras principales como son la dorsal del NW y la del NE. Estas dos estructuras han controlado la evolución morfológica y volcánica de la isla durante los últimos 4 millones de años. Proponen la existencia de un complejo volcánico central temprano en la evolución de Tenerife basándose no sólo en los datos gravimétricos sino también en geológicos, ya que la existencia de 3 edificios volcánicos iniciales aislados que formarían las tres esquinas de la isla, tal como propusieron Ancochea et al. (1990), no concuerda con los datos obtenidos.

Este mismo estudio pone de manifiesto la existencia de evidencias apoyadas por los datos electromagnéticos (Coppo et al., 2008) y aeromagnéticos (García et al., 2007), que apoyan el origen de la caldera de Las Cañadas por un colapso vertical. Por ejemplo, revelan la distribución de pequeños cuerpos de alta densidad a poca profundidad en el sector Diego Hernández consistentes con intrusiones a lo largo del “ring fault”. Estos cuerpos marcan la periferia de una capa conductiva con forma de chimenea que representaría la base de la caldera de Diego Hernández. Observan también una alineación con forma de herradura abierta hacia el N, que está formada por cuerpos de alta densidad a poca profundidad al N del complejo Teide-Pico Viejo. Interpretan esto como intrusiones someras por una “cicatriz” bajo el deslizamiento de Icod. La cabecera del deslizamiento queda cubierta por materiales eruptivos del complejo volcánico más reciente de la isla y no está relacionado con la pared de la caldera de Las Cañadas. La caldera de Las Cañadas estaría formada por la superposición de tres colapsos verticales acaecidos en el último millón de años, y sería la pared del N de esta caldera la que marcaría la cabecera del Valle de Icod.

Por último, indican que el interior del complejo central de Teide-Pico Viejo se caracteriza por tener un cuerpo cilíndrico que se extiende desde los 3000 m bajo el nivel del mar hasta cota 0 m (Figuras 3.13 y 3.14). Se trata de un cuerpo de densidad neutra que interpretan como el sistema de conductos actual del complejo. Ya sobre el nivel del mar, hasta la cota topográfica, lo que dominan son los materiales de baja densidad en el interior del complejo. Esto se piensa que es el resultado de la combinación de productos

eruptivos evolucionados (principalmente productos fonolíticos de caída y lavas intermedias vesiculadas) con un grado significativo de alteración hidrotermal.

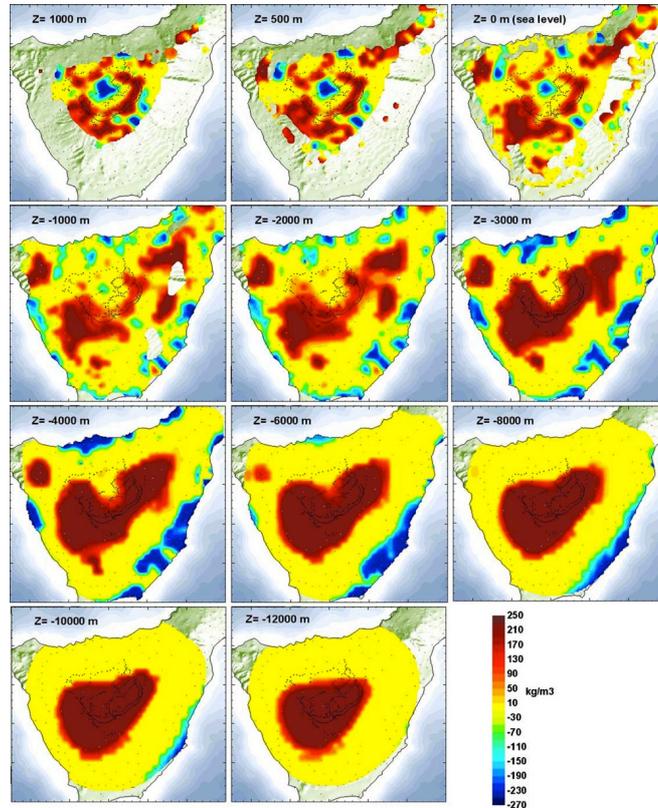


Figura 3.13 Secciones horizontales a determinadas profundidades del modelo 3D de contrastes de densidad (kg/m^3) bajo el Complejo Volcánico Central. (Gottsmann et al., 2008)

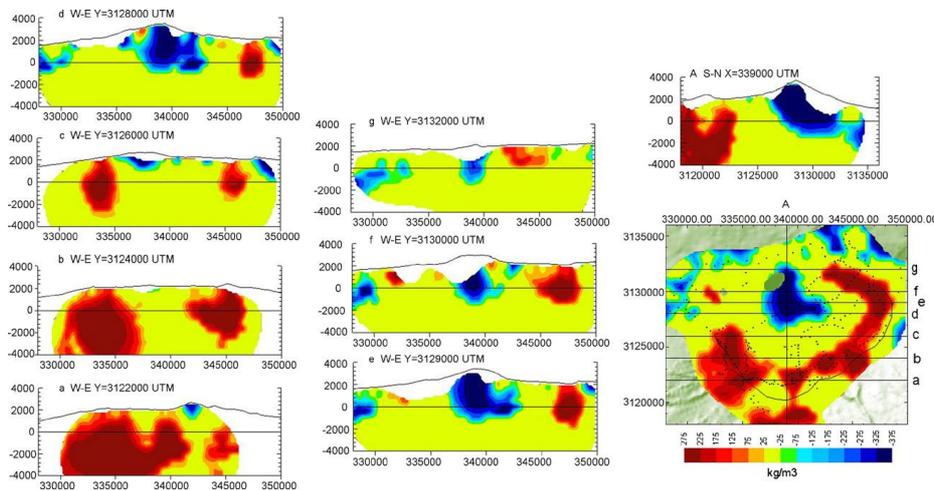


Figura 3.14 Perfiles verticales W-E (Araña, Martí et al., 1994) y uno S-N (A) según el modelo de contrastes de densidad (kg/m^3) bajo el Complejo Volcánico Central obtenido por inversión de 323 nuevos puntos de medida de gravedad. La sección horizontal indica las líneas de los perfiles. El modelo está basado asumiendo un densidad homogénea de base. (Gottsmann et al., 2008)

La interpretación obtenida de estos autores se encuentra archivada en 4 ficheros datos tipo “.dat” (Tabla 3.4). En ellos se recogen los valores de contraste de densidad a 500m sobre el nivel del mar, 1000m y 1500m, además de un fichero de anomalías magnéticas.

	NOMBRE DEL ARCHIVO	COLUMNAS	NÚM DE REGISTROS	NÚM DE REGISTROS REALES
Gottsmann et al. (2008)	500.dat	X / Y / valor	14.641	9.184
	1000.dat	X / Y / valor	14.641	7.270
	1500.dat	X / Y / valor	14.641	5.371
	Anomaly.dat	X / Y / valor	14.641	14.641

Tabla 3.4 Características de los archivos de la interpretación microgravimétrica de (Gottsmann et al., 2008)

Los 4 archivos recogen el mismo número de registro, pero muchos de los puntos que indican tienen por defecto el valor 9999. Es por esta razón que se ha mostrado el número de registros reales, donde se indican las coordenadas que representan valores de gravedad. (Gottsmann et al., 2008). (Figuras 3.15 a 3.17)

Para visualizar la distribución de los datos, se ha generado un archivo tipo shapefile a través del ArcCatalog, según los valores de las coordenadas en UTM (X e Y) que contenía el archivo “.dat” inicial. Las unidades de la columna de valores, en el caso de los contrastes de densidad a las cotas de 500, 1000 y 1500 m, están en kg/m³, oscilando entre los -279 y 249 kg/m³. Mientras que las unidades de la anomalía gravimétrica están en mGal, siendo el mínimo valor de 196,188638 mGal y el máximo de 281,236332 mGal.

The figure shows three screenshots of a software interface displaying attribute tables for density contrast at different altitudes. Each window has a title bar and a table with columns for ID, Shape, x, y, and value. Navigation controls and record counts are visible at the bottom of each window.

ID	Shape	x	y	value
0	Point	334500	3110000	5
1	Point	334750	3110000	9
2	Point	335000	3110000	12
3	Point	335250	3110000	10
4	Point	337250	3110000	12
5	Point	337500	3110000	11
6	Point	337750	3110000	10
7	Point	338000	3110000	8
8	Point	338250	3110000	7
9	Point	338500	3110000	8

ID	Shape	x	y	valor
0	Point	341250	3112750	0
1	Point	341500	3112750	0
2	Point	334000	3113000	0
3	Point	341000	3113000	0
4	Point	341250	3113000	0
5	Point	341500	3113000	0
6	Point	333750	3113250	0
7	Point	334000	3113250	0
8	Point	334250	3113250	0
9	Point	337000	3113250	0

ID	Shape	x	y	valor
0	Point	340250	3116250	14
1	Point	340500	3116250	8
2	Point	340750	3116250	3
3	Point	341000	3116250	0
4	Point	341250	3116250	0
5	Point	341500	3116250	0
6	Point	339500	3116500	49
7	Point	339750	3116500	38
8	Point	340000	3116500	30
9	Point	340250	3116500	17

Figura 3.15 Atributos de contrastes de densidad (kg/m³) a 500, 1000 y 1500 metros de altitud sobre el nivel del mar. Datos de la interpretación de Gottsmann et al. (2008)

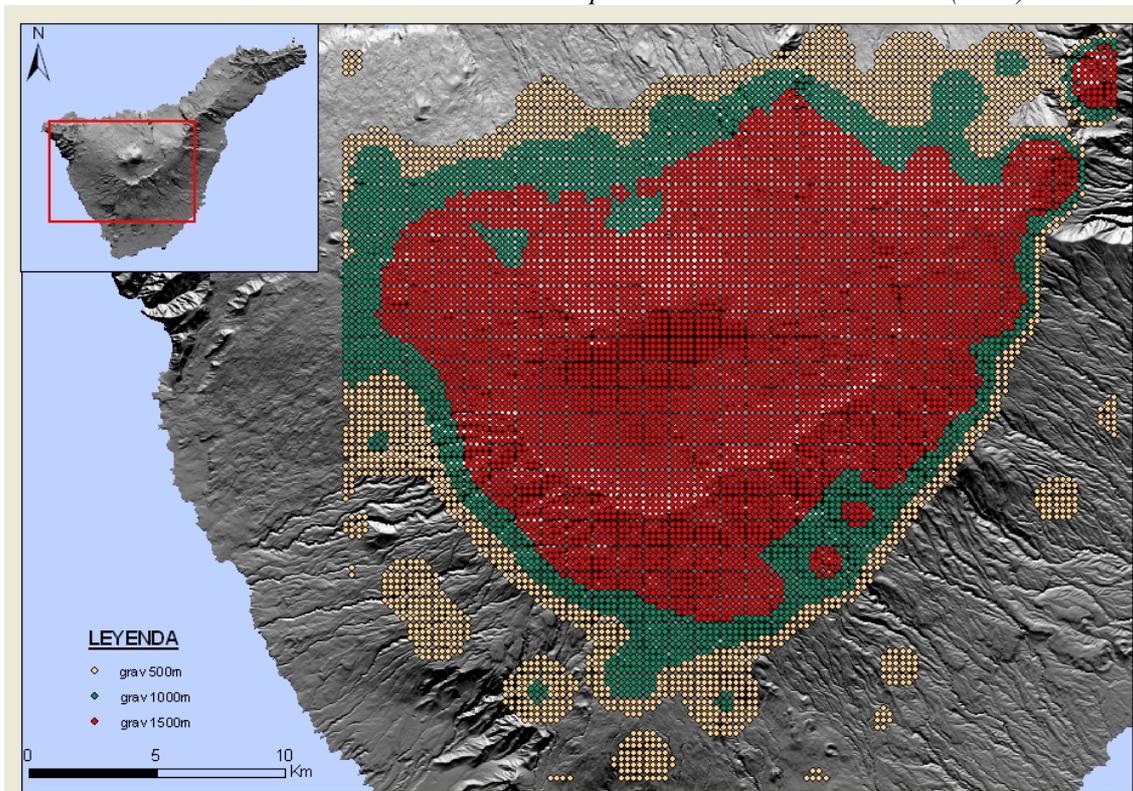


Figura 3.16 Distribución de contraste de densidades (kg/m³) a tres niveles: 500, 1000 y 1500 m sobre el nivel del mar de Gottsmann et al. (2008)

FID	Shape *	X	Y	valor
0	Point	326750	3110000	231,233835
1	Point	327000	3110000	231,722442
2	Point	327250	3110000	232,342095
3	Point	327500	3110000	233,143851
4	Point	327750	3110000	234,143865
5	Point	328000	3110000	235,217671
6	Point	328250	3110000	236,270351
7	Point	328500	3110000	237,290385
8	Point	328750	3110000	238,264908
9	Point	329000	3110000	239,197256

Figura 3.17 Atributos de la anomalía gravimétrica (mGal) de Gottsmann et al. (2008)

3.4.2 MAGNETOTELÚRICA

El método magnetotelúrico (MT de ahora en adelante) fue desarrollado por L. Cagniard y Tignonv en 1953, y consiste en la observación simultánea de las variaciones de los componentes horizontales y perpendiculares entre sí, de los campos eléctricos y magnéticos para una misma frecuencia, en la superficie de la Tierra. Se trata de una técnica geofísica pasiva de superficie que investiga la estructura de la resistividad eléctrica del subsuelo a profundidades entre las decenas de metros y decenas de kilómetros (Vozoff, 1991).

La audiomagnetotelúrica (AMT) es una parte de la MT que usa altas frecuencias, sobre 1 Hz, generadas por la actividad de las tormentas en el globo terrestre. La señal MT penetra en la tierra hasta una profundidad dependiente de la conductividad de la tierra y la frecuencia de la señal. Si se asume que la energía MT penetra en la tierra en dirección vertical como un plano de onda, uno puede determinar la variación de resistividad con la profundidad a través de superficies de medida de los campos eléctricos y magnéticos como una función de la frecuencia. (Coppo et al., 2010).

Coppo et al. (2008) utilizan un sistema de registro de AMT desarrollado por la University of Neuchâtel (Suiza). Los cuatro componentes horizontales son muestreados a 2 kHz durante 8 minutos en dirección NS y EW y en un rango de periodo de 0.001 a 0.3 segundos. Las campañas se han llevado a cabo entre el 2004 y el 2006, con un total de 164 sondeos AMT, además de incluirse en el estudio 21 de los 33 sondeos AMT de Pous et al. (2002), que finalmente suman un total de 185. (ver Figura 3.18)

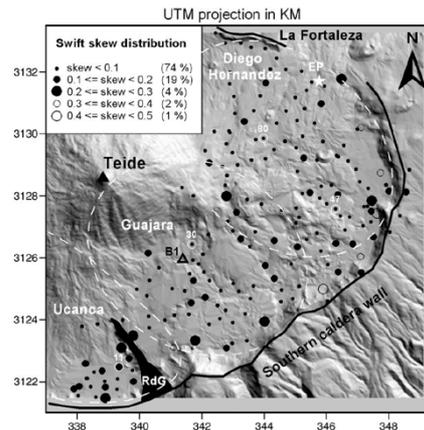


Figura 3.18 Distribución de los 185 puntos de AMT usados en el estudio de Coppo et al. (2008)

Los autores consideran que hay una capa resistiva correspondiente a las lavas del complejo T-PV, a la que llaman L1, y por debajo de ésta, una capa conductiva de rocas alteradas considerada el contacto entre las rocas de T-PV y anteriores, a la cual llaman L2. En el estudio analizan la topografía y resistividad de ambas capas, el espesor de la capa conductiva tiene cierta inclinación hacia el NE, y muestra dos depresiones tipo embudo entre el complejo T-PV al norte y la pared de la caldera al Sur. La zona conductiva del Sur es paralela a la pared de LCC desde Ucanca hasta El Portillo.

Respecto a las orientaciones (strikes), observan que son radiales respecto al complejo T-PV (con excepción de la parte W, correspondiente a la caldera de Ucanca) debido a la distribución de las lavas y piroclastos con un espesor de unos 510 m, y también a los diques intruidos relacionados con T-PV debido a la extensión local y campos de esfuerzos circunferenciales. Por otro lado, tienen disposición paralela a la pared Sur de Las Cañadas, donde la capa conductora se encuentra a poca profundidad en el borde y muestra un buzamiento hacia el interior de la misma. Este fenómeno se ha atribuido al hidrotermalismo favorecido por la red de fracturación anular que tienen las rocas en esta zona. Los resultados obtenidos concuerdan con la idea de que la Fortaleza está asociada a la pared de LCC, tal como señalaron Martí et al. (1994).

En el caso de la caldera de Diego Hernández, tanto la capa resistiva como la conductiva muestran una estructura elongada hacia el Oeste, que podría indicar un conducto de alimentación lineal con dirección NNE-SSW, y al Este una morfología triangular que sugiere la existencia de un edificio volcánico antiguo. (Figura 3.19)

En el caso de la caldera de Guajara, la capa conductiva muestra un límite bastante claro, el cual se ha interpretado como el límite de un volcán compuesto formado por dos edificios volcánicos muy cercanos, algo comparable al complejo T-PV. Otra de las interpretaciones que se le ha dado, es que sea el resultado de una fuerte alteración hidrotermal relacionada con el centro emisor félsico del Sur del Teide, alineado con la caldera de Guajara. Ambas hipótesis no son excluyentes entre sí. La intersección entre Guajara y Diego Hernández la deducen bajo el Pico Teide, y la situación de este volcán estaría fuertemente controlada estructural y tectónicamente. (Figura 3.19)

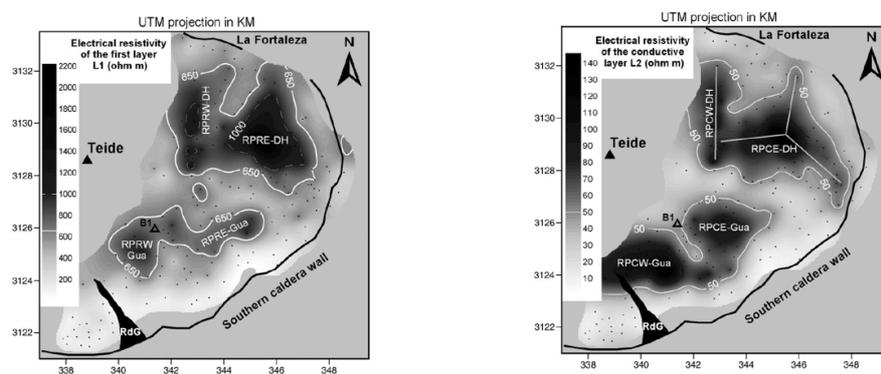


Figura 3.19 Resistividad de la capa conductiva y la resistiva. (Coppo et al., 2008)

La barrera conductiva al norte de la caldera de Guajara quedaría bajo el Teide y Montaña Blanca y esta parte estaría afectada por los deslizamientos de Icod y de La Orotava. Sin embargo, en la parte Sur no habrán ocurrido deslizamientos y en lo que se refiere a las fallas anulares correspondientes a la caldera de Guajara, quedan cubiertas y escondidas bajo los depósitos de ladera y derrubios recientes.

Los Roques de García se interpretaron como el límite entre la caldera de Uanca y Guajara (Martí et al., 1994). Más tarde Martí and Gudmundsson (2000) dijeron que la caldera de Uanca podría extenderse más al E de los Roques de García. En el estudio magnetoteléurico de Pous et al. (2002) lo definen como una estructura enraizada, formada por intrusiones fonolíticas previas a la caldera que dividen los sectores de Uanca y Guajara. Según el estudio de Coppo et al. (2008) el edificio Guajara podría ser un complejo semejante al del Teide y Pico Viejo, donde los Roques de García se verían reactivados por el ascenso magmático del edificio más occidental de Guajara y posteriormente del sistema del Teide.

Al calcular los volúmenes de la capa conductiva en las calderas de Diego Hernández y Guajara, los autores indican que los primeros cientos de metros de roca

conductiva de la parte de Guajara podrían relacionarse con los depósitos provenientes del colapso de Diego Hernández, implicando esto que la parte superior de la capa conductiva marca el último colapso vertical. (Figura 3.20)

Concluyen que tanto Diego Hernández como Guajara son producto de calderas de colapsos verticales, debido a la morfología circular y a las depresiones tipo embudo que muestra la parte superior de la capa conductiva.

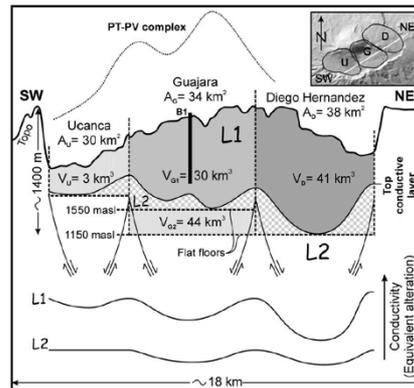


Figura 3.20 Volúmenes y cotas de las capas resistiva (L1) y conductiva (L2). Extraído de Coppo et al. (2008)

Los datos de la interpretación de este estudio se adquirieron en un archivo de texto (txt) con tres columnas (X, Y, Z-Conductor) y un total de 199 registros. (Figuras 3.21 a 3.23).

X	Y	Z-Conductor
336737	3122177	1689
338586	3121503	1905
338899	3121473	1870
341779	3123338	2162
339795	3122015	1980
339764	3123364	1977
339408	3123103	1773
339335	3122474	1952
339287	3122101	1867
340269	3126147	1764
338871	3122022	1893
338786	3122345	1832
338525	3122305	1785
338307	3122115	1811
338071	3121853	1860
338419	3121848	1833
338888	3121832	1859
339268	3121761	1857
338037	3121551	1801
342782	3123089	2196
342973	3123253	2144
344009	3123941	2312
345115	3125080	2037
346377	3125534	1975
342199	3126750	1716
341677	3126432	1753
341889	3125799	1545
335648	3122056	1849
337904	3121777	1853
346482	3131777	1723
346557	3129628	1533
346377	3129265	1439
346700	3129125	1584
346944	3128864	1587
347068	3128454	1576
345221	3128076	1495
345472	3128101	1564
345787	3127925	1450
346006	3127747	1477
346288	3127580	1627
346449	3127343	1598

FID	Shape	X	Y	Z Conducto
0	Point ZM	336737	3122177	1689
1	Point ZM	338586	3121503	1905
2	Point ZM	338899	3121473	1870
3	Point ZM	341779	3123338	2162
4	Point ZM	339795	3122015	1980
5	Point ZM	339764	3123364	1977
6	Point ZM	339408	3123103	1773
7	Point ZM	339335	3122474	1952
8	Point ZM	339287	3122101	1867
9	Point ZM	340269	3126147	1764

Figuras 3.21 y 3.22 Mtt.txt original con los datos interpretados de la magnetotelúrica a la izquierda, y la tabla de atributos de estos datos en el ArcMap, derecha. Procedencia (Coppo et al., 2008)

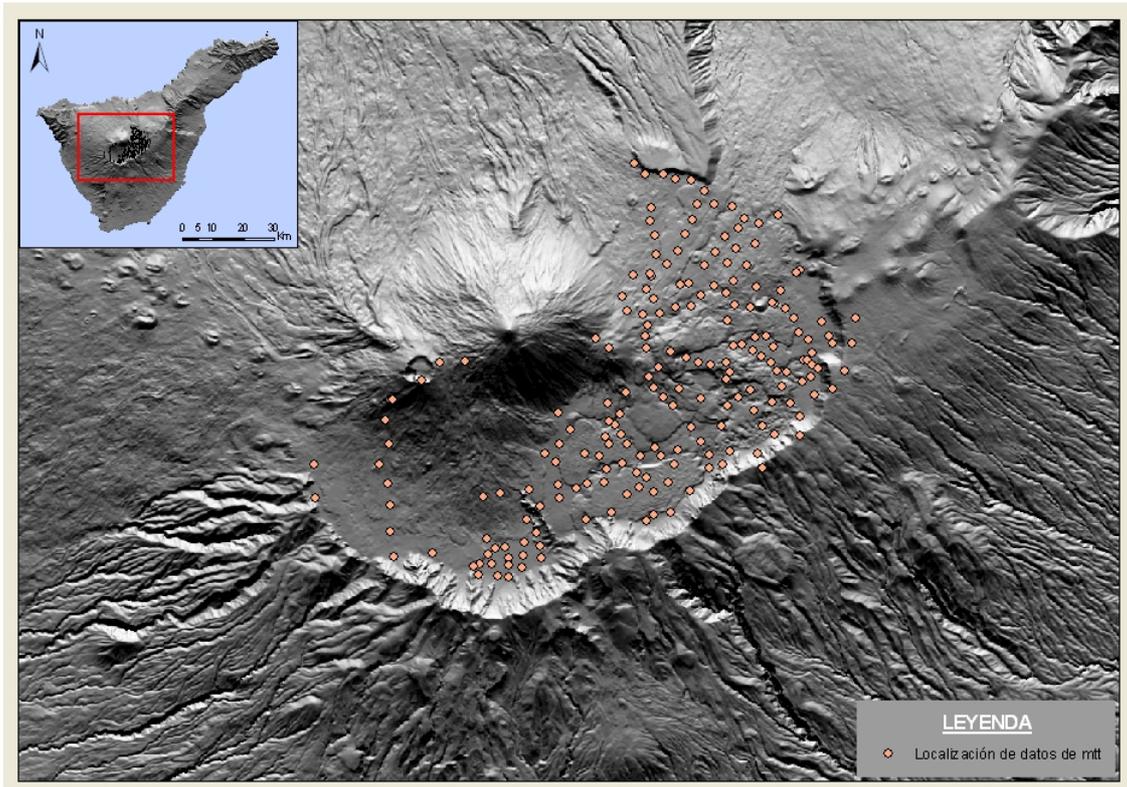


Figura 3.23 Distribución de los puntos de magnetotelúrica en la isla de Tenerife, según datos de Coppo et al. (2008)

