

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN: en la búsqueda de recursos geotérmicos de alta entalpía en el subsuelo de las Islas de Tenerife y Gran Canaria

Dr. Nemesio M. Pérez

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ENERGÍAS RENOVABLES (ITER)  
38611 Granadilla, Tenerife, Canary Islands, SPAIN

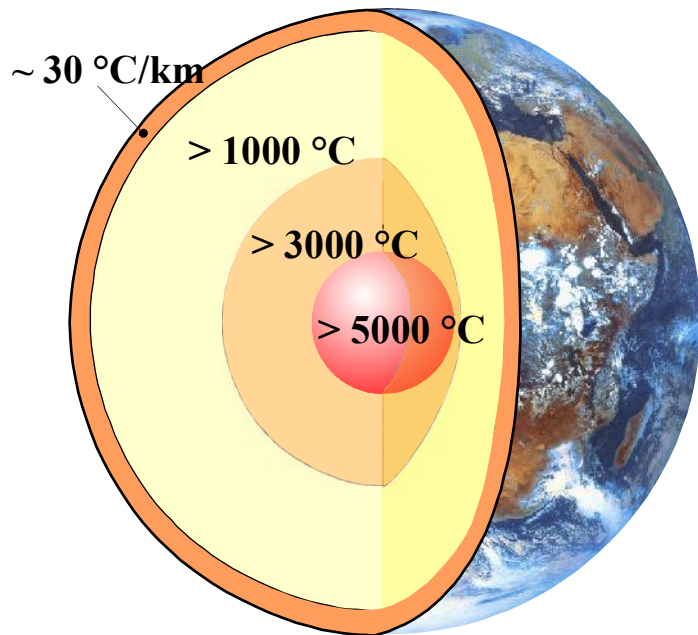


MINISTERIO  
DE ECONOMIA  
Y COMPETITIVIDAD



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## La naturaleza de los recursos geotermiales: el calor natural de la Tierra



El calor en el interior de la Tierra se produce constantemente por la desintegración de material radioactivo, y este alcanza la superficie a través de procesos de conducción, convección o advección.

El gradiente geotérmico es normalmente de  $30^\circ\text{C/km}$ , pero este puede llegar a ser de  $200^\circ\text{C/km}$

La cantidad de calor almacenada en la corteza terrestre es del orden de **5.4 billones EJ** ( $5.4 \times 10^9 \text{ EJ}$ ).

En la actualidad el uso de la energía en el mundo es de **400 EJ**.

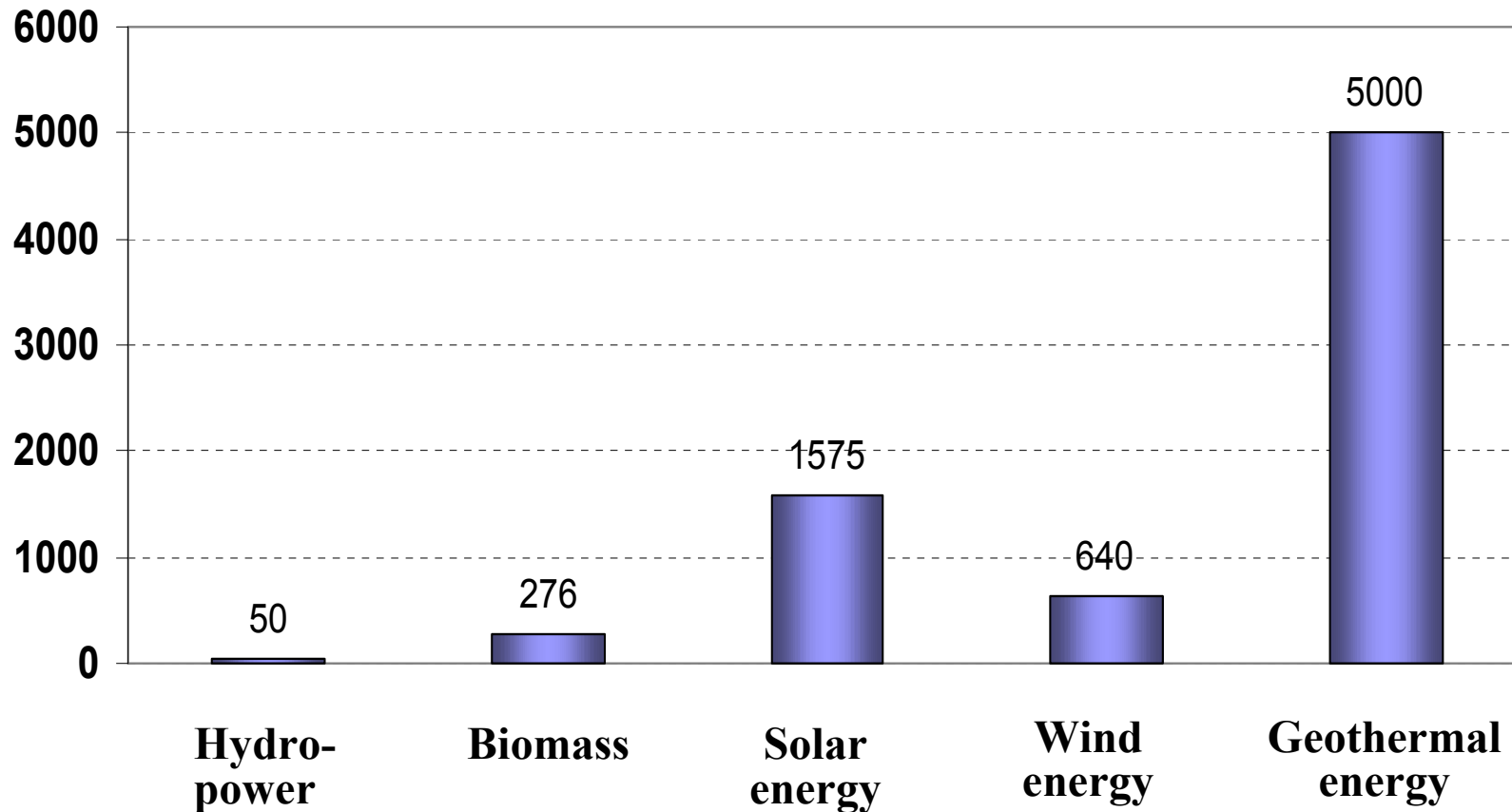
Si nosotros pudiéramos usar el 0,1% del calor almacenado en la corteza terrestre podríamos satisfacer el consumo energético mundial durante 13.500 años.

**El recurso energético de la geotermia es enorme !**

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Potential técnico global de fuentes de energías renovables (EJ por año)

EJ per year



**World Energy Assessment (2000). World Energy Assessment: energy and the challenge of sustainability. Prepared by UNDP, UN-DESA and the World Energy Council. United Nations Development Programme, New York, 508 pp**

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

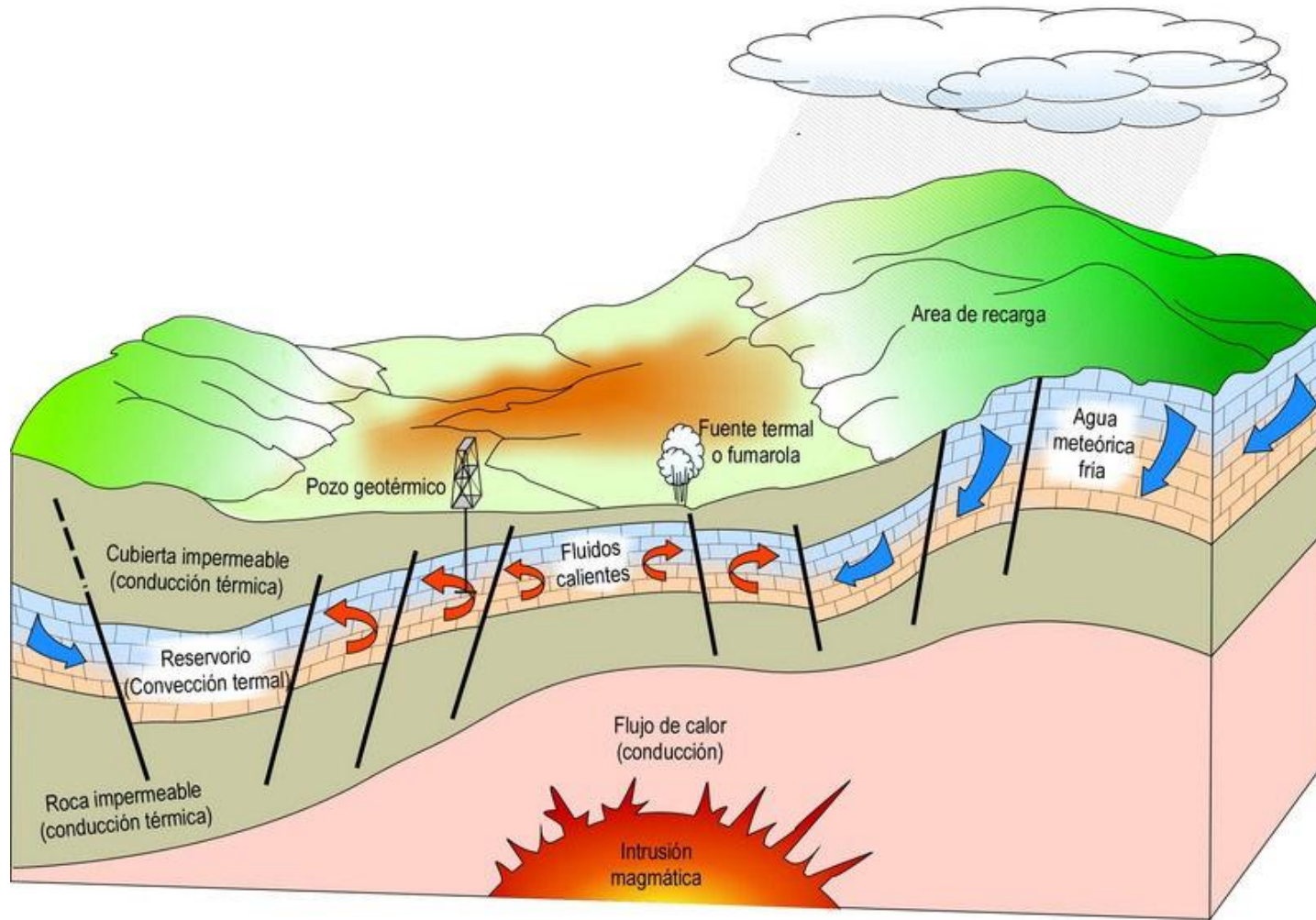
## **How can we extract this enormous heat?**

### **¿Cómo podemos extraer esta enorme cantidad de calor?**

- Explore for the most appropriate subsurface conditions for geothermal production / **Explorando en aquellas zonas dónde las condiciones del subsuelo sean las más favorables para la producción de energía geotérmica.**
- Drill into these formations by as cheap and effective methods as possible / **Perforando en estas formaciones mediante métodos tan eficaces como económicos sea posible.**
- Develop efficient methods for use of geothermal heat for direct use and electricity production / **Desarrollando métodos eficientes para la explotación del calor geotérmico para la generación de electricidad y otros usos directos.**

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

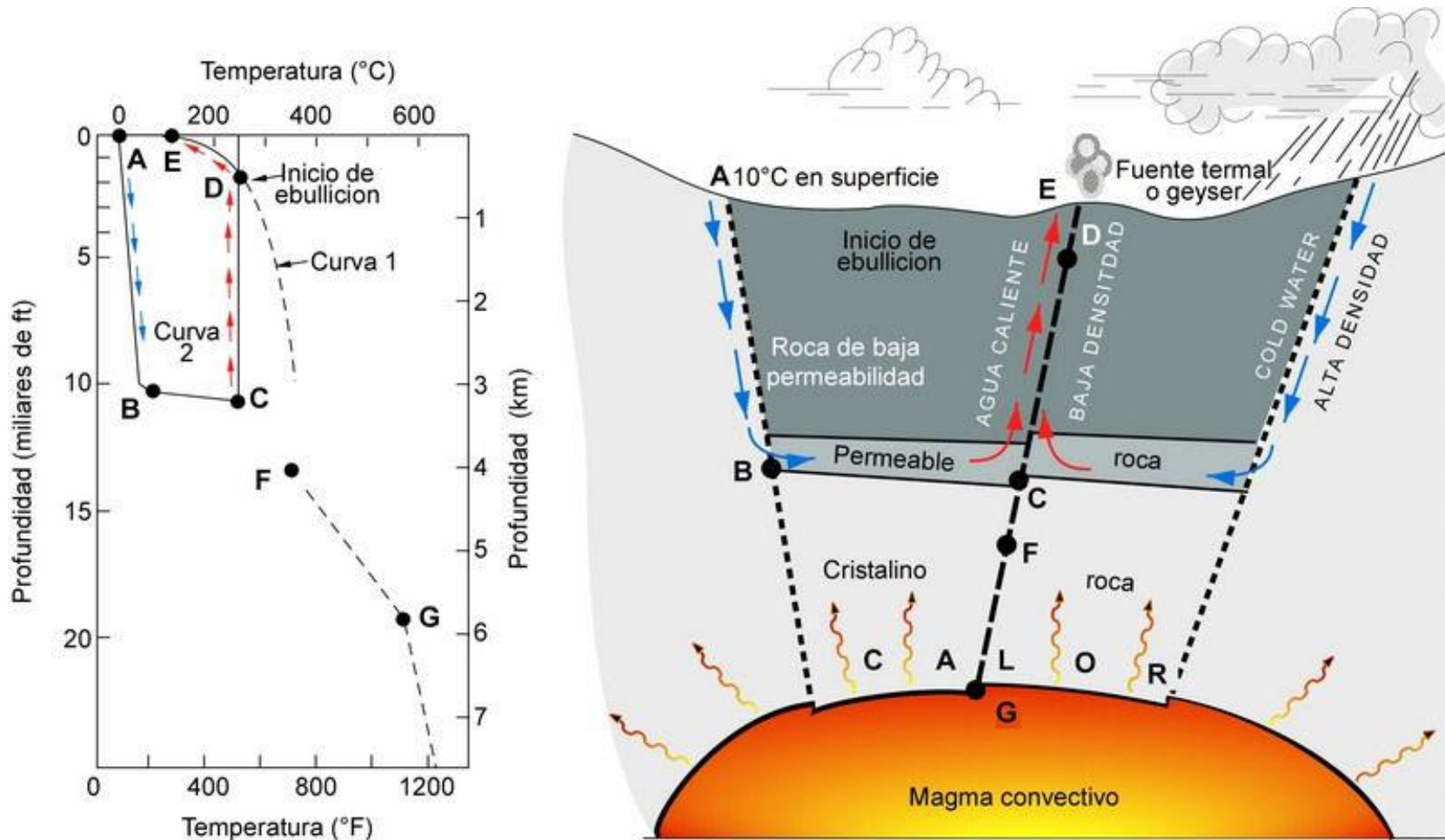
## Modelo conceptual de un sistema geotermal



Cuando el ascenso del agua caliente y el vapor se encuentran atrapados en rocas permeables y porosas bajo una capa de roca impermeable, se puede formar un reservorio geotérmico.

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Modelo conceptual de un sistema geotermal



La curva 1 es la curva de referencia para el punto de ebullición del agua pura. La curva 2 muestra el perfil de temperatura a lo largo de una típica trayectoria de circulación desde el punto A (zona de recarga) al punto E (zona de descarga) (White, 1973).

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

de menor  
coste económico



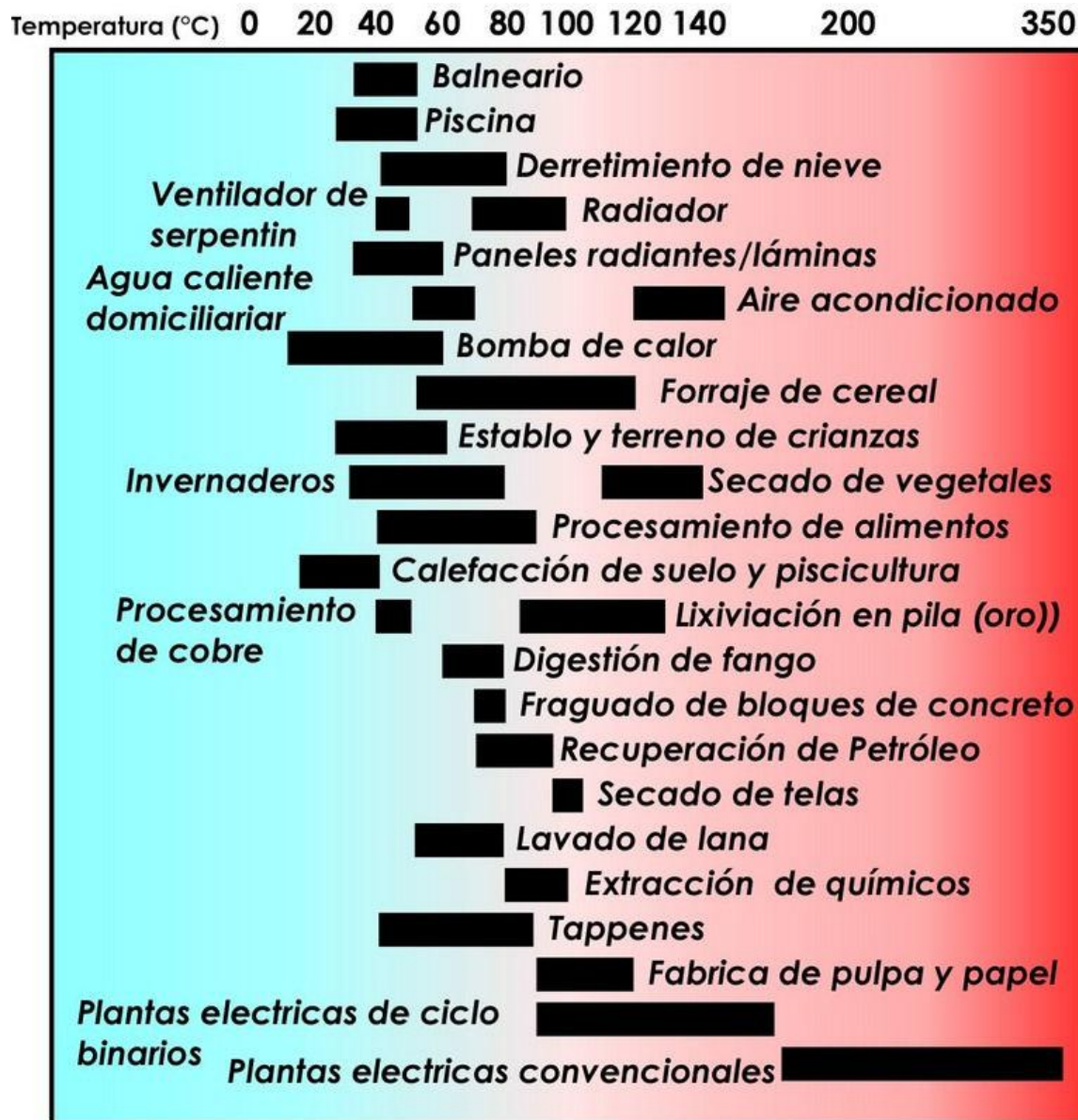
a mayor  
coste económico

## Geothermal Exploration Surveys

- Satellite imagery and aerial photography
- Volcanological studies
- Geologic and structural mapping
- Geochemical surveys
- Geophysical surveys
- Temperature gradient hole drilling

**Métodos que se usan para la exploración geotérmica**

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)



**Usos directos  
y producción  
de electricidad  
a partir de  
recursos  
geotérmicos**

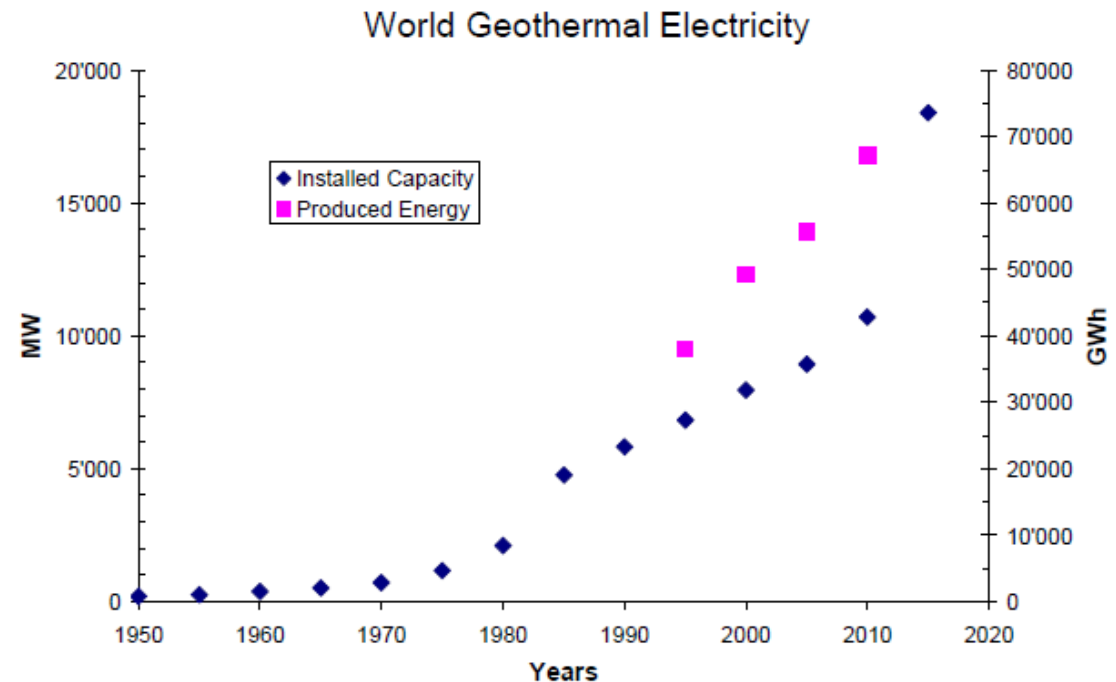


**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
 Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# La capacidad total global instalada de plantas geotermoeléctricas y la electricidad producida

Year	Installed Capacity MW	Produced Energy GWh
1950	200	
1955	270	
1960	386	
1965	520	
1970	720	
1975	1,180	
1980	2,110	
1985	4,764	
1990	5,834	
1995	6,833	38,035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,715	67,246
2015	18,500	

Total worldwide installed capacity from 1950 up to end of 2015 and short term forecasting

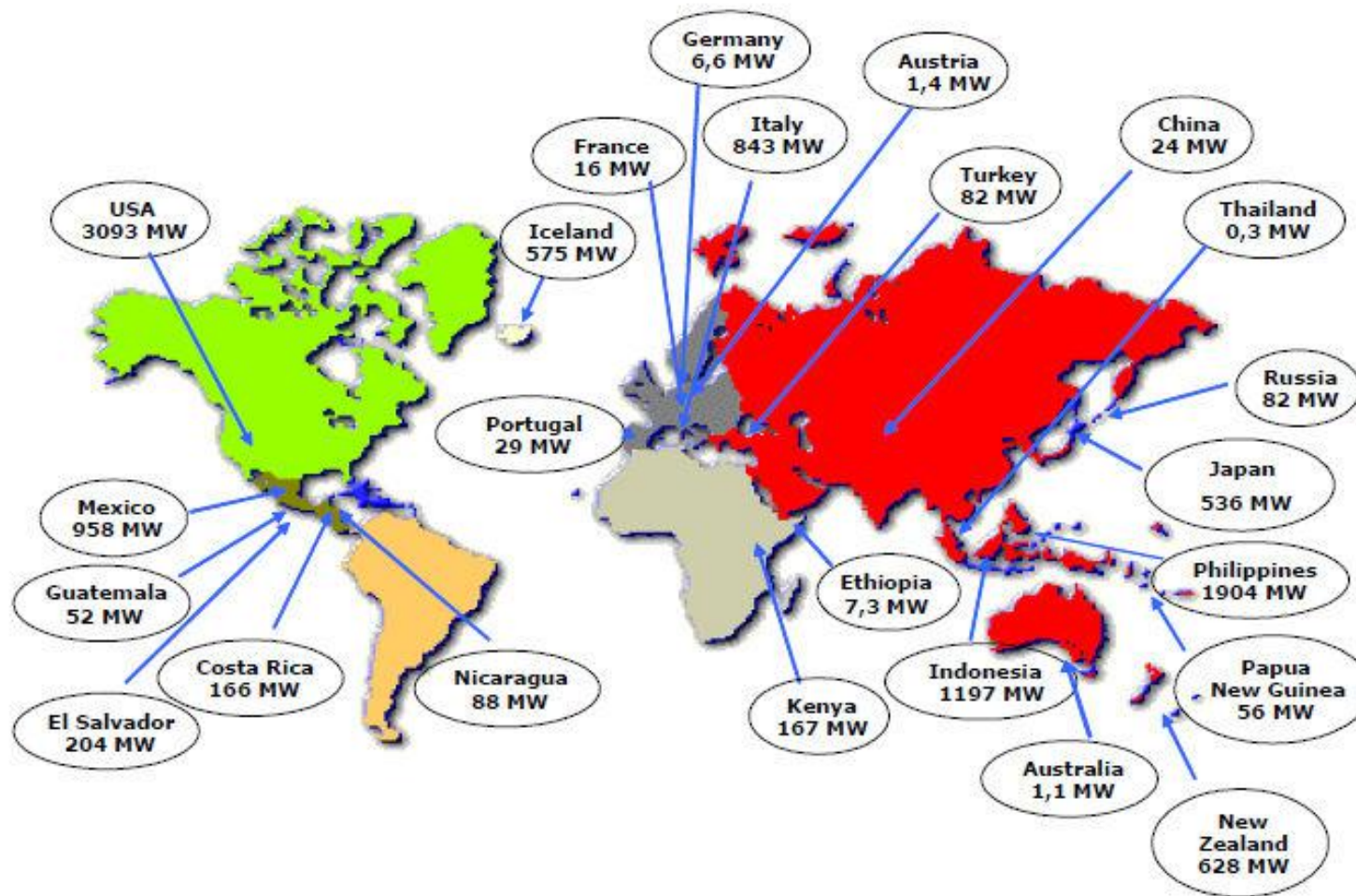


Installed capacity from 1950 up to 2015 (Left, MW) and produced electricity (Right, GWh).

Ruggiero Bertani (2010)

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

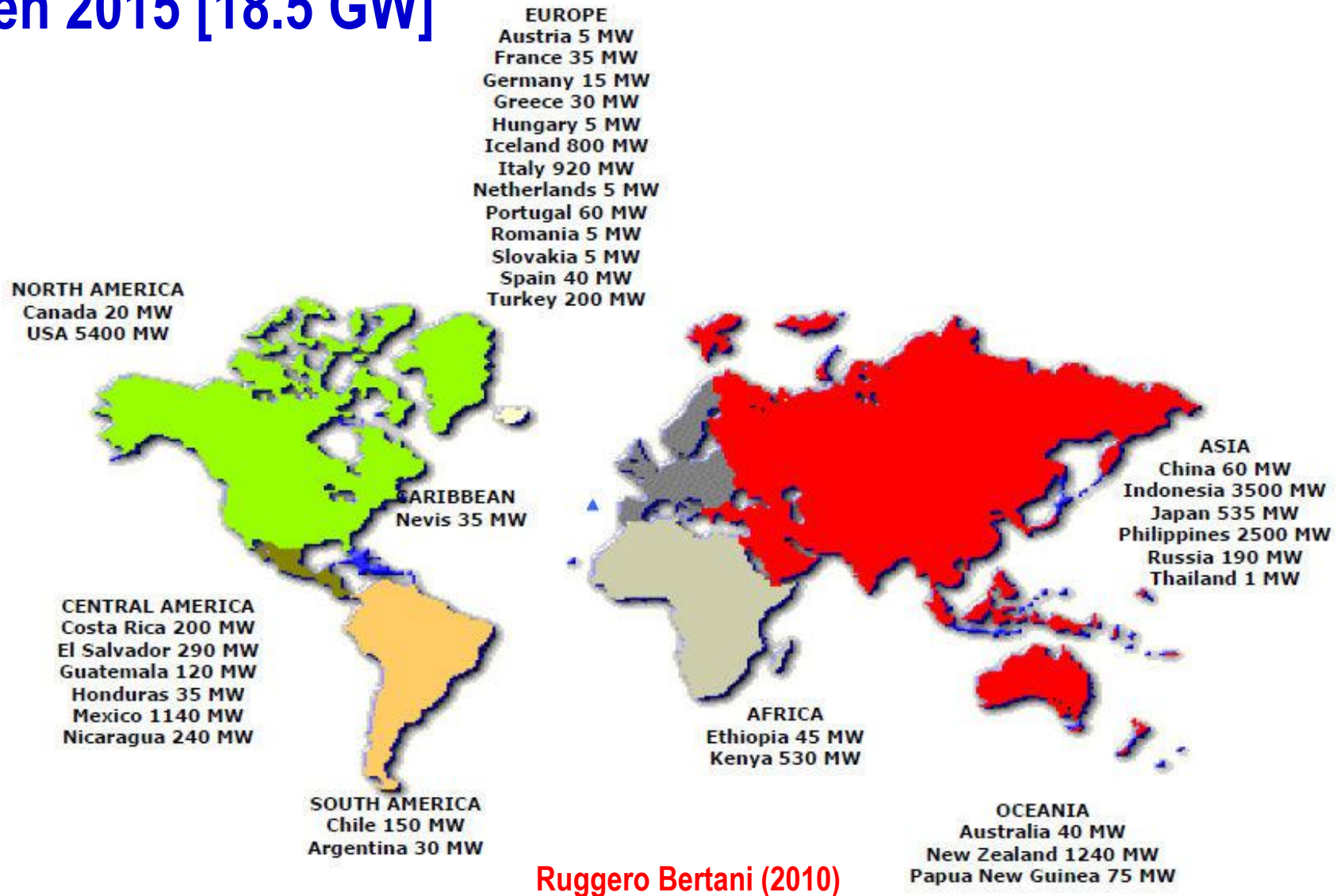
## La capacidad geotérmica total instalada en 2010 [10,7 GW]



Ruggero Bertani (2010)

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Pronóstico sobre la capacidad geotérmica total instalada en 2015 [18.5 GW]



## **Situación de la geotermia en Canarias**

- Canarias presenta un gran potencial geotérmico como consecuencia de su volcanismo activo responsables de manifestaciones geotermales existentes en su territorio (fumarolas, anomalías de temperatura, anomalías geoquímicas, etc.)
- Canarias fueron ampliamente estudiadas por el IGME entre 1970-1990 con resultados favorables.
- Paralización de la investigación durante los últimos casi 20 años
- Las técnicas y métodos de investigación geotérmica así como la eficiencia de las plantas geotérmicas han evolucionado notablemente en los últimos años permitiendo explotar yacimientos antes inviables
- Esta surgiendo un interés renovado por la geotermia para la generación de energía eléctrica a escala global como la energía renovable de la Tierra, pero este interés no encuentra el apoyo de entidades públicas y/o privadas para fortalecer el mix energético de Canarias.

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Volcanismo subaéreo de Canarias



**Emisión de helio-3**

**AFRICA**

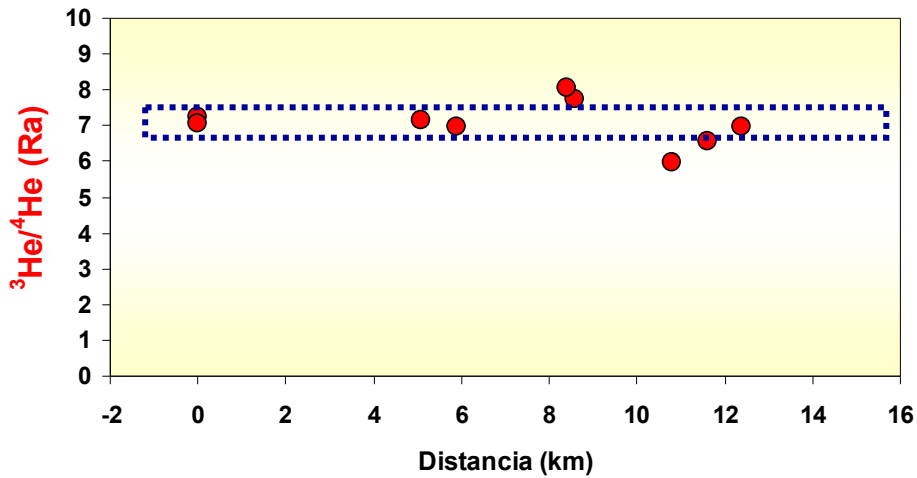
**Edad de las rocas más viejas**

(Pérez et al. 1994; Carracedo et al. 2002)

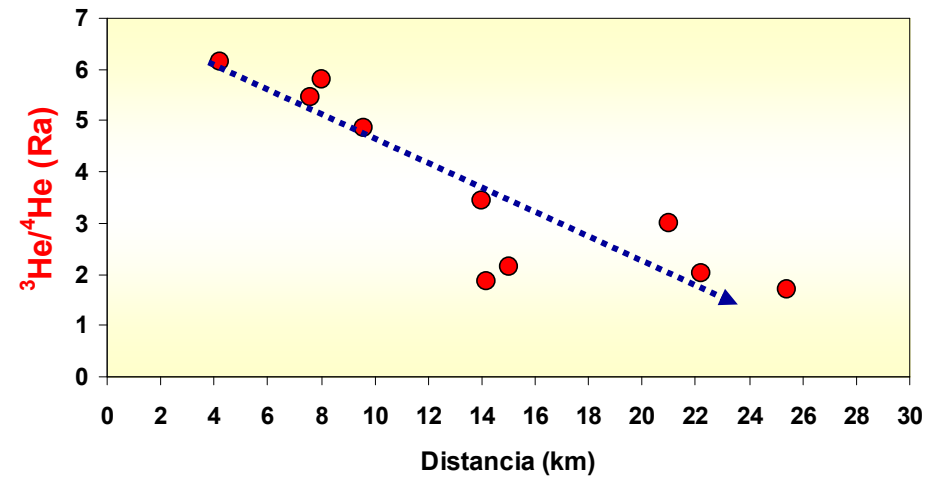
"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Spatial distribution of helium-3 emission from stratovolcanoes

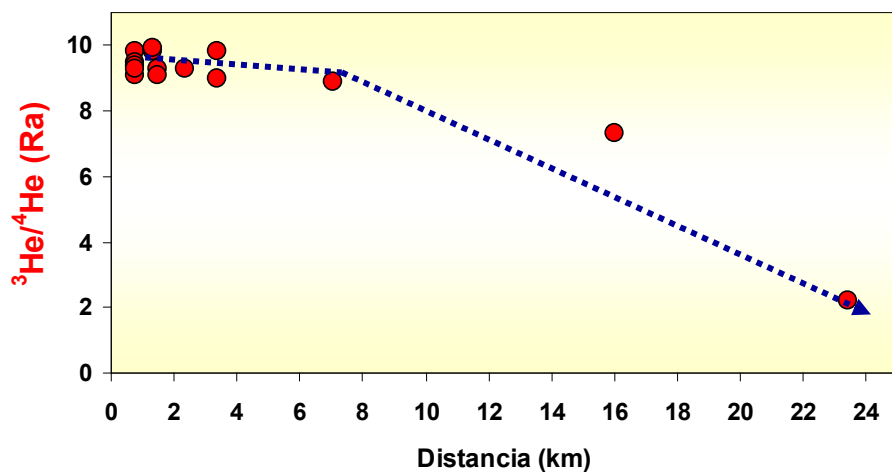
Teide, Tenerife (Pérez et al., 1996)



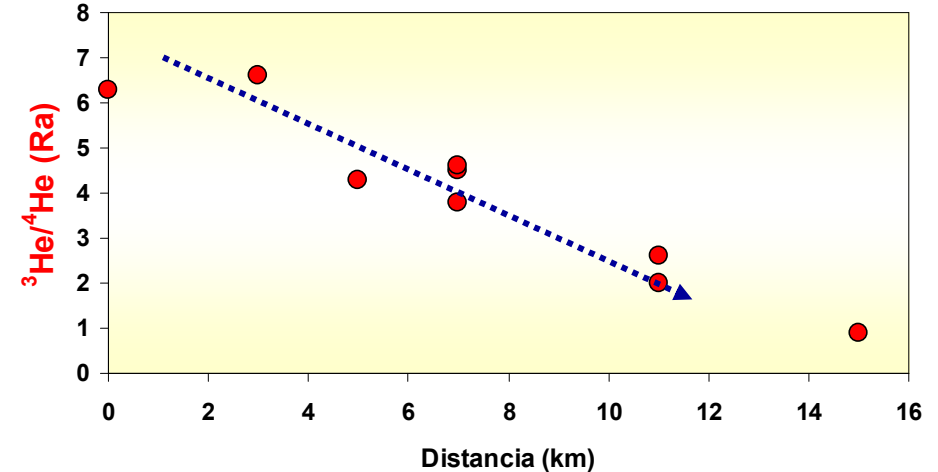
Ontake, Japón (Sano et al., 1984)



Hakone, Japón (Sakamoto et al., 1992)

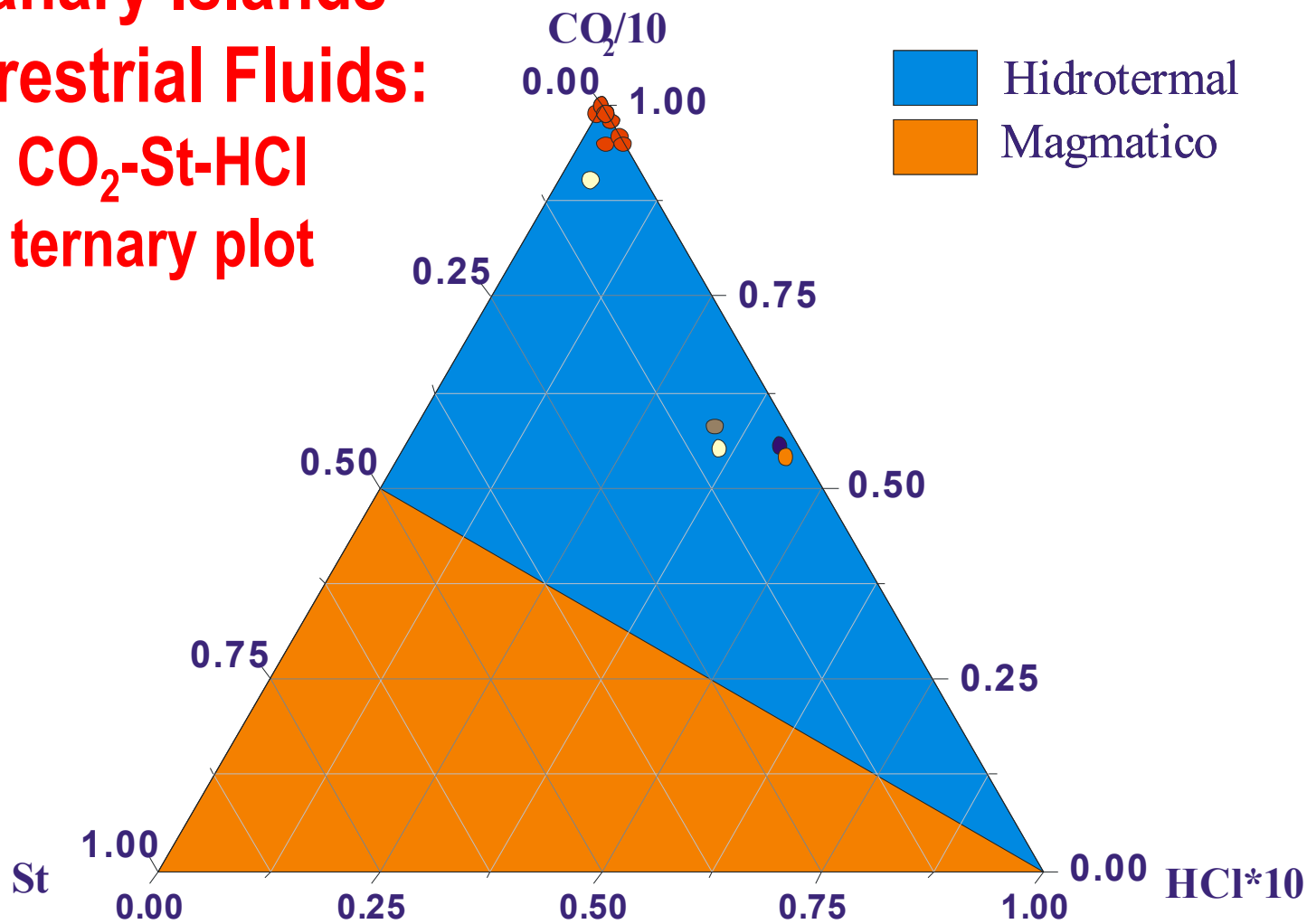


Nevado del Ruíz, Colombia (Williams et al., 1987)



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

**Canary Islands  
Terrestrial Fluids:  
CO<sub>2</sub>-St-HCl  
ternary plot**

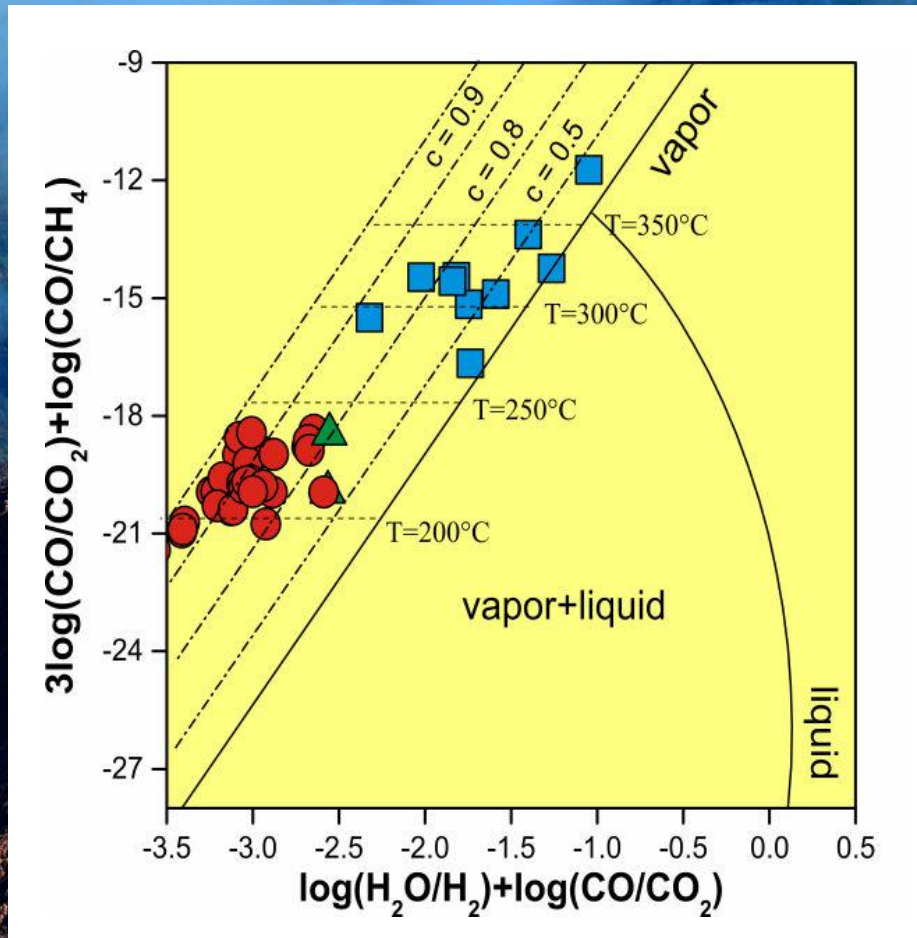


- Teide, Tenerife
- Fuente del Valle, Tenerife
- Teneguia, La Palma
- Taburiente, La Palma
- 16 de Mayo, Tenerife

(Pérez et al., 1992)

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Canary Islands Terrestrial Fluids: Geothermometry





"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"

Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

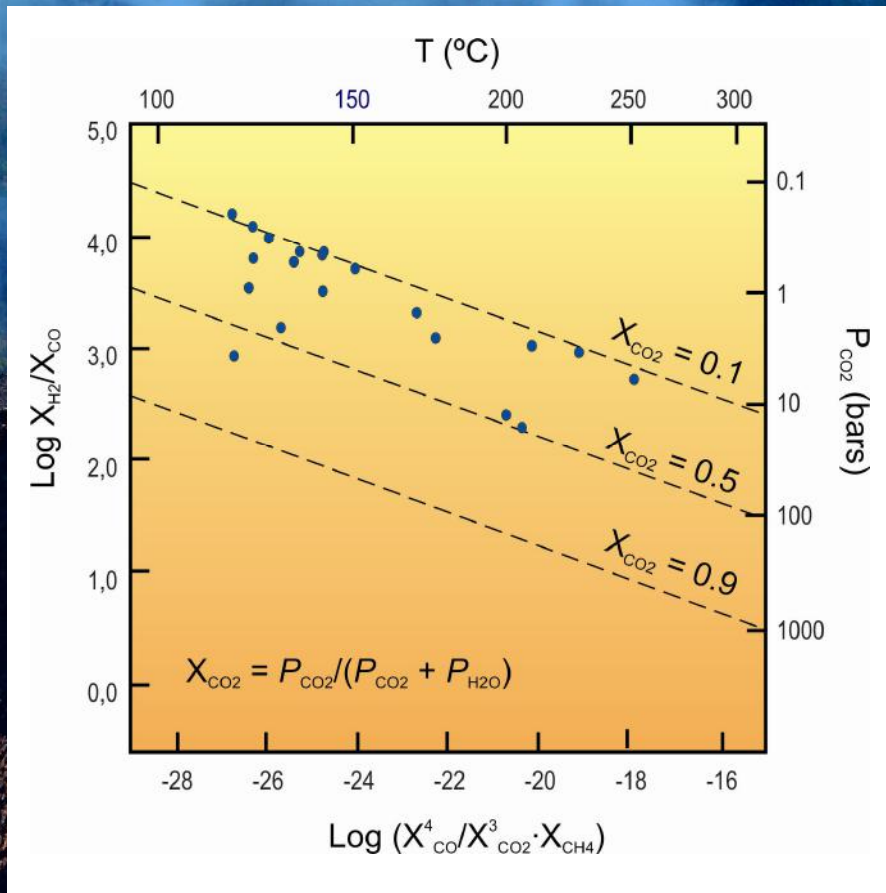
# Canary Islands Terrestrial Fluids: Geobarometry

$$P_{\text{total}} = P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}_2}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} \sim 40 \text{ (bars)}$$

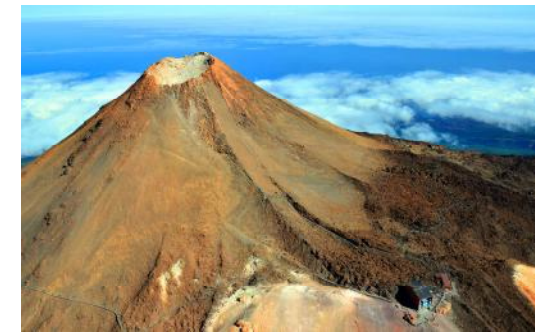
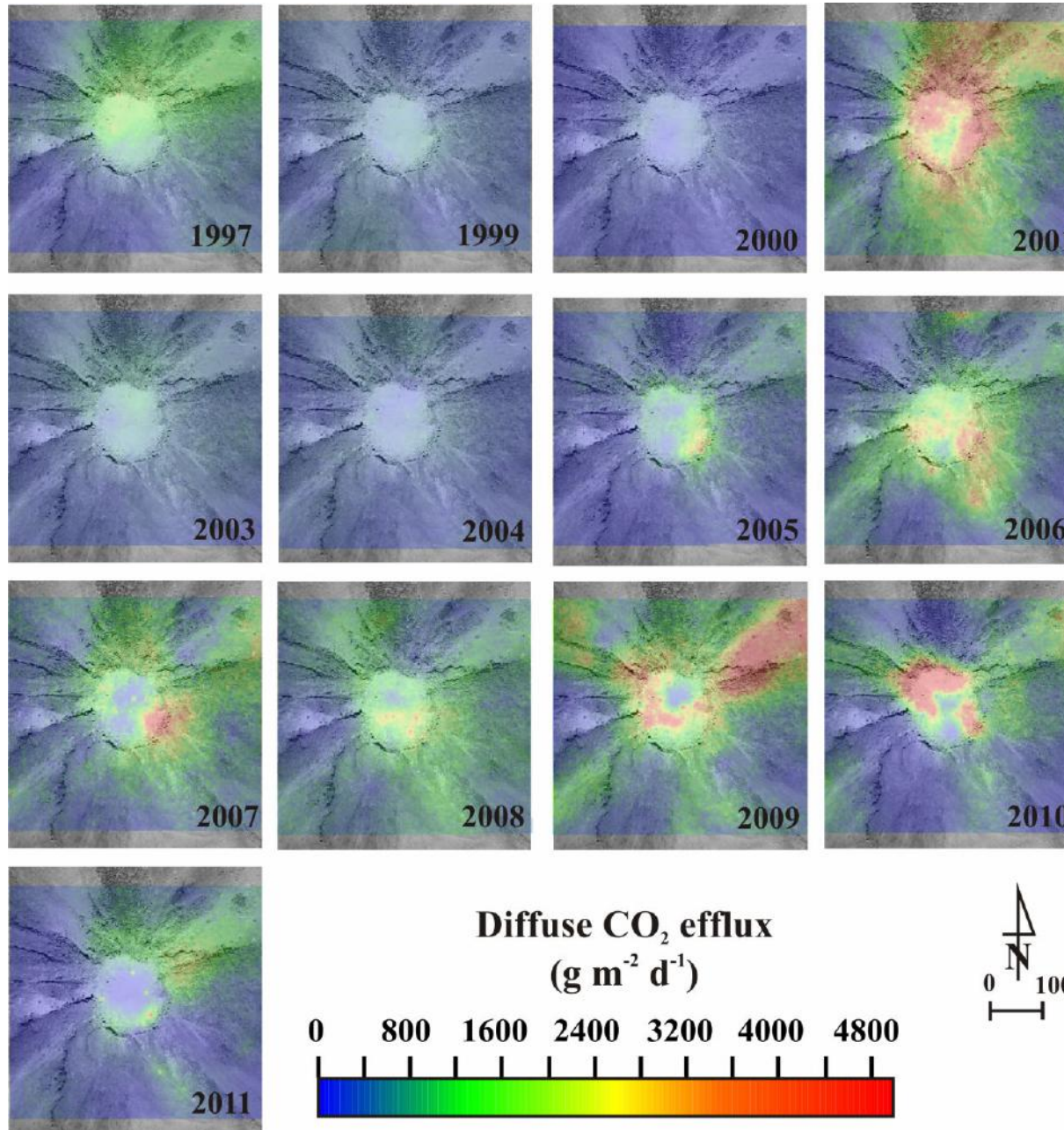
$$P_{\text{CO}_2} \sim 2 \text{ (bars)}$$

$$P_{\text{total}} \sim 42 \text{ (bars)}$$



# "Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"

Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

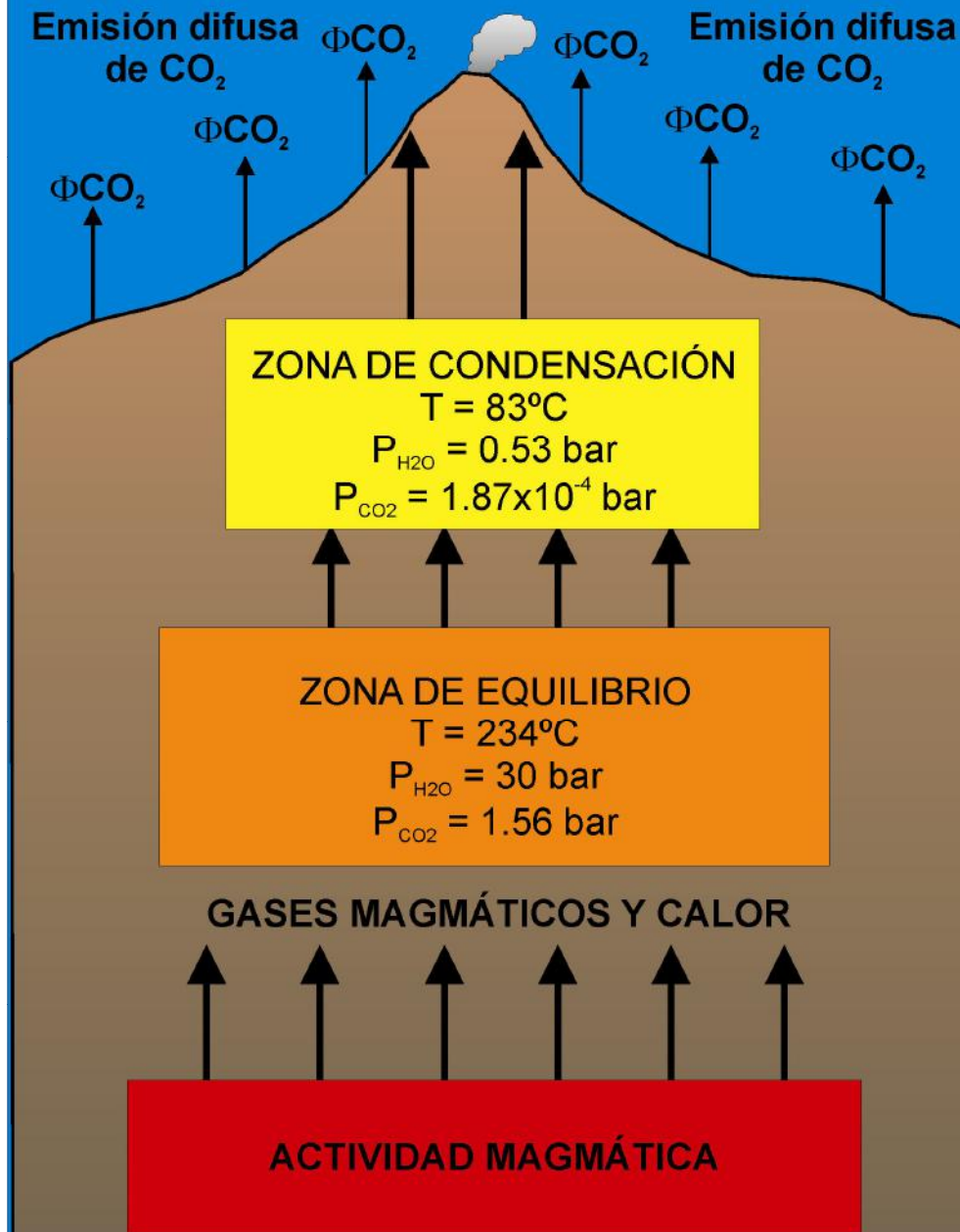


**Evolución  
espacio-  
temporal de la  
emisión difusa  
de CO<sub>2</sub> en el  
Pico del Teide  
(1997-2011)**

**Valores ↑↑**

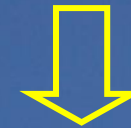
# "Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"

Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

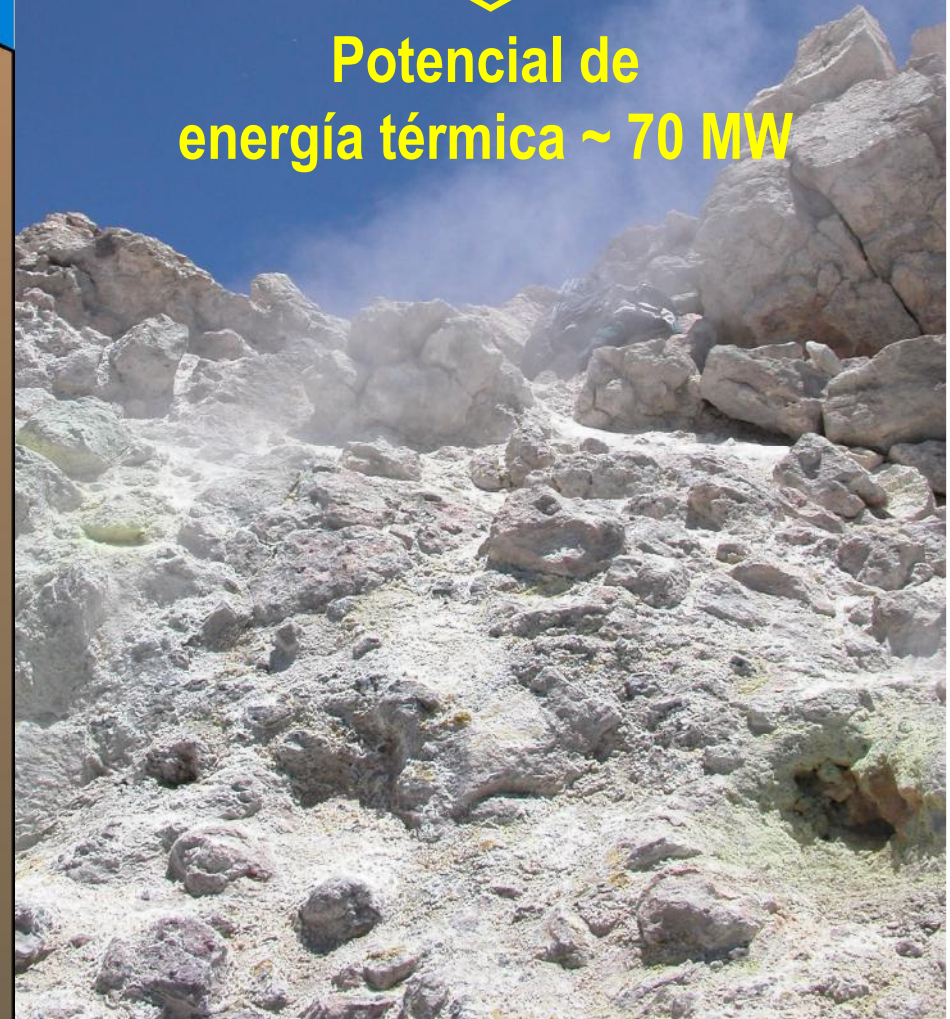


Emisión difusa  $\text{CO}_2 \sim 198 \text{ t d}^{-1}$

Emisión de  $\text{H}_2\text{O} \sim 1555 \text{ t d}^{-1}$



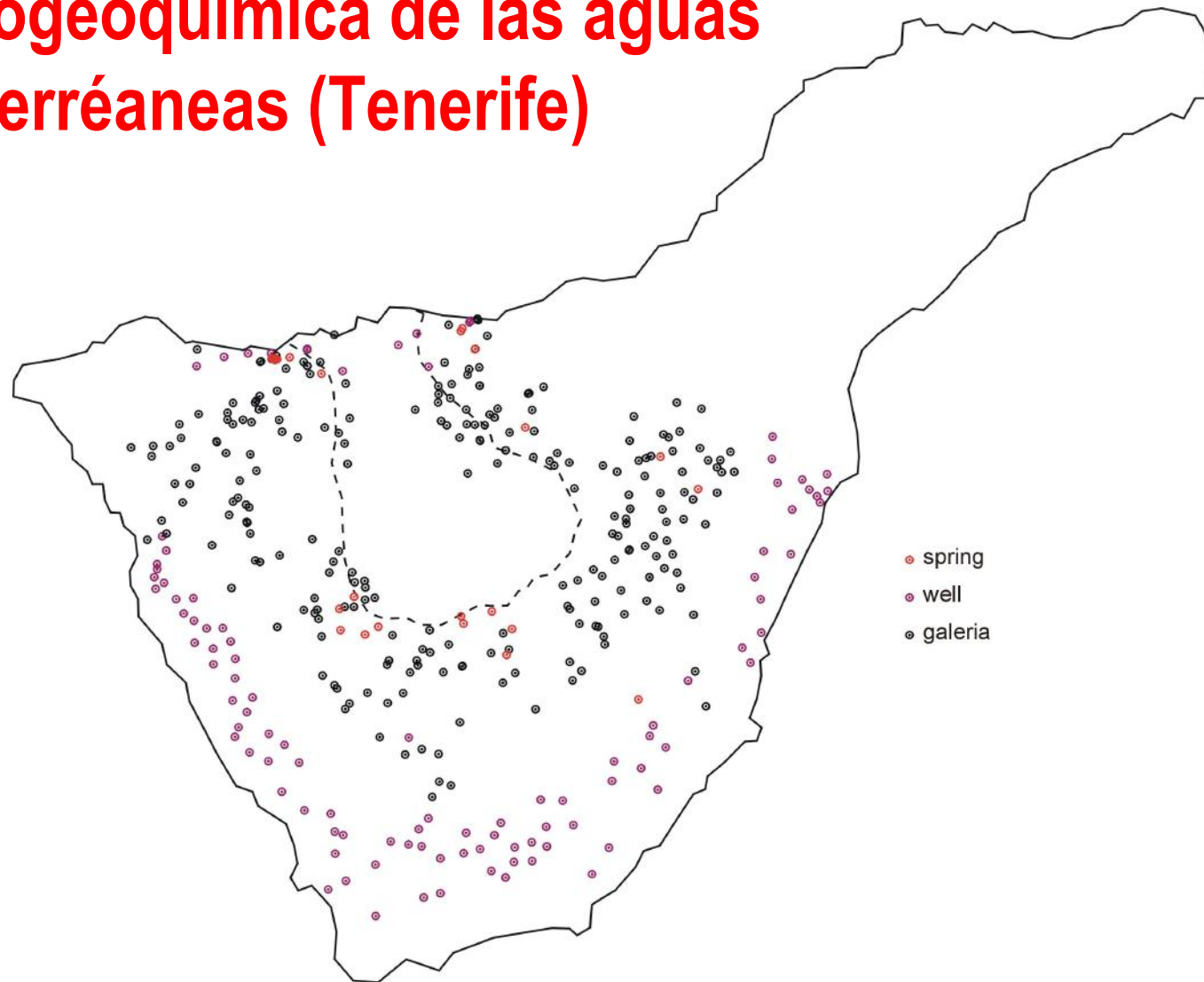
Potencial de energía térmica  $\sim 70 \text{ MW}$



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"

Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas (Tenerife)



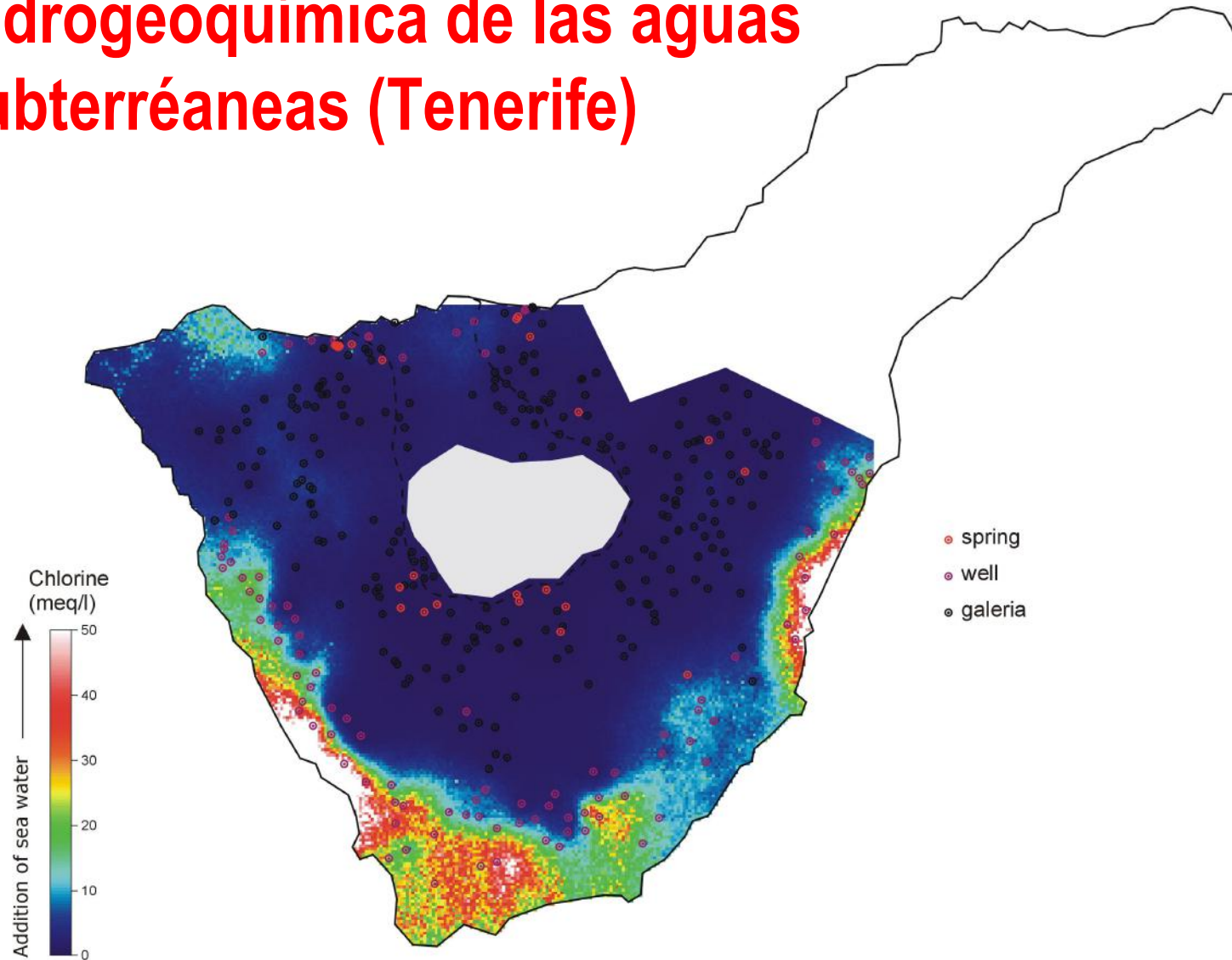
The principal processes affecting Tenerife groundwaters are:

1) sea water intrusion: Na-Cl waters

2) water-gas (**CO<sub>2</sub>**)-rock interaction: Na-K-Mg-**HCO<sub>3</sub>**

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

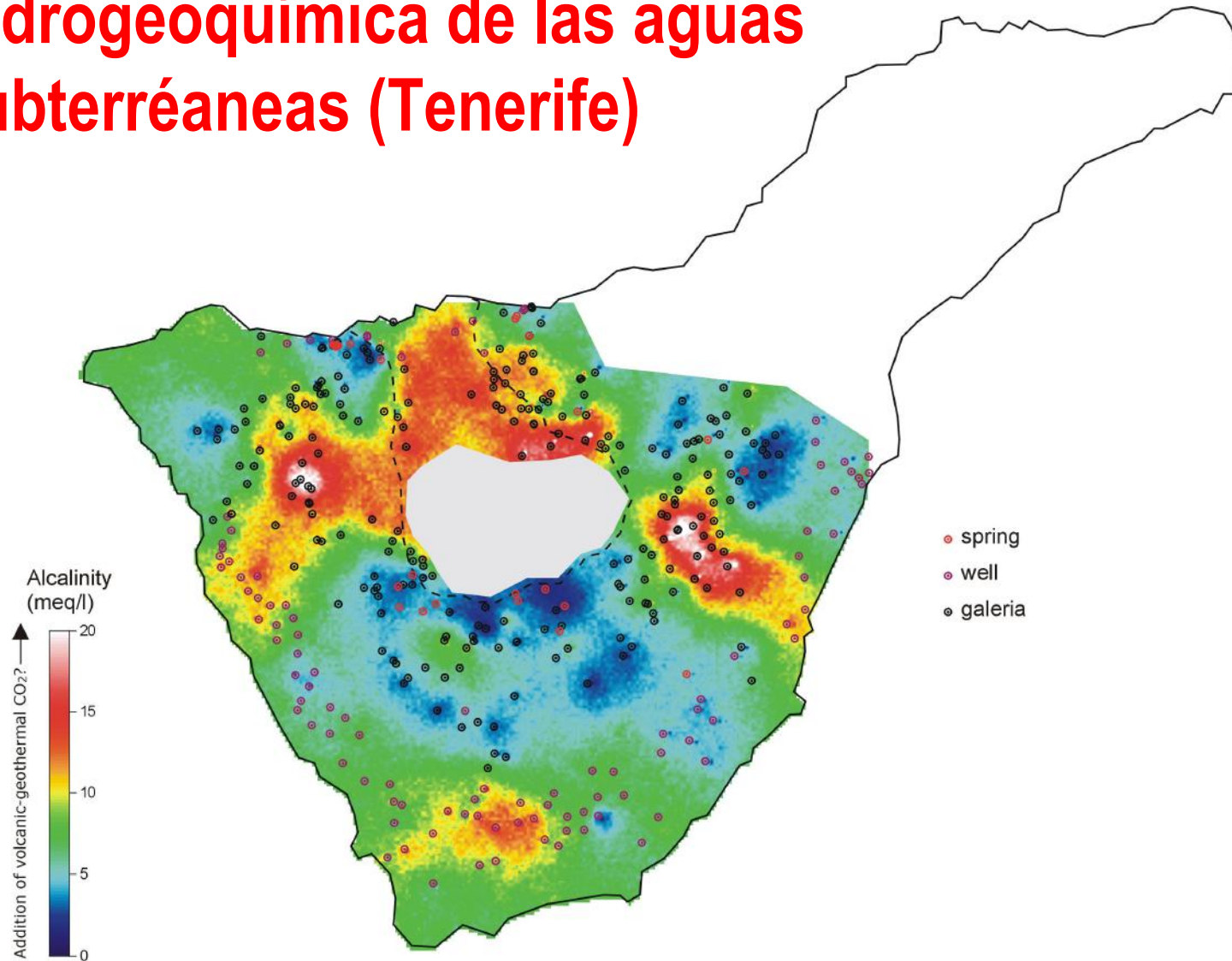
## Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas (Tenerife)



The map of the chlorine concentration highlights the areas where sea water intrusion occurs. These area roughly coincide with the coast of the island.

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas (Tenerife)



The map of the alkalinity (i.e. HCO<sub>3</sub> concentration) highlights the areas where the input of CO<sub>2</sub> rich fluids into the aquifer occurs. These area roughly coincide with areas of recent volcanism.

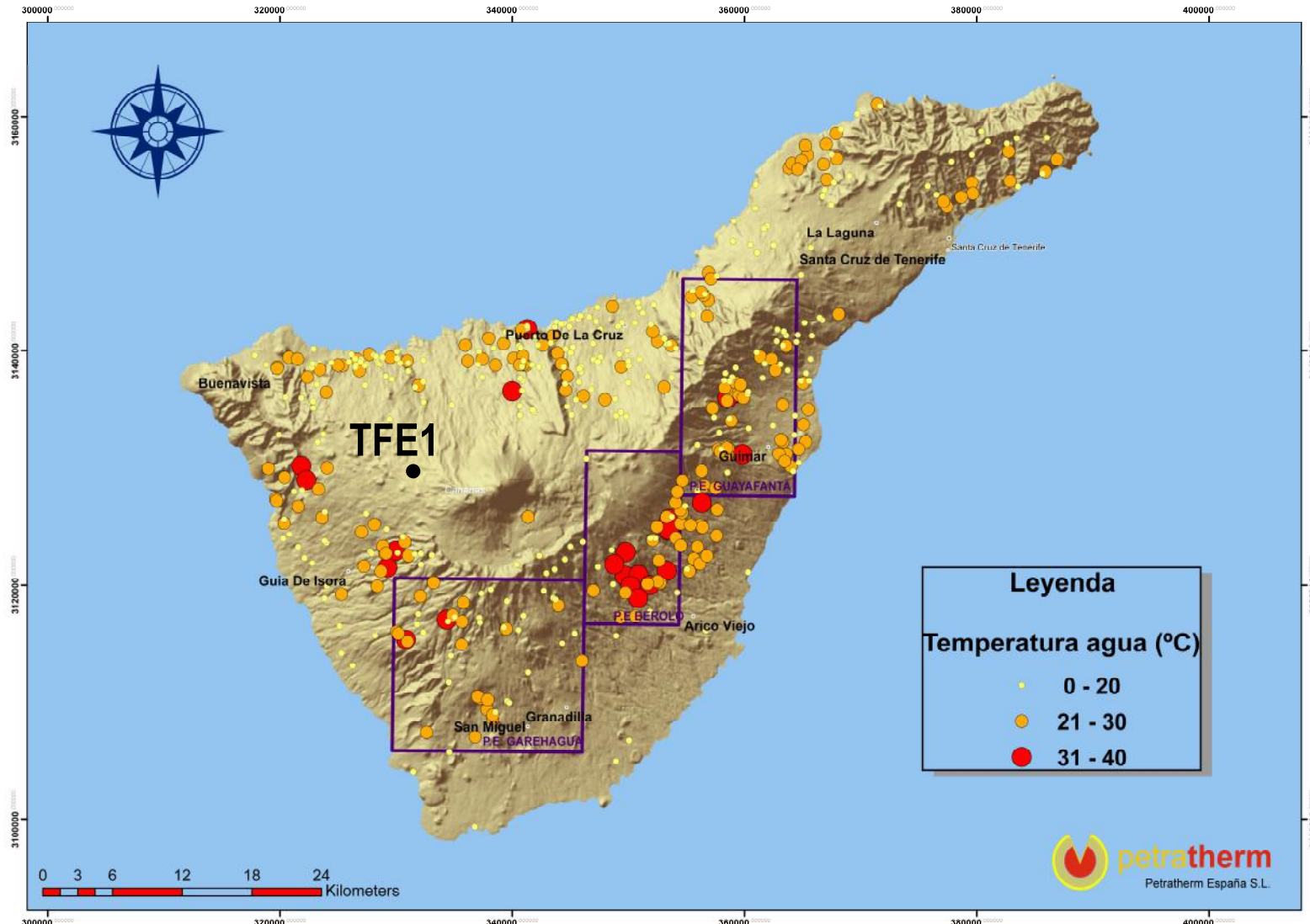
**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
**Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)**

## **Situación actual de la exploración geotérmica en Canarias**

- A comienzos de 2007 Petratherm solicita varios permisos de investigación geotérmica en Canarias.
- En Julio de 2007 Petratherm obtiene el otorgamiento del primer permiso de exploración de la DGIE de Canarias.
- En Octubre de 2007 ITER y Petratherm firman un convenio de colaboración para la investigación de los recursos geotérmicos en las Islas Canarias.
- En la actualidad Petratherm cuenta con 6 permisos de exploración otorgados en Tenerife (4), Gran Canaria y La Palma (1). En todas islas se han iniciado ya distintas campañas de exploración geoquímica y geofísica.
- En 2010 Petratherm buscó acuerdos con diferentes socios como Enel Green Power, Repsol Renovables, etc....para el desarrollo de proyectos geotérmicos en Canarias y otras áreas de la Península Ibérica que nunca cuajaron.
- En los últimos 7 años se han invertido del orden de 2,7 M € en el desarrollo de la geotermia para la generación de energía eléctrica en Canarias con un apoyo paupérrimo de la AGE y la Administración de la Comunidad Autónoma de Canarias.

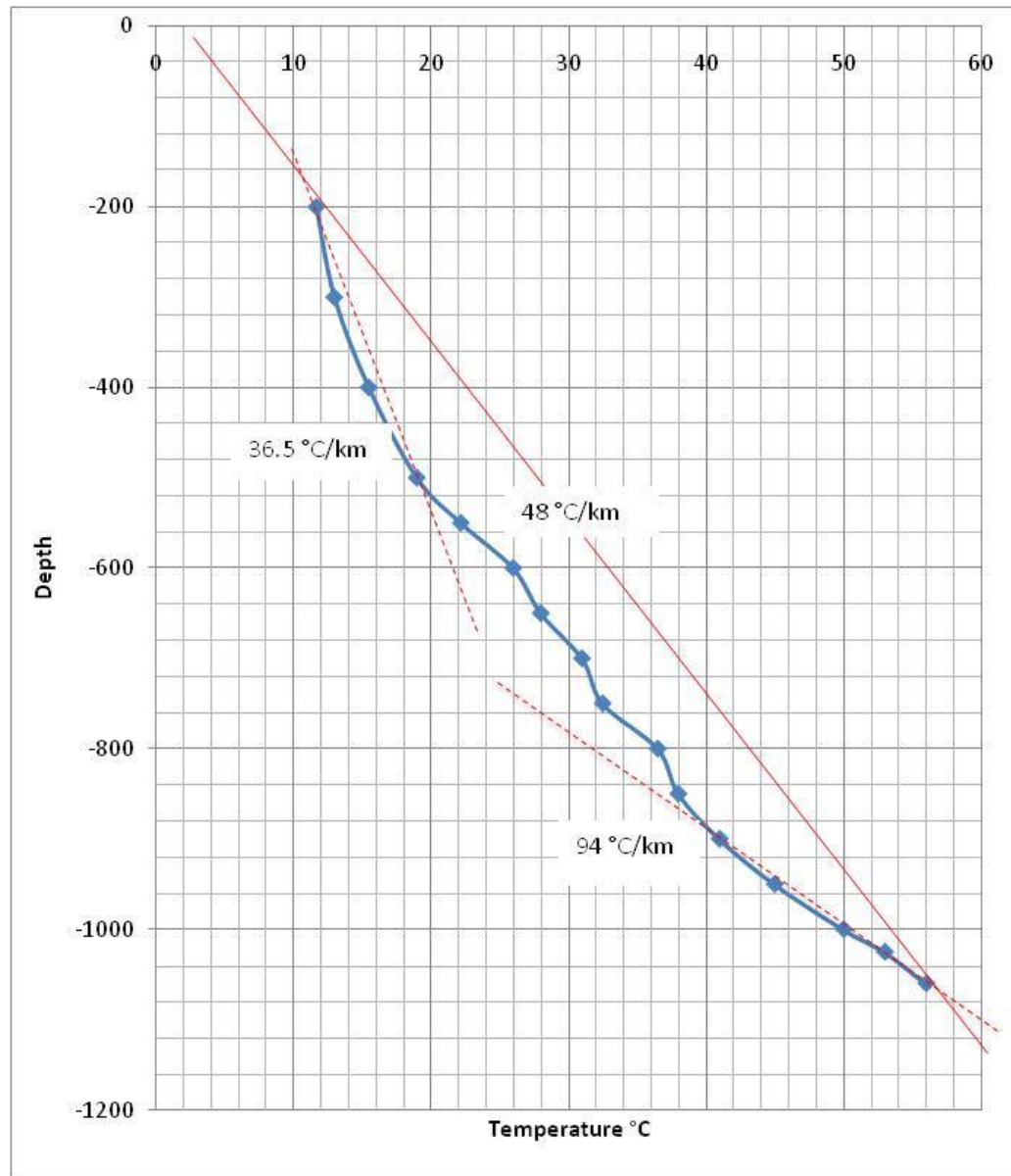
"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Temperatura de las aguas subterráneas (Tenerife)



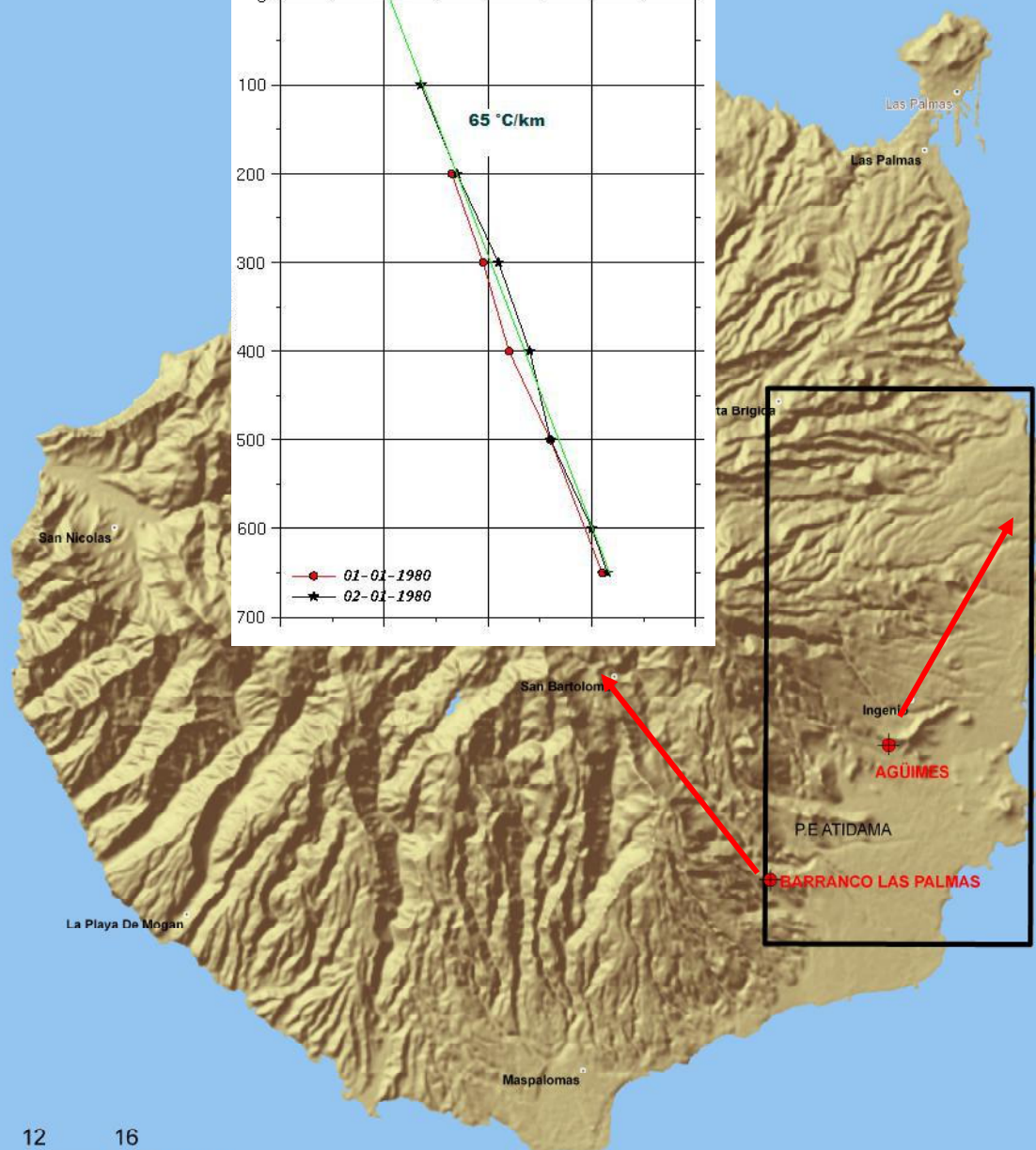
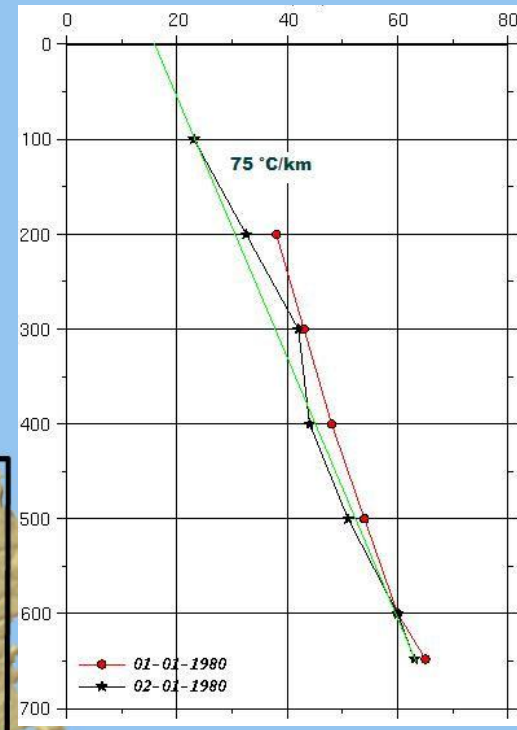
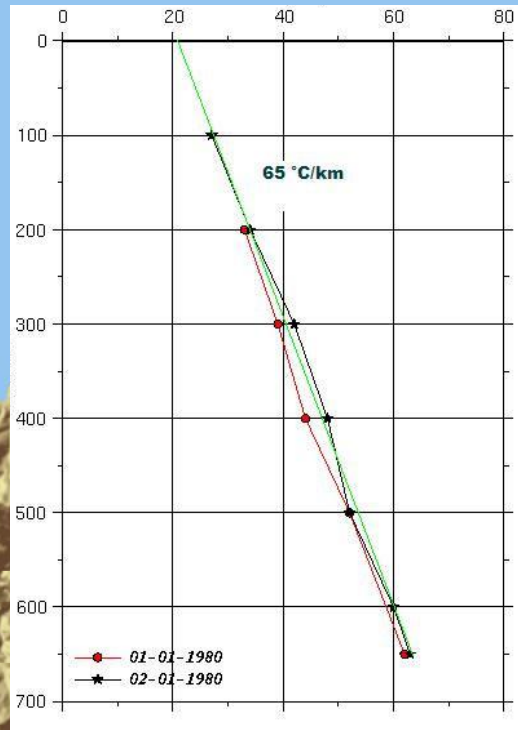


**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
**Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)**



**Sondeo profundo  
para la exploración  
geotérmica en  
Tenerife**

**Gradiente geotérmico  
entre los 900 y 1.020  
metros de profundidad  
94°C/km (3 veces  
superior al gradiente  
geotérmico normal)**

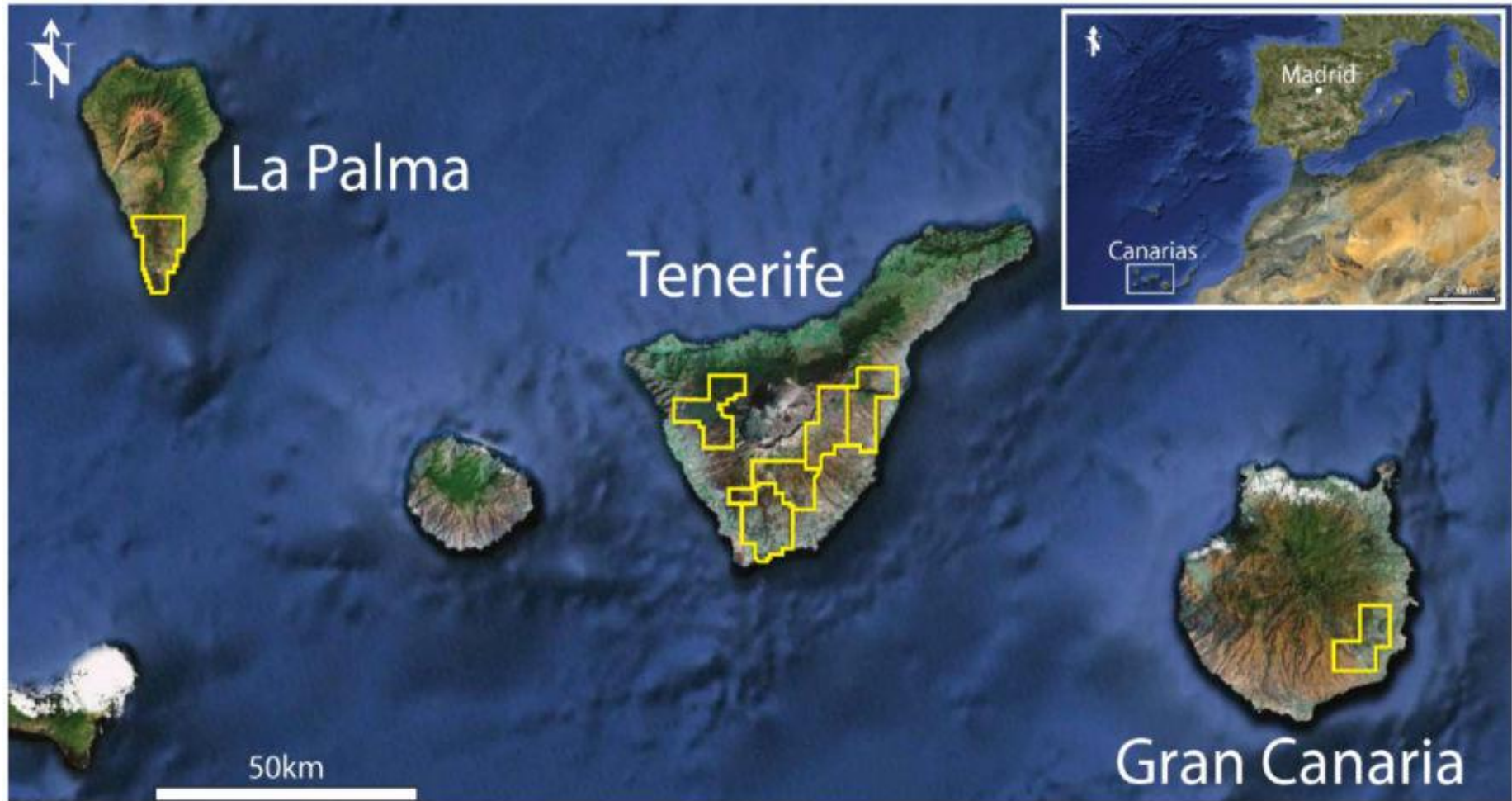


## Proyecto GEOTHERCAN

- **Proyecto:** GEOTHERCAN "Desarrollo de modelos 3D para la caracterización de yacimientos geotermiales en el subsuelo de Canarias mediante el uso combinado de métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos innovadores"
- **Presupuesto:** 1.730.562,63 €
- **Socios:**
  - Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) = 929.036,63 €
  - Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) = 251.766,00 €
  - Universidad de La Laguna (ULL) = 52.698,00 €
  - Universidad de Barcelona (UB) = 252.252,00 €
  - PETRATHERM (Australia) = 244.800,00 €
  - **Universidad de Tokio (Japón)**
- **Aportaciones:**
  - Plan Nacional de I+D 2008-2011 = 729.335,97 €
  - Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) = 605.361,06 €
  - Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) = **151.065,60 €**
  - PETRATHERM (Australia) = 244.800,00 €

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Proyecto GEOTHERCAN



Dominios mineros Canarias - Petratherm España

# "Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"

Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Proyecto GEOTHERCAN

Surv Geophys  
DOI 10.1007/s10712-015-9320-8

### Diffuse Helium and Hydrogen Degassing to Reveal Hidden Geothermal Resources in Oceanic Volcanic Islands: The Canarian Archipelago Case Study

Fátima Rodríguez · Nemesio M. Pérez · Eleazar Padrón · Gladys Melián · Pedro A. Hernández · María Asensio-Ramos · Samara Dionis · Gabriel López · Rayco Marrero · Germán D. Padilla · José Barrancos · Raúl Hidalgo

Received: 22 July 2014 / Accepted: 6 February 2015  
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2015

**Abstract** We report herein the results of soil gas geochemistry studies, focused mainly on nonreactive and/or highly mobile gases such as He and H<sub>2</sub>, in five mining licenses at Tenerife and Gran Canaria, Canary Islands, Spain, during 2011–2014. The primary objective was to sort the possible geothermal potential of these five mining licenses, thus reducing the uncertainty inherent to the selection of the areas with highest geothermal potential for future exploration works. By combining the overall information obtained by the statistical–graphical analysis of the soil He and H<sub>2</sub> data, the spatial distribution of soil gas concentrations and the analysis of selected chemical ratios of the soil gas to evaluate the influence of deep-seating degassing, two of the five mining licenses (*Garehagua* and *Abeque*, both located in Tenerife Island) seemed to show the highest geothermal potential. These results will be useful for future implementation and development of geothermal energy in the Canaries, the only Spanish territory with potential high-enthalpy geothermal resources, thus the most promising area for high-enthalpy geothermal installations.

F. Rodríguez (✉) · N. M. Pérez · E. Padrón · G. Melián · P. A. Hernández · M. Asensio-Ramos · S. Dionis · G. López · R. Marrero · G. D. Padilla · J. Barrancos  
Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN), 38400 Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain  
e-mail: fatima@iteres

N. M. Pérez · E. Padrón · G. Melián · P. A. Hernández · R. Marrero · G. D. Padilla · J. Barrancos  
Environmental Research Division, Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), 38600 Granadilla de Abona, Tenerife, Canary Islands, Spain

N. M. Pérez · E. Padrón · G. Melián · P. A. Hernández  
Agencia Insular de Energía de Tenerife (AIET), 38600 Granadilla de Abona, Tenerife, Canary Islands, Spain

**Present Address:**  
R. Marrero  
Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Alfragide, 2610-999 Lisbon, Portugal

R. Hidalgo  
EurGeol, La Esperanza 2, pta 9, 21200 Aracena, Huelva, Spain

Published online: 13 March 2015

Springer

Surv Geophys

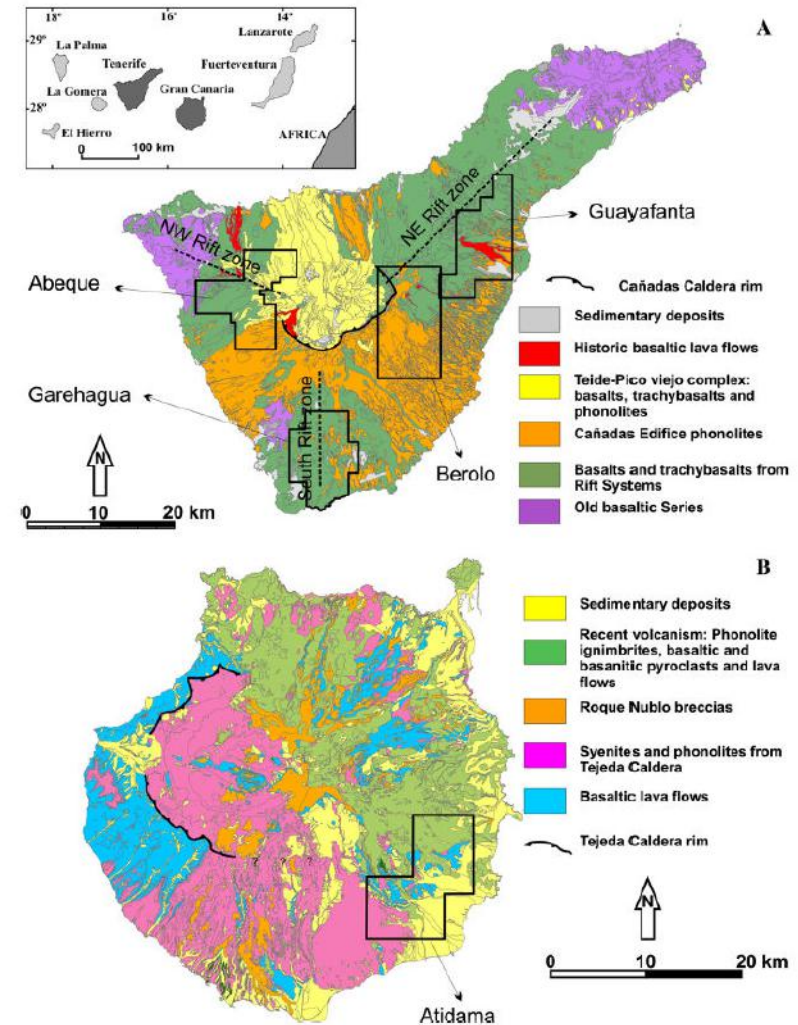


Fig. 1 Geographic location of the Canary Islands and simplified geological maps (modified from IGME, 2011) of a Tenerife, with the location of the four mining licenses (*Garehagua*, *Berolo*, *Guayafanta* and *Abeque*) studied for geothermal exploration purposes and b Gran Canaria with the location of *Atidama*, the mining license studied for geothermal exploration purposes on that island

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
 Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN

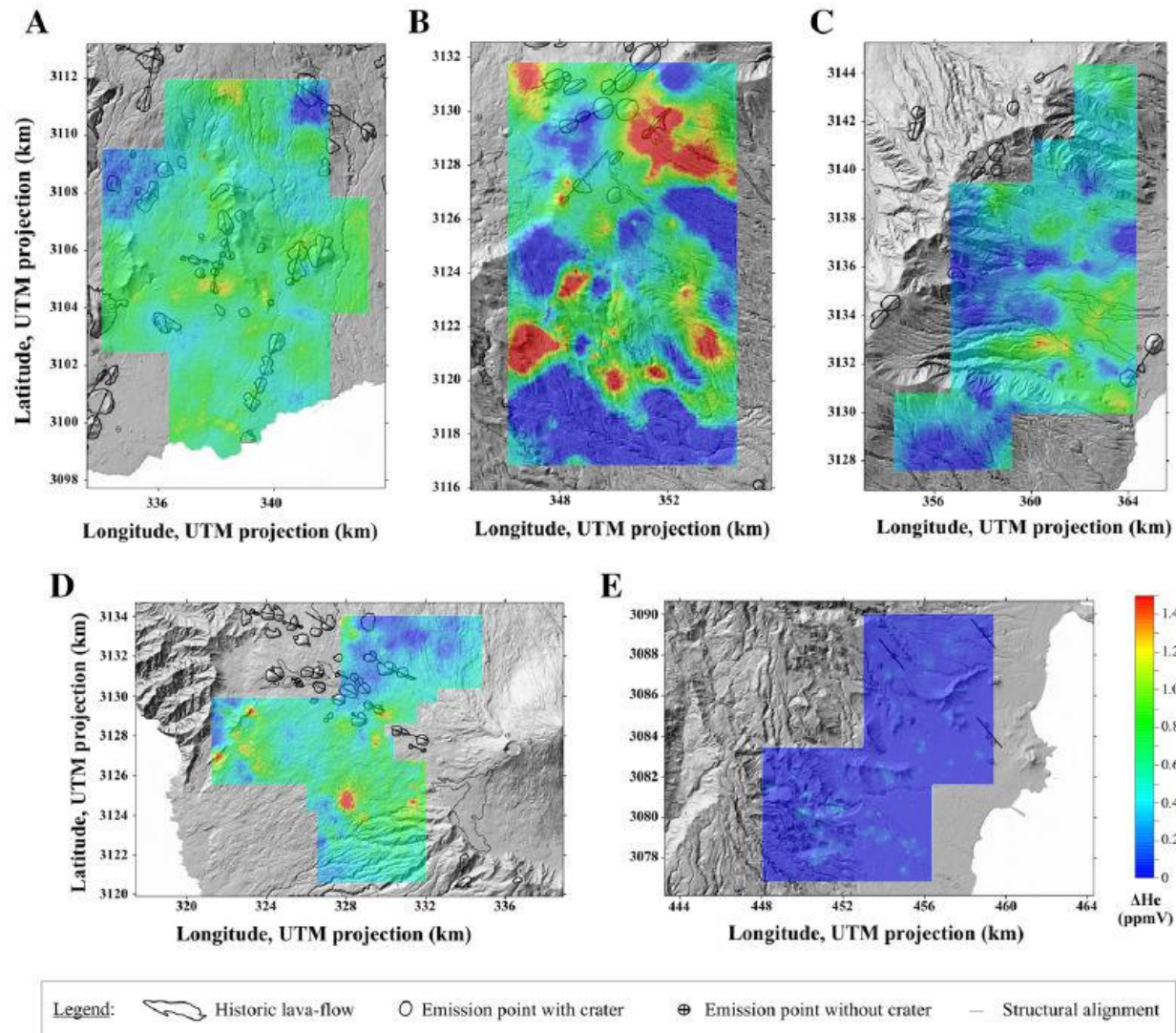
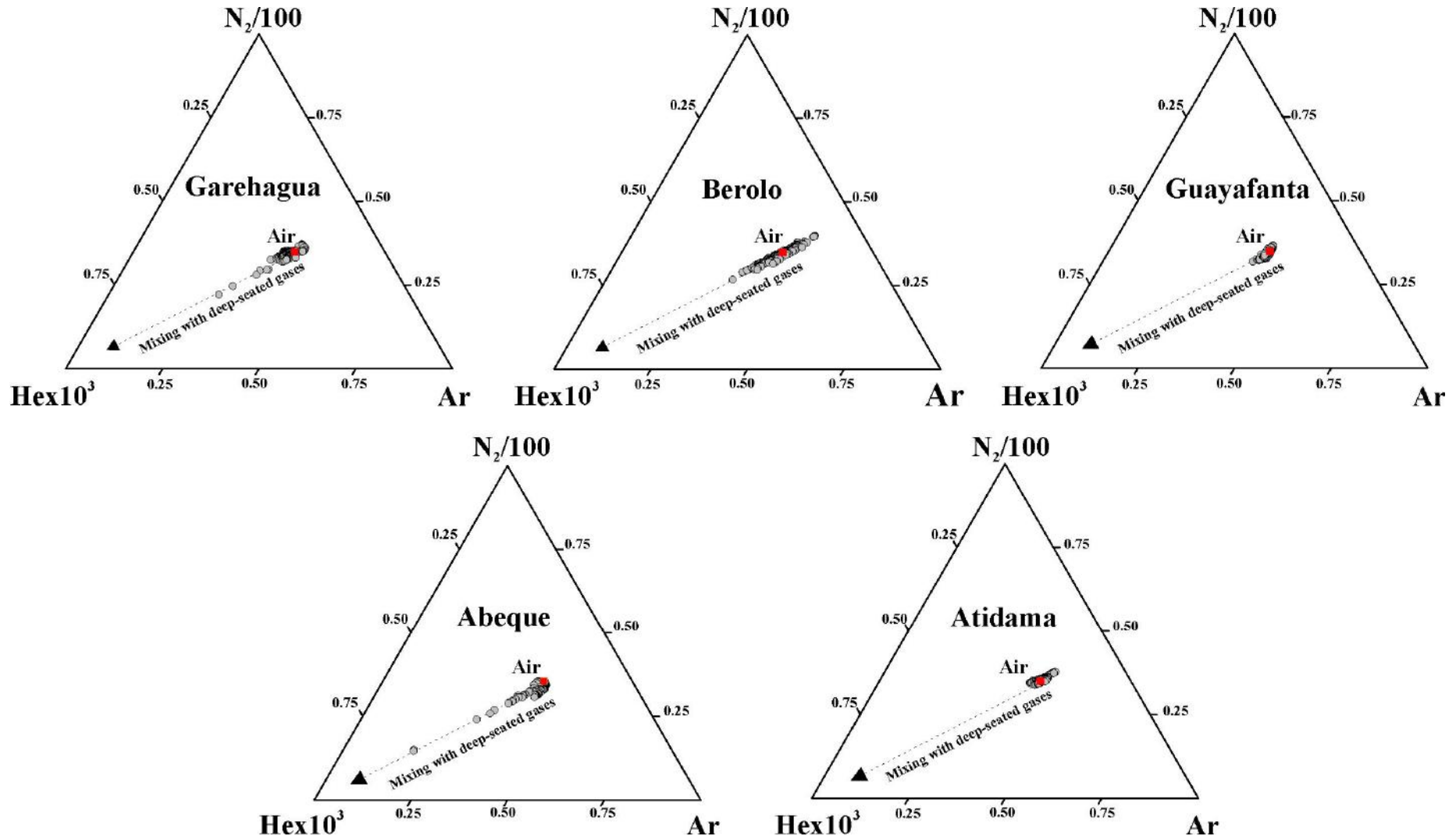


Fig. 4 Spatial distributions of soil  $\Delta\text{He}$  at *Garehagua* (a), *Berolo* (b), *Guayafanta* (c), *Abeque* (d) and *Atidama* (e) mining licenses, constructed by the sGs algorithm

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
 Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN

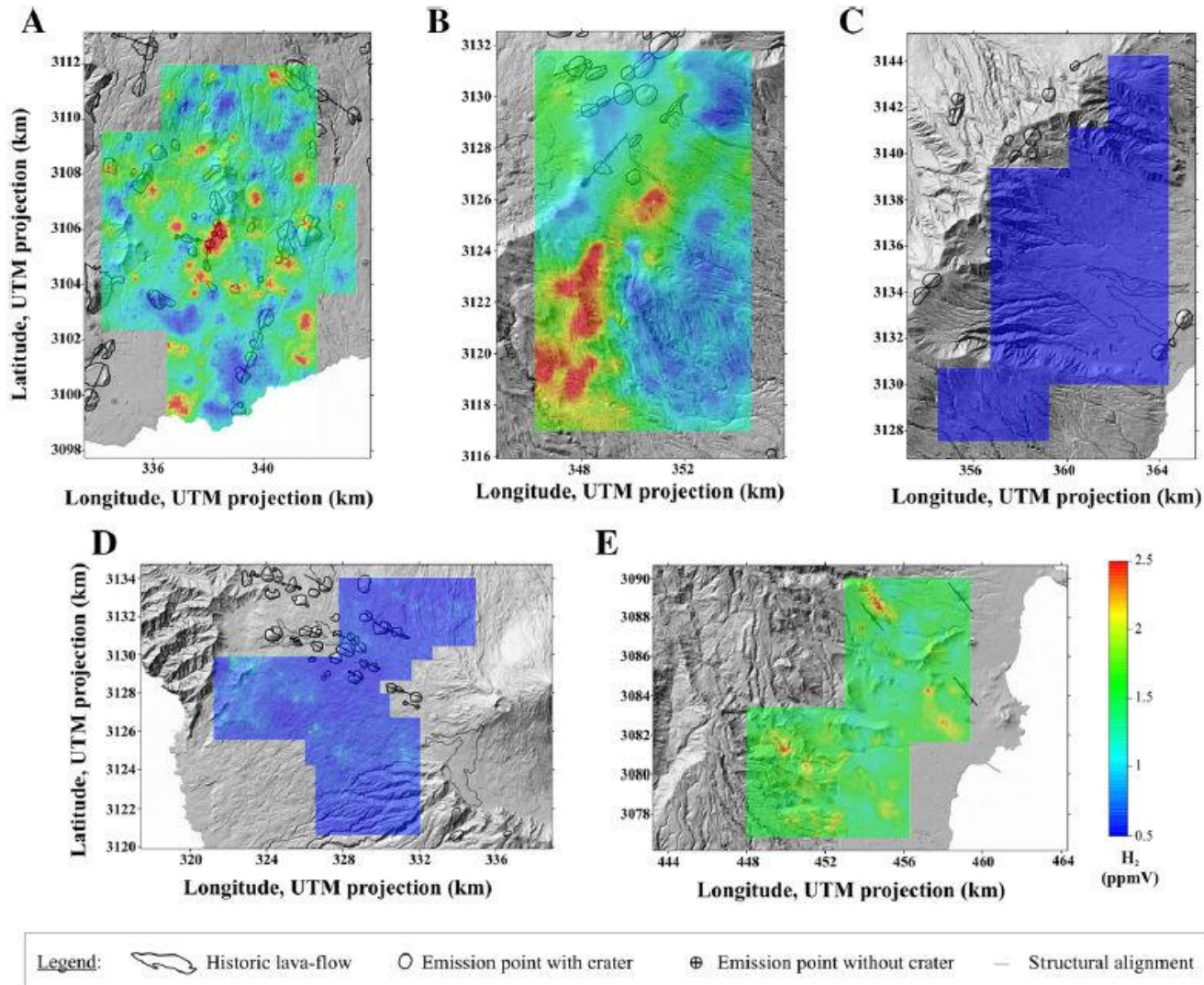
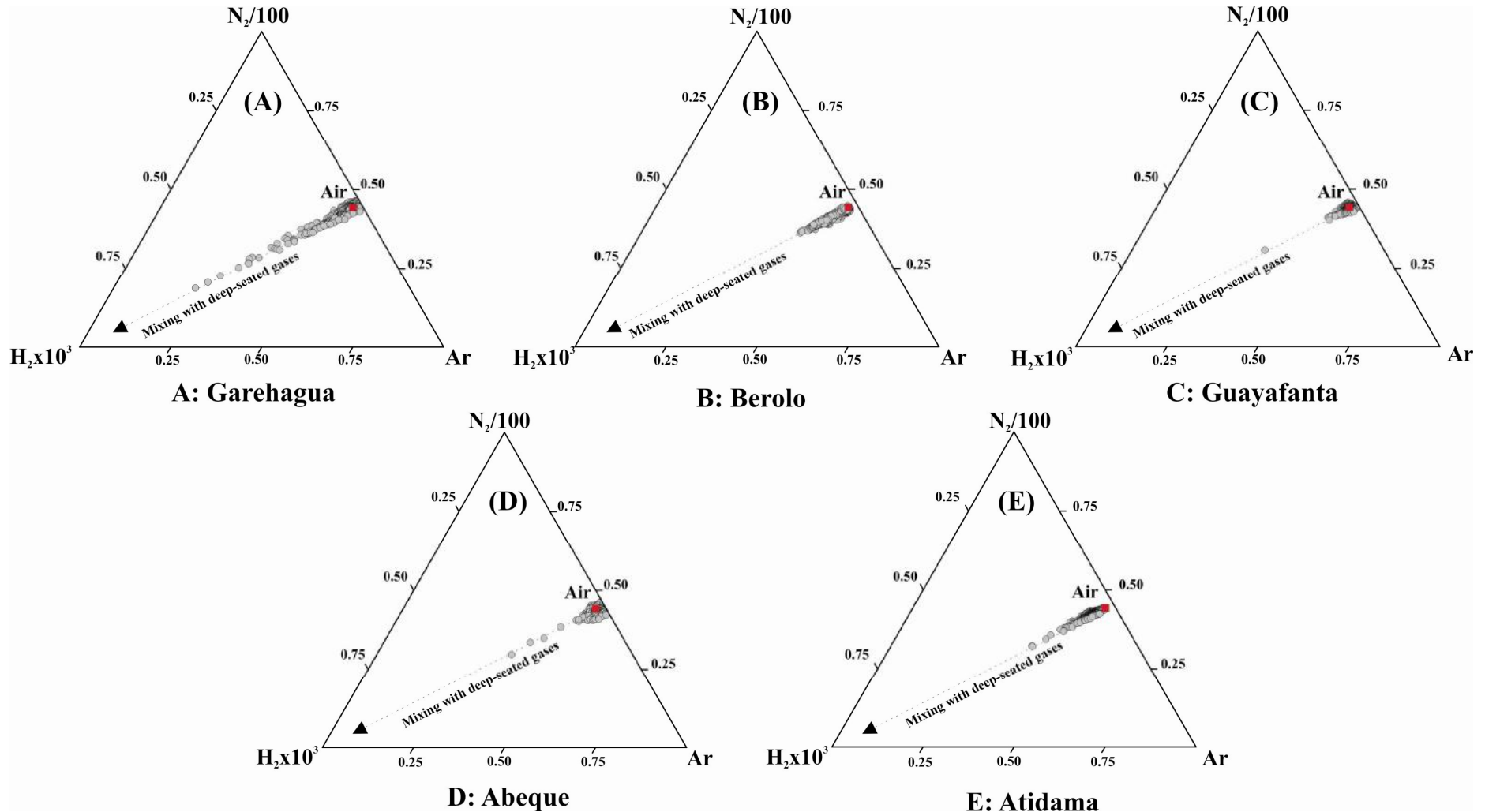


Fig. 6 Spatial distributions of soil H<sub>2</sub> at *Garehagua* (a), *Berolo* (b), *Guayafanta* (c), *Abeque* (d) and *Atidama* (e) mining licenses, constructed by the sGs algorithm



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN



**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
**Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)**

## Proyecto GEOTHERCAN

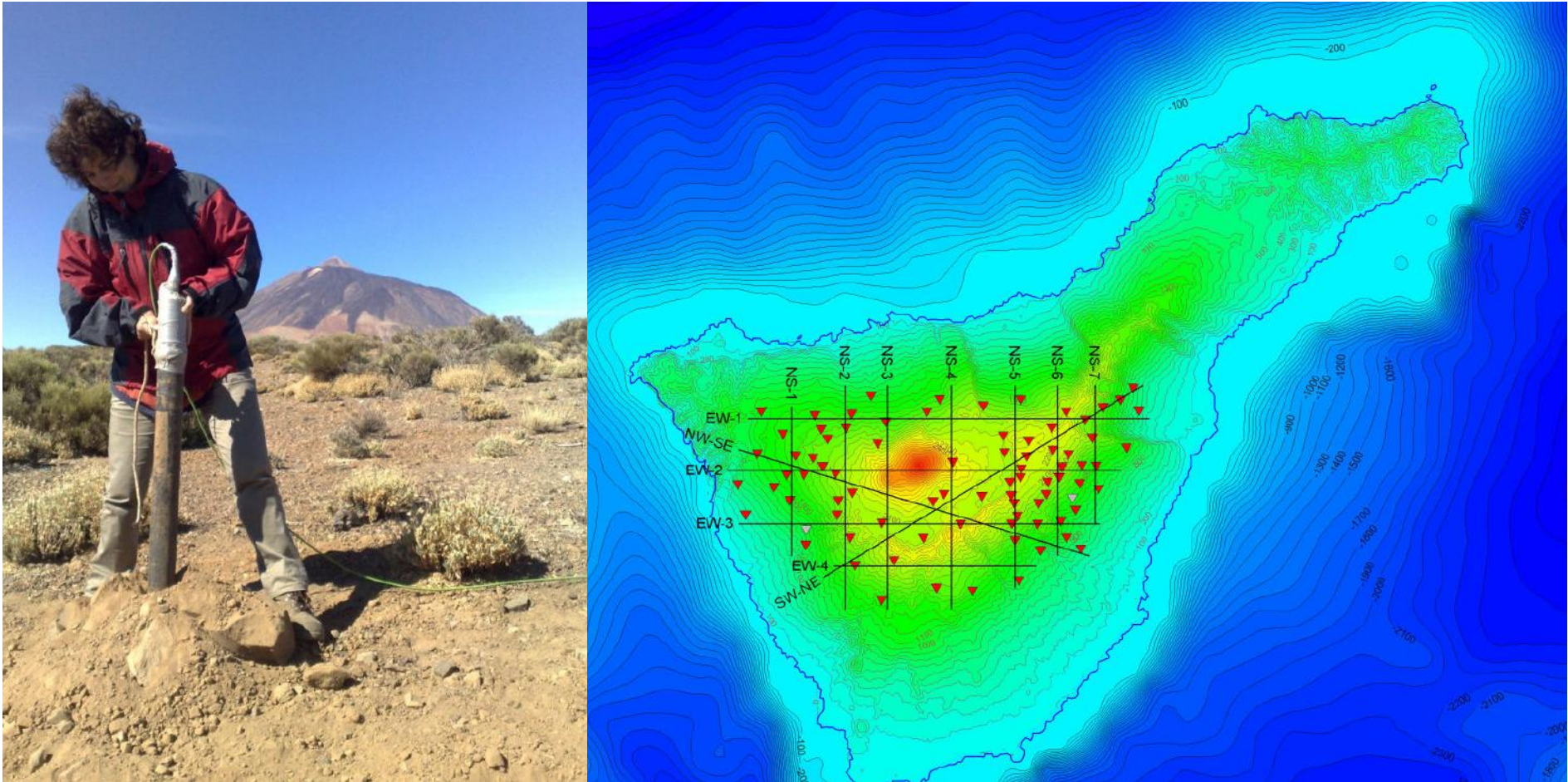
**Table 2** Geochemical and geographical characteristics of the mining licenses

Islands	Tenerife				Gran Canaria
	Abeque	Garehagua	Berolo	Guayafanta	Atidama
Geothermal mining grid					
Area (km <sup>2</sup> )	102	100	130	103	104
# Sampling sites	406	557	577	541	600
He mean peak pop. ( $\times$ background pop.)	1.57	1.70	1.53	–	1.15
Value for He <sup>a</sup>	2	1	3	5	4
H <sub>2</sub> mean peak pop. ( $\times$ background pop.)	8.23	18.84	3.25	3.24	3.79
Value for H <sub>2</sub> <sup>a</sup>	2	1	4	5	3
He/Ar ratio ( $>3 \times$ air value) (%)	0.57	0.18	0.00	0.00	0.00
Value for He/Ar <sup>a</sup>	1	2	5	5	5
He/Ne ratio ( $>3 \times$ air value) (%)	0.80	0.18	0.00	0.00	0.00
Value for He/Ne <sup>a</sup>	1	2	5	5	5
H <sub>2</sub> /Ar ratio ( $>3 \times$ air value) (%)	2.00	19.96	39.64	1.11	41.97
Value for H <sub>2</sub> /Ar <sup>a</sup>	4	3	2	5	1
Value for N <sub>2</sub> –Ar–He diagram <sup>a</sup>	1	2	2	3	3
Value for N <sub>2</sub> –Ar–H <sub>2</sub> diagram <sup>a</sup>	2	1	2	3	3
<b>Total geochemical values</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>24</b>

<sup>a</sup> Geochemical values from 1 (best value) to 5 (worst value)

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

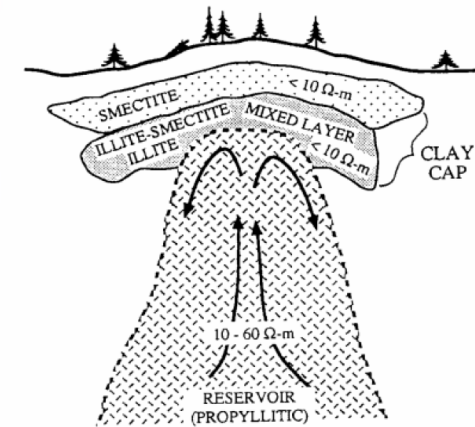
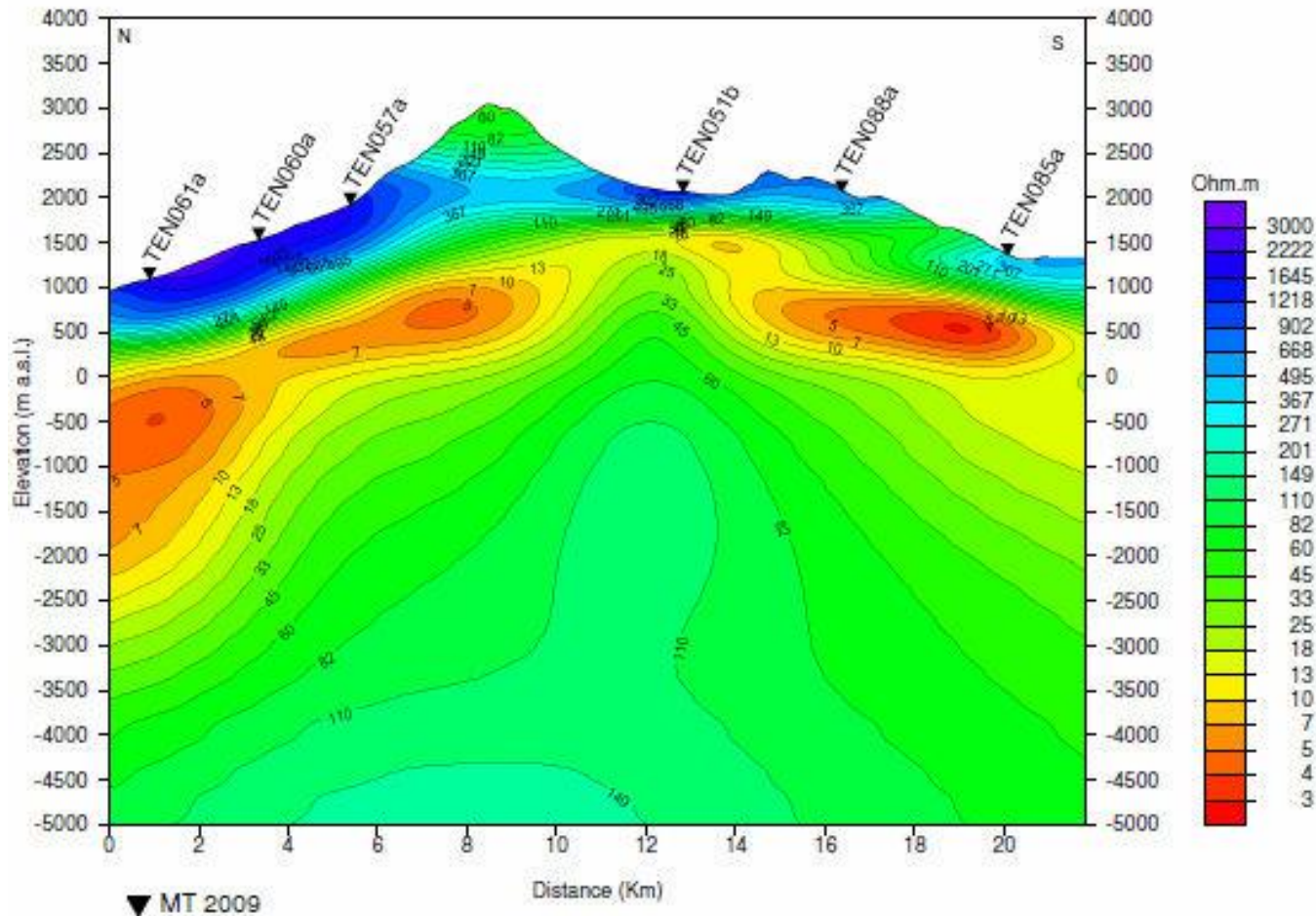
## Proyecto GEOTHERCAN



**Geophysical methods for geothermal exploration (magnetotelluric)**

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN

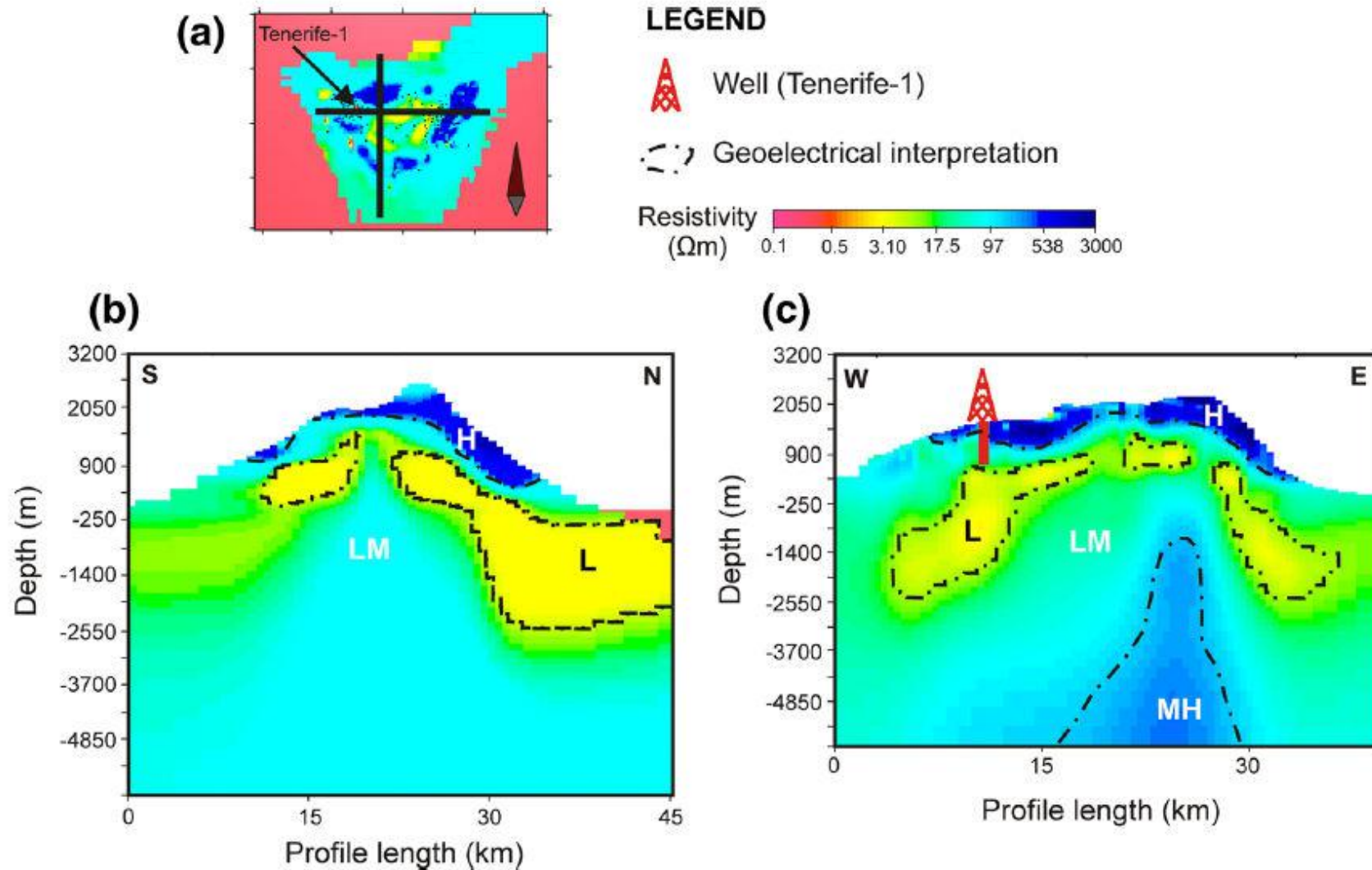


**Geophysical methods for geothermal exploration (magnetotelluric)**

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

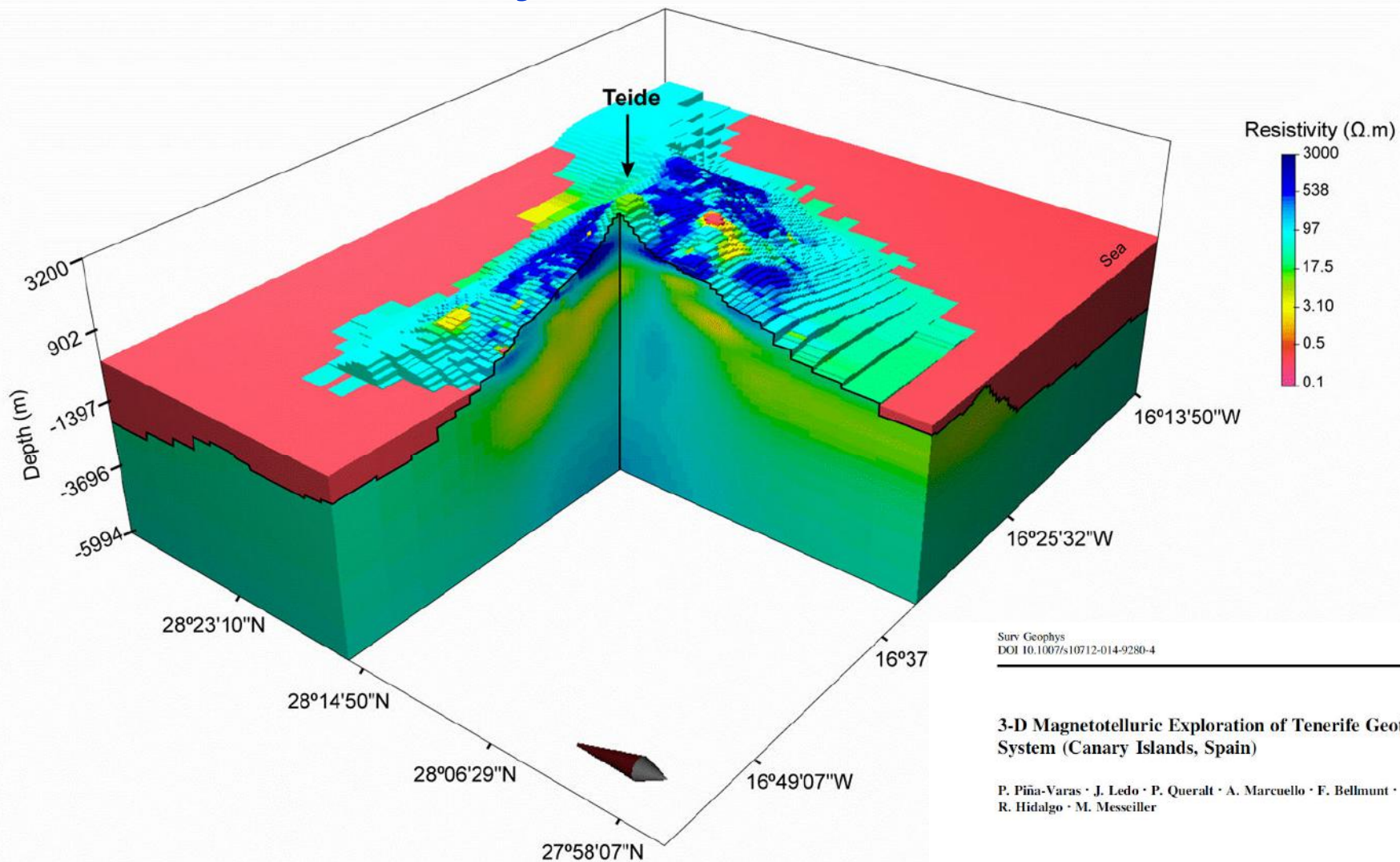
# Proyecto GEOTHERCAN

Surv Geophys



"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN



**Geophysical methods for geothermal exploration (MT)**

Received: 11 August 2013 / Accepted: 22 January 2014  
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

**Abstract** The resistivity structure of the Tenerife geothermal system has been deter-



## Surface geochemical and geophysical studies for geothermal exploration at the southern volcanic rift zone of Tenerife, Canary Islands, Spain

Fátima Rodríguez<sup>a,\*</sup>, Nemesio M. Pérez<sup>a,b,c</sup>, Eleazar Padrón<sup>a,b,c</sup>, Gladys Melián<sup>a,b,c</sup>, Perla Piña-Varas<sup>d,1</sup>, Samara Dionis<sup>a</sup>, José Barrancos<sup>a,b</sup>, Germán D. Padilla<sup>a,b</sup>, Pedro A. Hernández<sup>a,b,c</sup>, Rayco Marrero<sup>a,b,2</sup>, Juan José Leodo<sup>a,d</sup>, Fabián Bellmunt<sup>d</sup>, Pilar Queralt<sup>d</sup>, Alejandro Marcuello<sup>d</sup>, Raúl Hidalgo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN), 38470 Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain  
<sup>b</sup> Environmental Research Division, IER, 38600 Granadilla de Abona, Tenerife, Canary Islands, Spain  
<sup>c</sup> Agencia Insular de Energía de Tenerife (AIET), 38600 Granadilla de Abona, Tenerife, Canary Islands, Spain  
<sup>d</sup> Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, GEOMODELS Research Institute, Universitat de Barcelona, Martí Franqués s/n, 08028 Barcelona, Spain  
<sup>e</sup> EuroGeol, La Esperanza 2, pta 9, 28200 Aracena, Huelva, Spain

### ARTICLE INFO

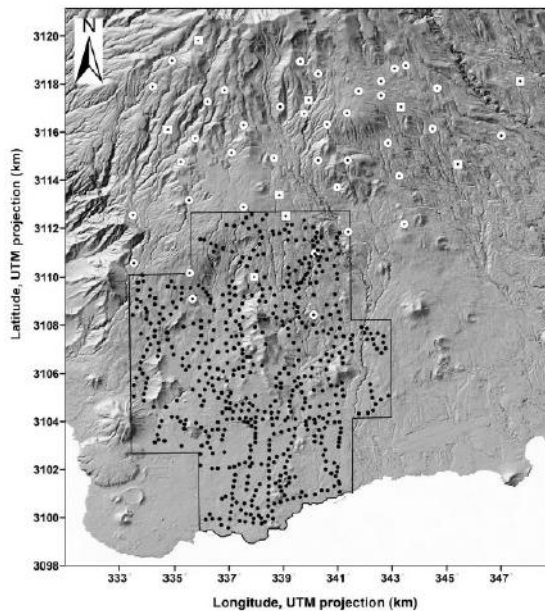
**Article history:**  
 Received 21 October 2014  
 Accepted 25 February 2015

**Keywords:**  
 Geothermal exploration  
 Soil gas survey  
 Diffuse degassing  
 3D Magnetotelluric  
 Tenerife  
 Canary Islands

### ABSTRACT

A joint geochemistry and magnetotellurics survey was carried out in the southern volcanic rift zone of Tenerife (Canary Islands, Spain) covering an area ~100 km<sup>2</sup> for geothermal exploration purposes. Soil CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S diffuse effluxes, <sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn activities, soil He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S concentrations and isotopic composition of CO<sub>2</sub> were measured in 557 selected sampling sites. Magnetotelluric survey (MT) was carried out in the northern part of the study area. A total of 47 MT sites were surveyed and a new 3-D resistivity model was obtained. The observed geochemical anomalies at the soil surface have allowed the detection of areas of deep-seated gas emanations as well as the identification of high vertical permeability volcano-tectonic features in the study area. The resistivity distribution model shows a prominent low-resistivity structure interpreted as a clay alteration cap of variable thickness that might play a role on the mechanism of upward motion of deep-seated gases from the volcano-geothermal system. This is supported by positive correlation between thickness of clay alteration cap and helium emission.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.



**Legend**  
 • Geochemical sampling sites  
 □ Caranagua mining grid  
 ○ MT sites  
 ○ MT\_Southern Rift  
 □ MT\_Piña-Varas et al. (2014)

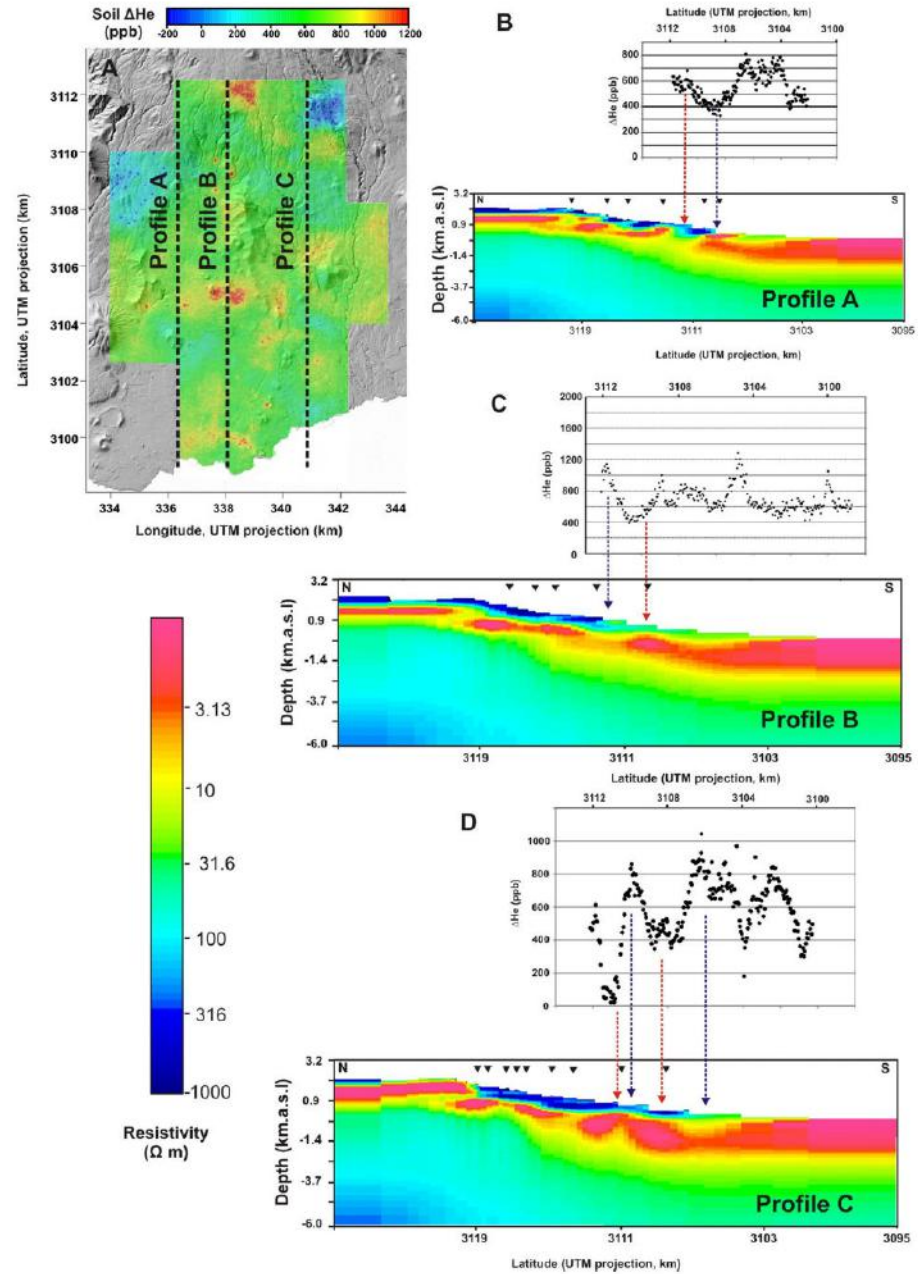


Fig. 9. (A)  $\Delta$ He map showing the location of the N–S resistivity cross-section corresponding to three N–S profiles. (B), (C) and (D) depict values of soil  $\Delta$ He and results of the final 3-D resistivity model along A, B and C vertical N–S cross-sections respectively. Blue and red dashed arrows indicate observed positive and negative correlation between highest values of  $\Delta$ He and clay cap discontinuities and lowest values of  $\Delta$ He and the thicker clay cap, respectively. Inverse black triangles show the location of MT sites within each profile. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of the article.)

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
 Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN



## Geophysical Research Letters

### RESEARCH LETTER

10.1002/2015GL063042

#### Key Points:

- Understanding the origin of Las Cañadas caldera by 3-D MT inversion
- Role of the hydrothermal alteration in the Las Cañadas caldera formation
- New 3-D inversion resistivity model of Tenerife island

#### Supporting Information:

- Figures S1 and S2

#### Correspondence to:

P. Piña-Varas,  
 ppina@geomatica.com

#### Citation:

Piña-Varas, P., J. Ledo, P. Querak, A. Marcuello, F. Bellmunt, X. Ogaya, N. Pérez, and J. A. Rodríguez-Losada (2015), Vertical collapse origin of Las Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands) revealed by 3-D magnetotelluric inversion, *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2015GL063042.

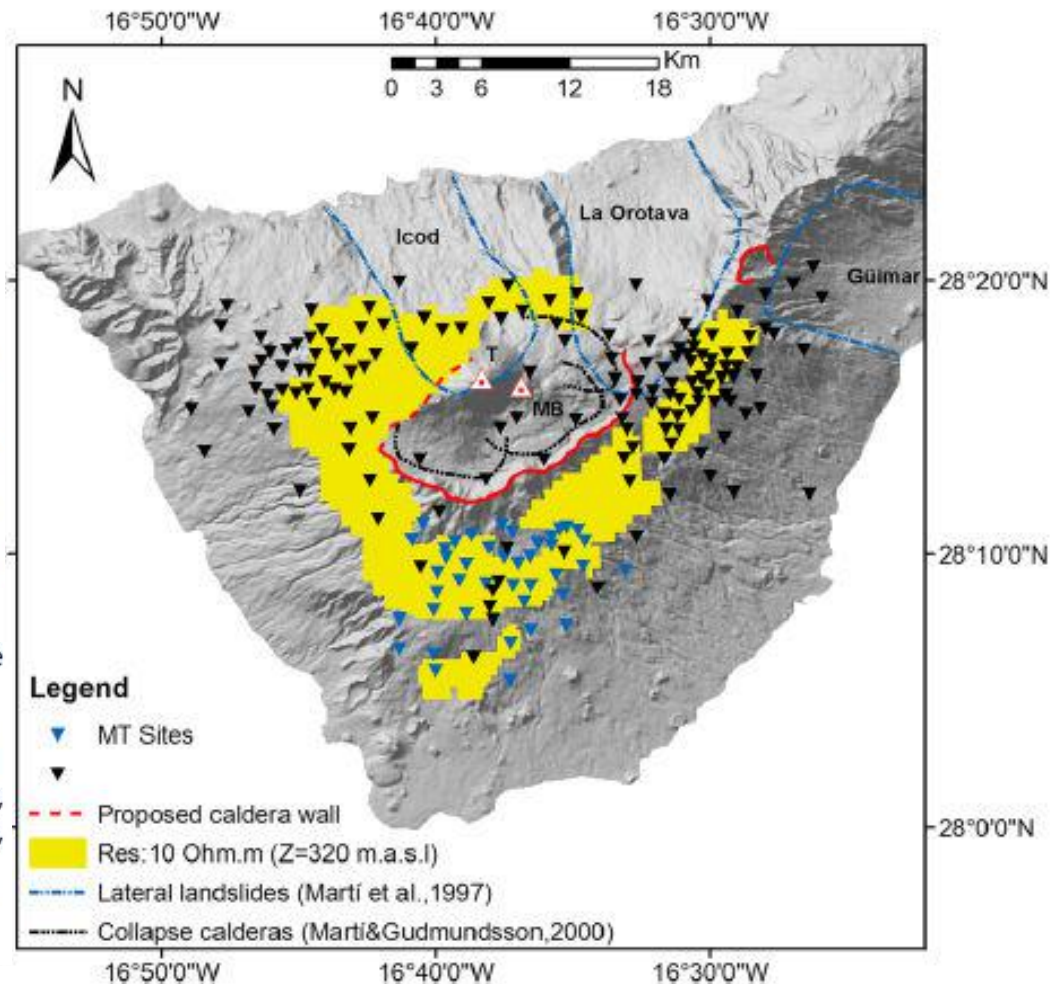
Received 6 JAN 2015  
 Accepted 28 FEB 2015  
 Accepted article online 4 MAR 2015

### Vertical collapse origin of Las Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands) revealed by 3-D magnetotelluric inversion

P. Piña-Varas<sup>1,2</sup>, J. Ledo<sup>1,3</sup>, P. Querak<sup>1</sup>, A. Marcuello<sup>1</sup>, F. Bellmunt<sup>1</sup>, X. Ogaya<sup>4</sup>, N. Pérez<sup>5,5</sup>, and J. A. Rodríguez-Losada<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>GEOMODELS Research Institute, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain, <sup>2</sup>Now at the Centre for Exploration Targeting, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia, <sup>3</sup>Instituto Volcanológico de Canarias, Puerto de La Cruz, Tenerife, Spain, <sup>4</sup>Dublin Institute for Advanced Studies, School of Cosmic Physics, Dublin, Ireland, <sup>5</sup>Environmental Research Division, Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, Granadilla de Abona, Tenerife, Spain, <sup>6</sup>Departament de Biologia Animal, Edafologia y Geologia, Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain

**Abstract** Tenerife island geology is one of the most complexes of the Canaries archipelago. This complexity is evidenced by the existing controversy regarding the lateral or vertical collapse origin of the Las Cañadas caldera. The resistivity structure of the Las Cañadas caldera has been determined by the 3-D inversion of 188 broadband magnetotelluric data. The resistivity distribution obtained in the final model shows clear evidences of the presence of a vertical structure under the Teide, associated to the buried northern wall of the caldera. Additionally, the characteristics of the main resistivity structure, a rings-shaped low-resistivity body (<10 Ω m) interpreted as a hydrothermal clay alteration cap, would point out the presence of a handwall for the Icod Valley lateral landslide located under the Teide, but not in the southern caldera wall (current wall). All these support the vertical collapse hypothesis to explain the origin of the Las Cañadas caldera.

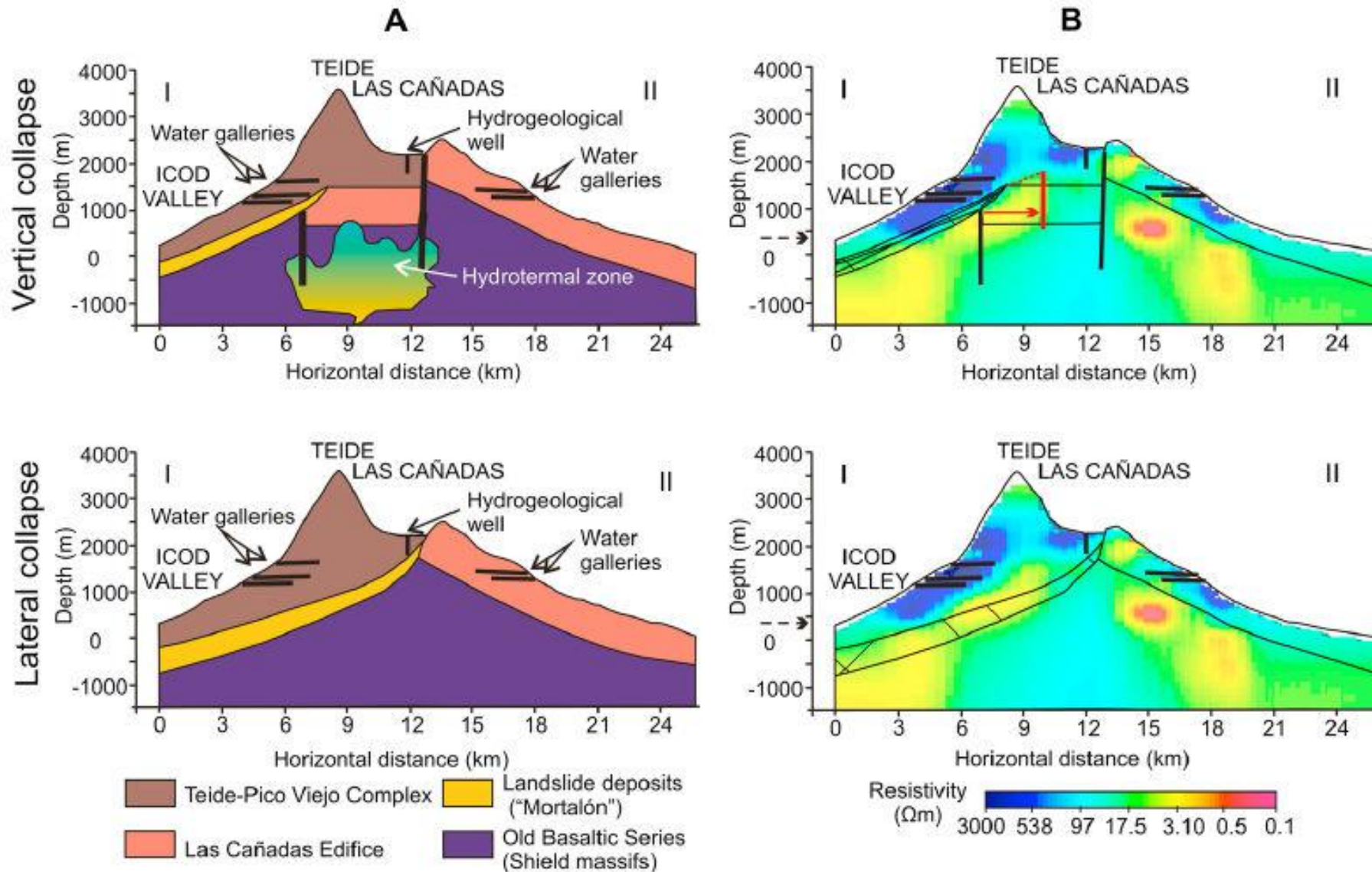


**Figure 3.** Horizontal slice through the 3-D resistivity model at 320 m above sea level (asl). Figure shows the clay cap ( $\leq 10 \Omega \text{ m}$ ). Blue-dashed lines correspond to the lateral landslides proposed by *Martí et al.* [1997]. Red solid lines correspond to the current Las Cañadas caldera wall (left) and Diego Hernandez caldera (right). Black-dashed lines correspond to Ucanca, Guajara, and Diego Hernandez collapse calderas [Martí and Gudmundsson, 2000]. White triangles correspond to Teide (left) and Montaña Blanca (right). Inverted triangles correspond to MT sites: black = previous study [Piña-Varas et al., 2014] and blue = new MT data.



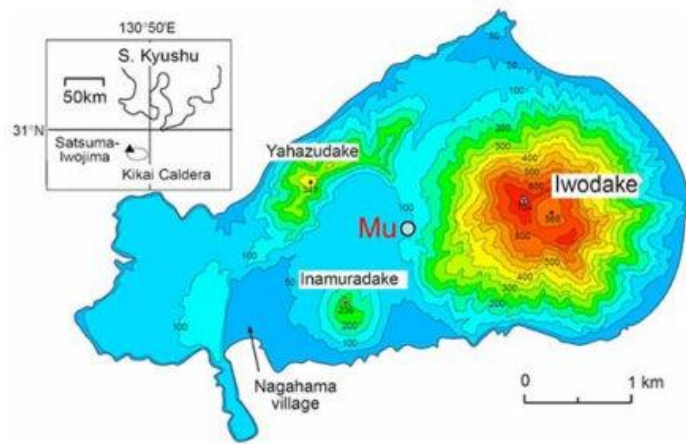
"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
 Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

# Proyecto GEOTHERCAN

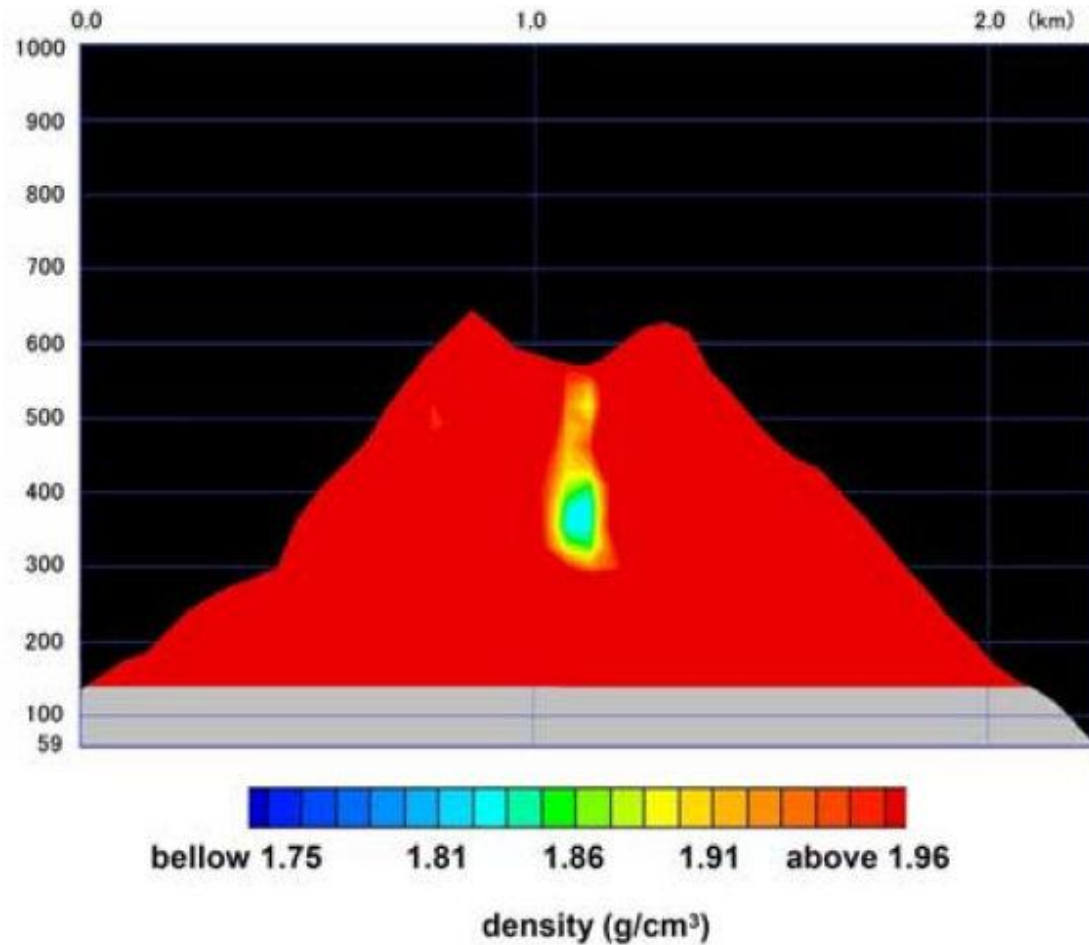


"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Proyecto GEOTHERCAN



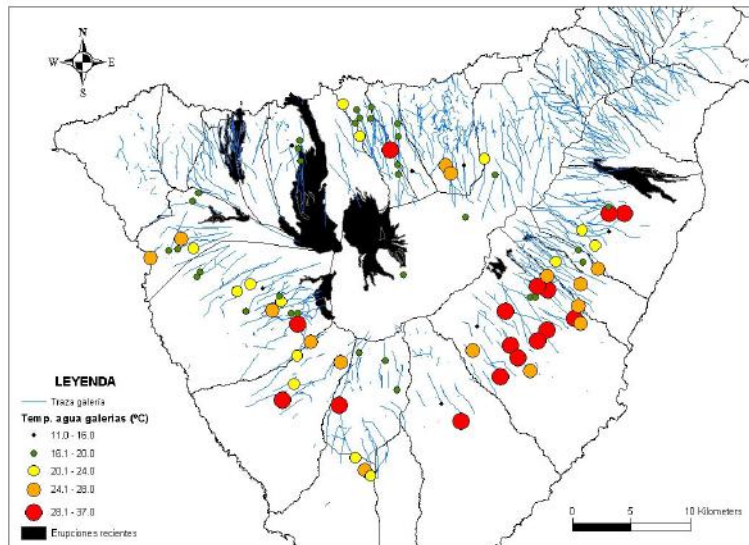
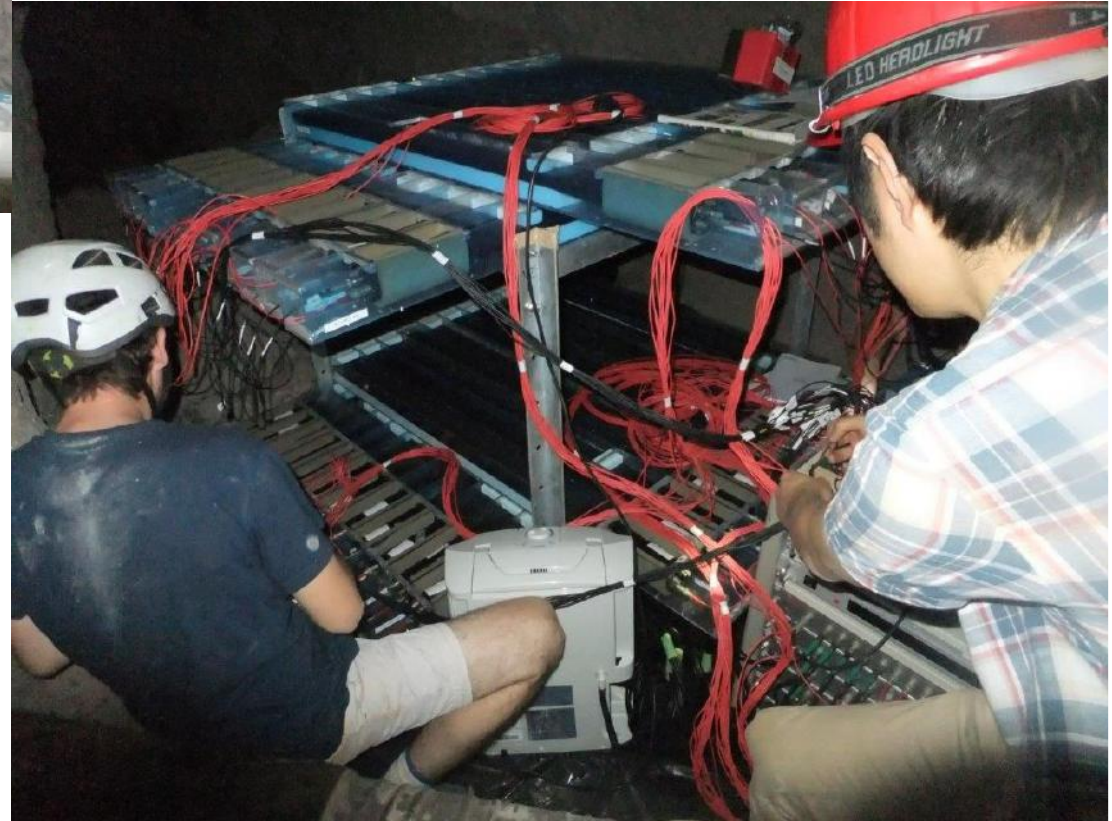
Satsuma-Iwojima  
Japón (2008)



Geophysical methods for geothermal exploration (moun radiography)

**"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"**  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

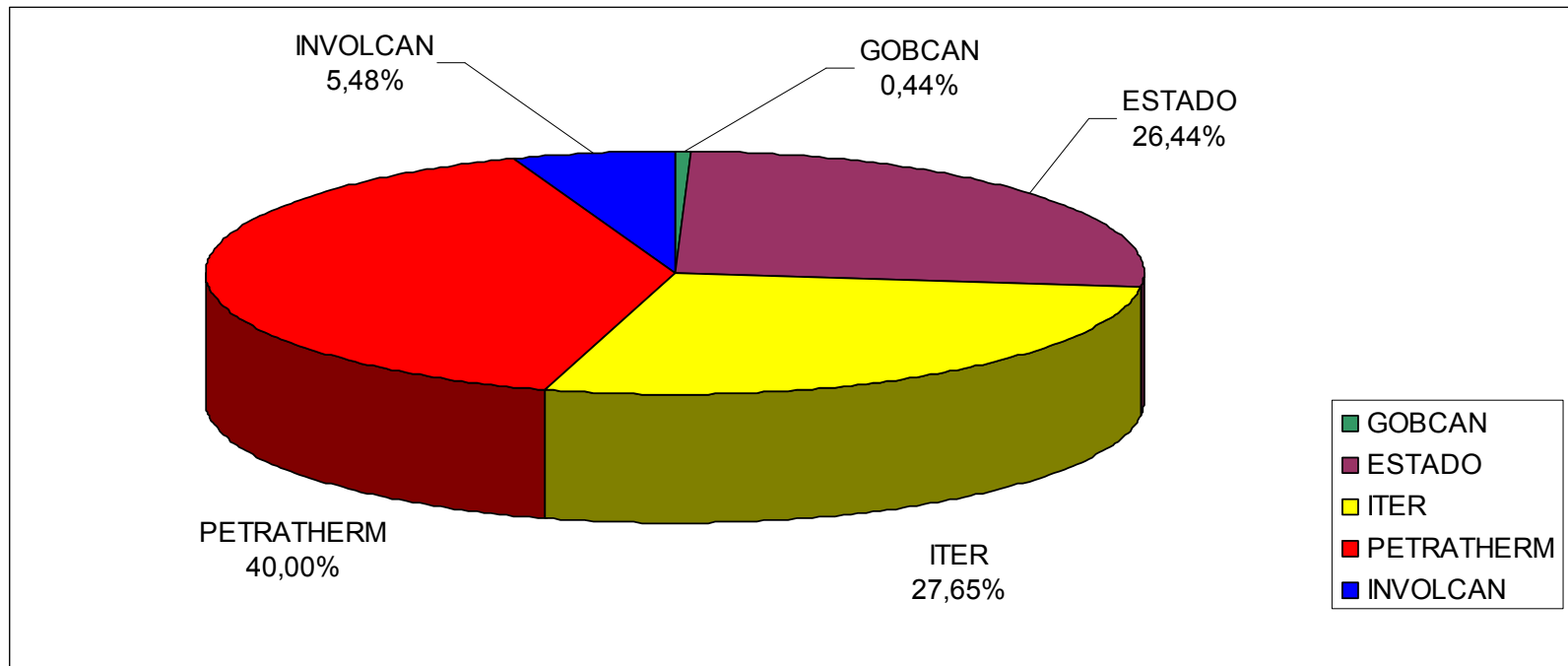
# Proyecto GEOTHERCAN



**Geophysical methods for geothermal exploration (moun radiography)**

"Desarrollo de la geotermia en Canarias: una apuesta por la sostenibilidad"  
Santa Cruz de Tenerife (28/07/2015) & Las Palmas de Gran Canaria (29/07/2015)

## Inversiones económicas para la búsqueda de recursos geotérmicos de alta entalpía en las Islas Canarias de 2007 a 2014 (~ 2.7 M €)



- 1º Inversor (40,00%): **Petratherm (empresa privada Hispano-Australiana)**
- 2º Inversor (33,13%): **Cabildo de Tenerife (a través del ITER & INVOLCAN)**
- 3º Inversor (26,44%): **Plan Nacional de I+D+i**
- 4º Inversor ( 0,44%): **Consejería de Industria & Energía, GOBCAN**

El desarrollo de la geotermia en Canarias para la producción de energía eléctrica y contribuir al desarrollo sostenible de esta comunidad es un problema de **I + D**,



El desarrollo de la geotermia en Canarias para la producción de energía eléctrica y contribuir al desarrollo sostenible de esta comunidad es un problema de **I + D**, pero no de Investigación + Desarrollo, sino de **Ignorancia + Desidia**



El proceso volcánico  
representa una  
amenaza para el  
desarrollo sostenible  
en territorios  
volcánicos activos,  
pero también es una  
importante fuente de  
vida y de numerosos  
beneficios!

**Por lo tanto,  
contaminemos a  
nuestra sociedad de  
conocimiento &  
ilusión para realizar  
una mejor gestión  
integral del  
fenómeno volcánico!**

**Muchas gracias !**

