

Las aguas subterráneas en la  
**Directiva Marco de Aguas:**  
programas de seguimiento en  
**Tenerife**

## Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife

Javier Lillo Ramos (URJC, IMDEA-agua)  
Alvaro Márquez González (URJC, IMDEA-agua)



## INDICE

- I. **Hidroquímica de aguas subterráneas en terrenos volcánicos**
  1. Factores
  2. Características hidroquímicas
  3. Modelos conceptuales hidrogeológicos
- II. **El caso de Tenerife**
  1. Geología
  2. Modelo conceptual hidrogeológico
  3. Zonificación hidrogeológica
  4. Caracterización hidroquímica (datos AQUAMAC)
  5. Interpretación de resultados
  6. Conclusiones

Agradecimientos

**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**



## I.1.Factores

- Los factores que controlan la hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos son:
  - Litología
  - Estructura (tectónica y deposicional)
  - Flujo (permeabilidad, conductividad hidráulica, gradiente)
  - Procesos de interacción agua-roca
  - Temperatura
  - Procesos de interacción agua-gas
  - Procesos de mezcla de aguas (de recarga, de sistemas hidrotermales, marinas)
  - Tiempo de residencia

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## I.1.Factores

- Litología:
  - La composición mineralógica controla los mecanismos de transferencia en el sistema (hidrólisis, disolución-precipitación, adsorción)
  - La composición química condiciona la concentración de las especies iónicas presentes en el agua
  - La textura y fábrica de la roca controlan la permeabilidad y la conductividad hidráulica. Las rocas piroclásticas son más porosas y conductoras que las coladas

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## I.1.Factores

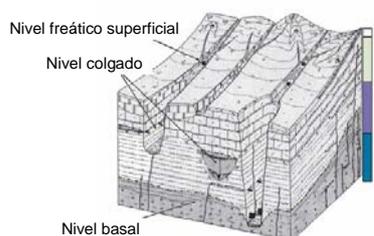
- Estructura:
  - Tipos de estructuras:
    - Planos de fracturas, zonas de falla, planos de despegue en deslizamientos
    - Diques
    - Planos de contacto y estructuras deposicionales entre unidades efusivas
  - Condiciona las zonas preferentes de flujo de agua y por tanto, la interacción agua-roca en su proximidad. También condiciona zonas de emisión de gases y flujos de aguas termales
  - Los diques, en caso de que no estén fracturados, constituyen barreras longitudinales (discontinuidad hidráulica)
  - La superposición de materiales de diferente naturaleza genera una **estructura multicapa heterógena** de conductividad muy variable en la en la horizontal y sobre todo, en la vertical

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## I.1.Factores

- Flujo (permeabilidad, conductividad hidráulica, gradiente):
  - La estructura multicapa puede estar cortada por fracturas, lo que produce una cierta conectividad entre los acuíferos, pero también lo puede estar por sistemas de diques que ejercen un efecto de barrera hidráulica
  - La estructura multicapa heterógena genera la aparición de acuíferos desconectados o colgados



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## I.1.Factores

- Temperatura:
  - Controla la solubilidad y especiación de determinadas sustancias
  - En terrenos volcánicos hay zonas con anomalías geotérmicas donde se pueden generar sistemas hidrotermales
  - Las aguas calientes tienen también una mayor capacidad de transportar determinados componentes químicos
- Procesos de interacción agua-roca:
  - Los procesos de transferencia química (hidrólisis, disolución-precipitación, intercambio iónico, reacciones redox, etc) pueden acelerarse o amplificarse por efecto de la temperatura y el contenido en gases. En general, un aumento de estos (p.e. sistemas hidrotermales) produce una mayor reactividad del agua
  - En macizos volcánicos, la alteración puede ser generalizada en zonas de alta conductividad hidráulica, o por el contrario estar muy localizada en planos y superficies de discontinuidad

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## I.1.Factores

- Procesos de interacción agua-gas:
  - El dióxido de carbono es el gas predominante en la desgasificación lenta de terrenos volcánicos
  - Además se encuentran otros gases como  $H_2S$ ,  $CH_4$
  - Gases como  $CO_2$  controla el pH del agua en el acuífero
  - La emisión de gases no necesariamente asocia un sistema hidrotermal
- Procesos de mezcla con aguas de diferente origen:
  - En islas volcánicas es frecuente que se produzcan mezclas de aguas de recarga (meteóricas) con aguas calientes de sistemas hidrotermales o con aguas marinas en zonas costeras
  - La presencia o contenidos altos de un componente químico en las aguas puede tener orígenes muy diferentes (p.e. B, Cl, etc)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



### I.1. Factores

- Tiempo de residencia:
  - En general, las aguas con un mayor tiempo de residencia tienden a ser más clorurado-sódicas

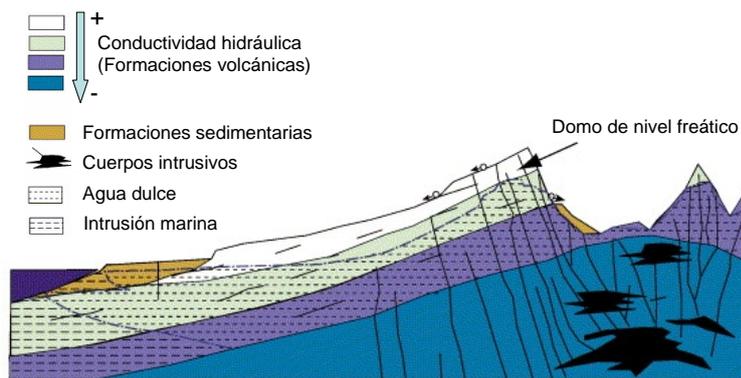


Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



### I.3. Modelos conceptuales hidrológicos

#### Modelo Canario



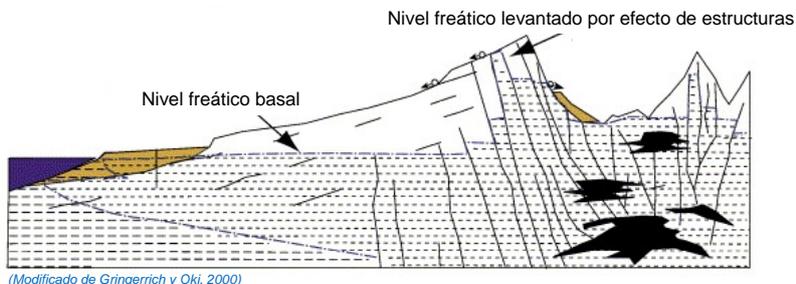
(Modificado de Custodio, 1988)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



### I.3. Modelos conceptuales hidrológicos

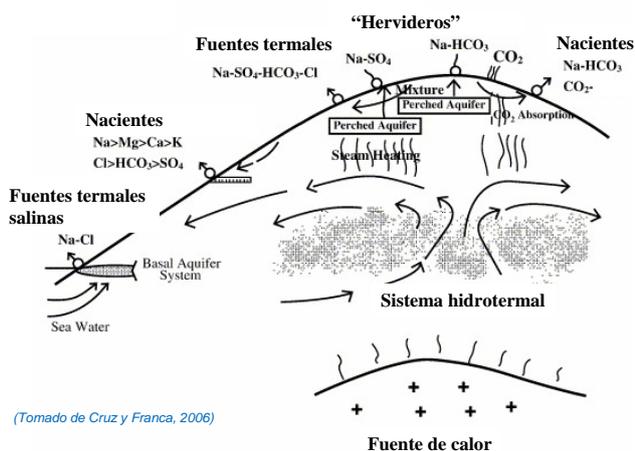
#### Modelo Hawaiano



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



### I.3. Modelos conceptuales hidrológicos

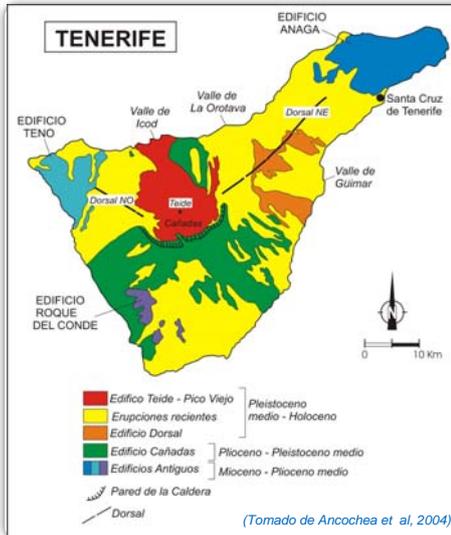


#### Modelo Azores

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.1.Geología

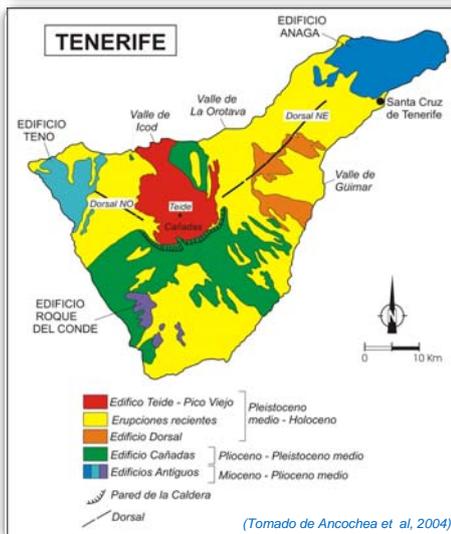


- Isla Volcánica (12 Ma-act.)
- Grandes unidades:
  - Edificios Antiguos
  - Edificio Cañadas
  - Edificios recientes:
    - Edificio Teide-Pico Viejo
    - Dorsal NE
    - Dorsal NO (Santiago del Teide)
    - Campos volcánicos del Sur

**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**



## II.1.Geología

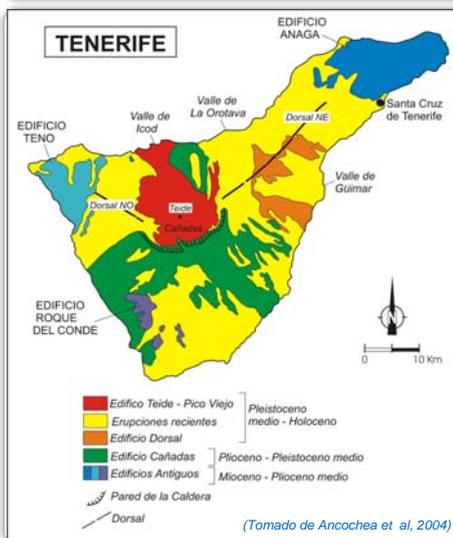


- Edificios Antiguos:
  - Anaga: Lavas, escorias basálticas, brechas volcanosedimentarias, diques básicos, pitones fonolíticos. Intensa fracturación
  - Teno: coladas, brechas y escorias basálticas. A techo, traquibasaltos y fonolitas
  - Roque del Conde: coladas basálticas y escorias. Algunas intrusiones más ácidas

**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**



## II.1.Geología



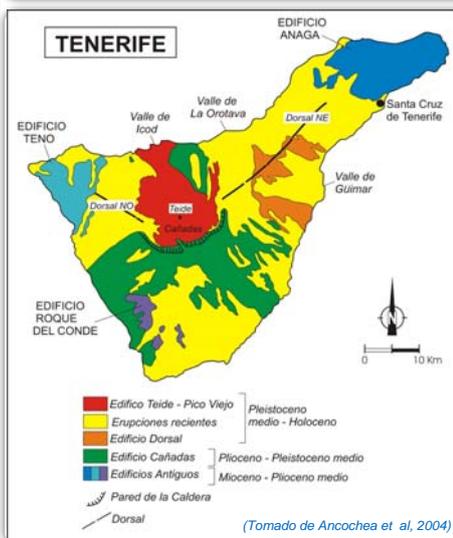
### • Edificio Cañadas:

- Unidad compleja constituida por varios edificios
- Cañadas I: muy poco representado
- Cañadas II: Coladas basálticas y traquibasálticas y piroclastos fonolíticos
- Cañadas III: Coladas basálticas y traquibasálticas y coladas y piroclastos fonolíticos

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.1.Geología



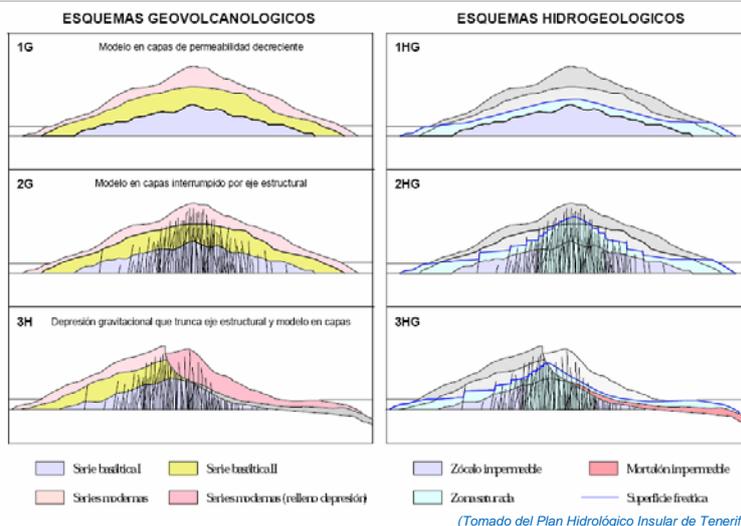
### • Edificios recientes:

- Edificio Teide-Pico Viejo: basaltos, basanitas, tefritas y fonolitas
- Alineaciones de centros estrombolianos de coladas y escorias básicas:
  - Dorsal NE
  - Dorsal NO (Santiago del Teide)
  - Campos volcánicos del Sur

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.2. Modelo conceptual hidrogeológico



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



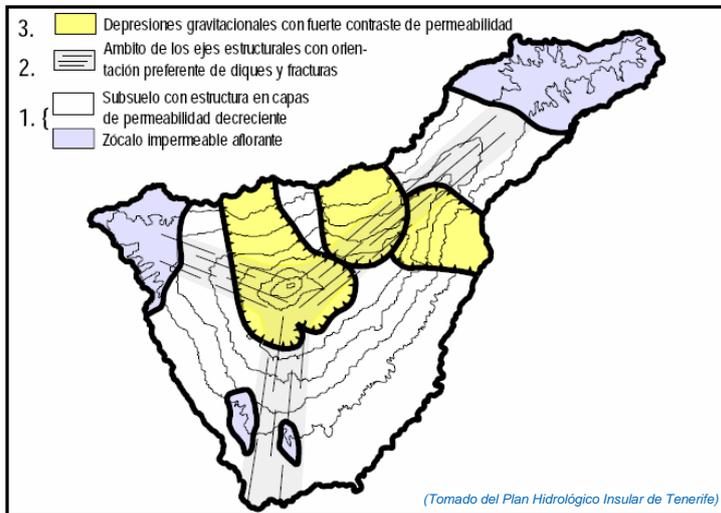
## II.2. Modelo conceptual hidrogeológico

- Estructura en capas superpuestas
- Zocalo impermeable: series antiguas, a veces niveles inferiores del E. Cañadas
- La configuración de la superficie freática esta condicionada por la estructura del zócalo impermeable y el espesor y permeabilidad de las unidades acuíferas
- Los ejes estructurales (intensa fracturación e intrusiones filonianos) condicionan el modelo de capas: perfil escalonado y barreras (diques)
- Grandes deslizamientos en masa han originado unidades morfoestructurales: depresiones con materiales volcánicos recientes (conductividad hidráulica elevada) sobre el mortalón (brecha impermeable)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



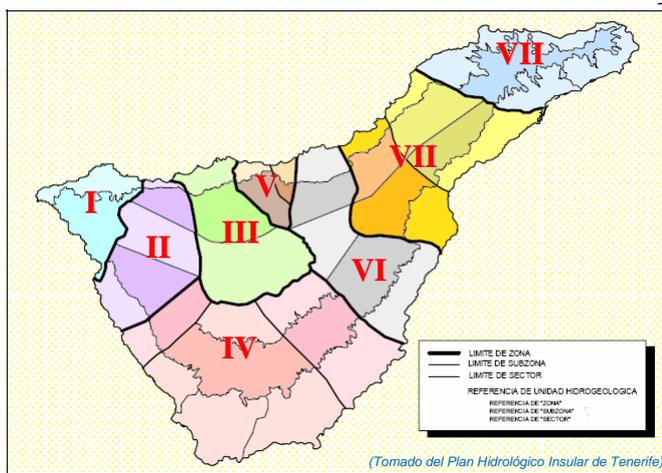
## II.2. Modelo conceptual hidrogeológico



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.3. Zonificación hidrogeológica



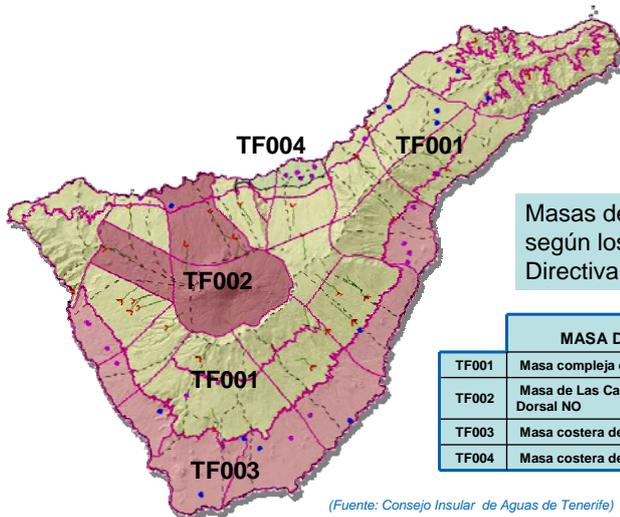
Zonas definidas por:

- diferencias en volúmenes de infiltración
- comportamiento hidrogeológico
- posición del zócalo
- volumen de reservas disponibles
- grado de conocimiento

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



### II.3.Zonificación hidrogeológica



Masas de agua establecidas según los criterios de la Directiva 2000/60/CE

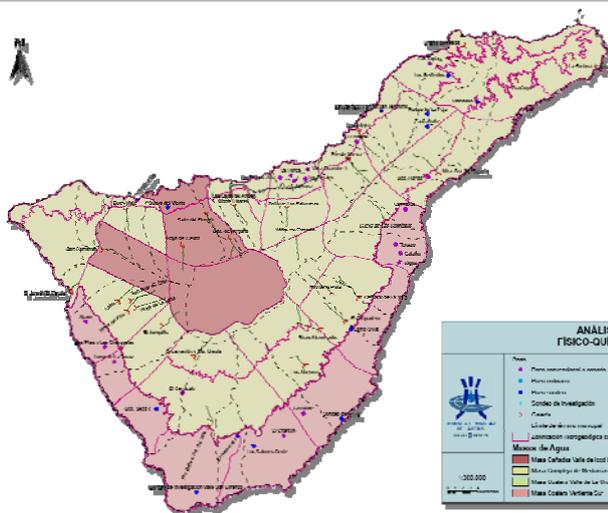
	MASA DE AGUA	km <sup>2</sup>
TF001	Masa compleja de medianía y costa N-NE	1.292
TF002	Masa de Las Cañadas Valle de Icod-La Guancha y Dorsal NO	274
TF003	Masa costera de la vertiente sur	441
TF004	Masa costera del Valle de La Orotava	25

(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



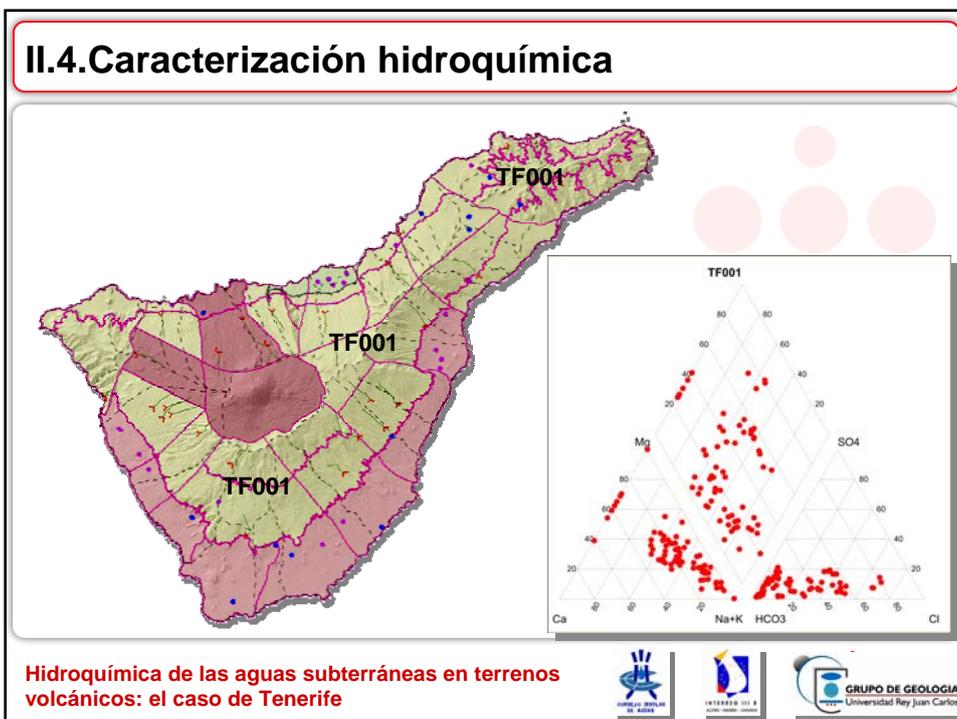
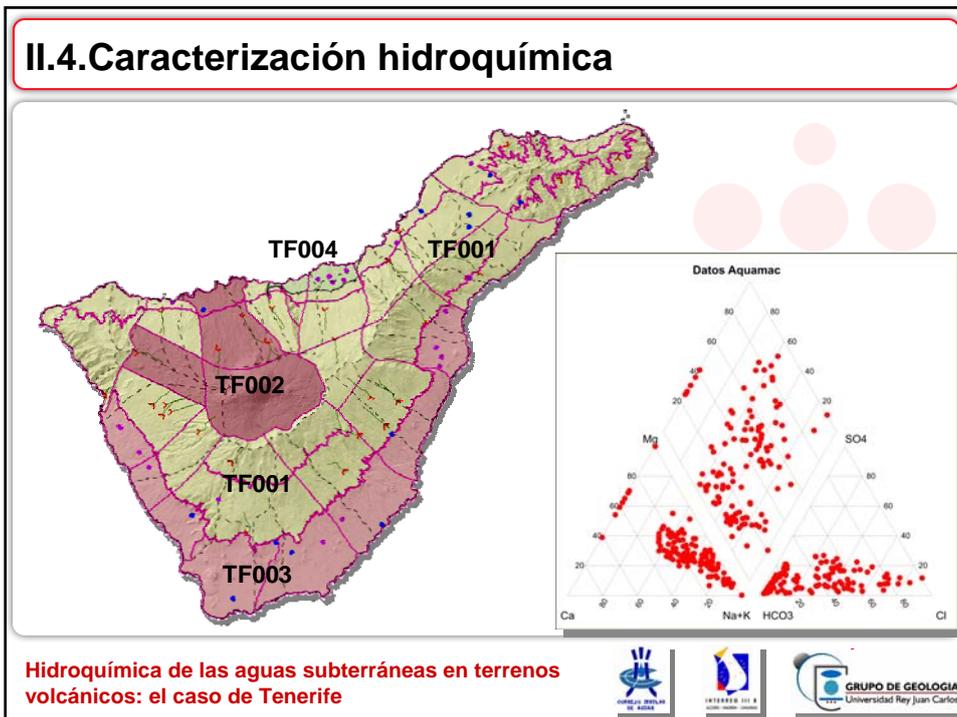
### II.3.Zonificación hidrogeológica



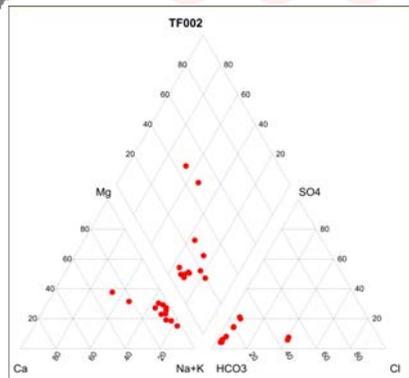
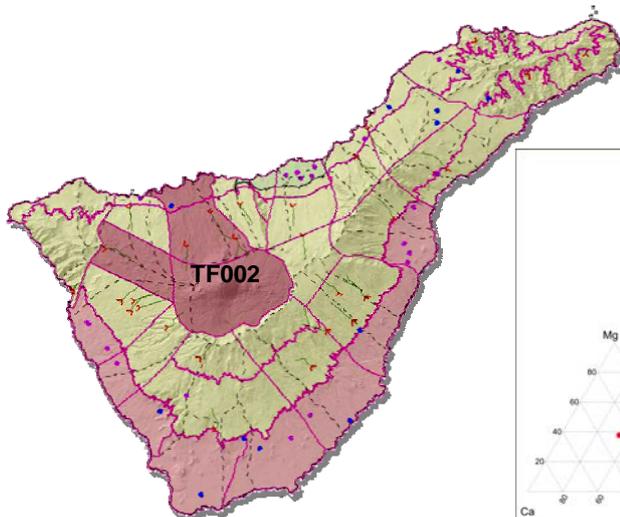
(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife





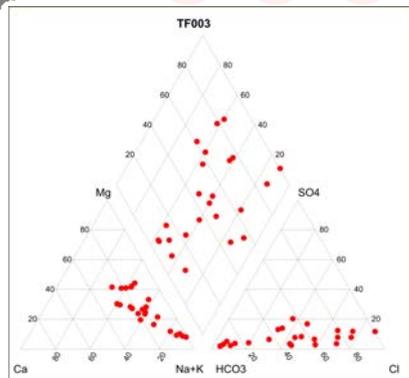
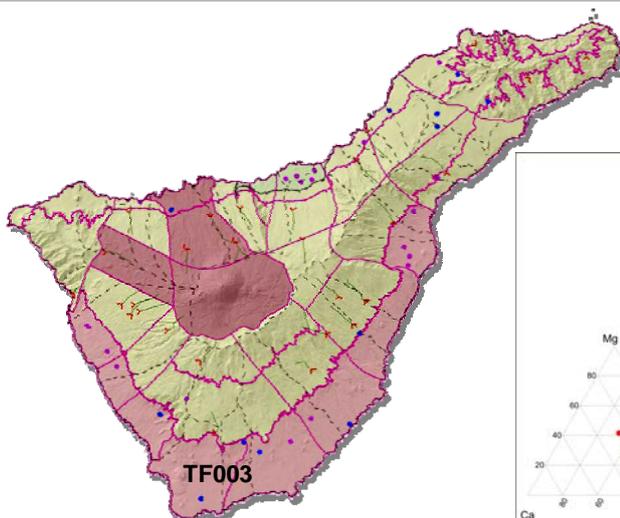
## II.4. Caracterización hidroquímica



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



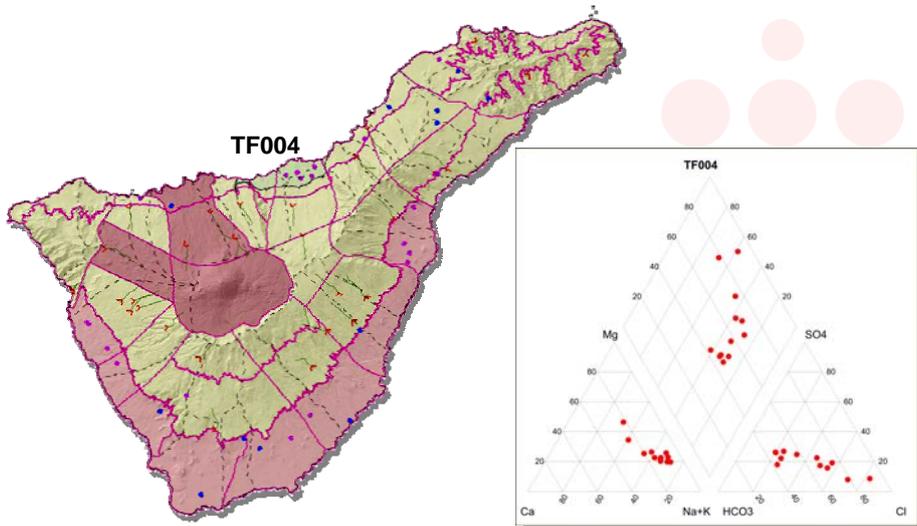
## II.4. Caracterización hidroquímica



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



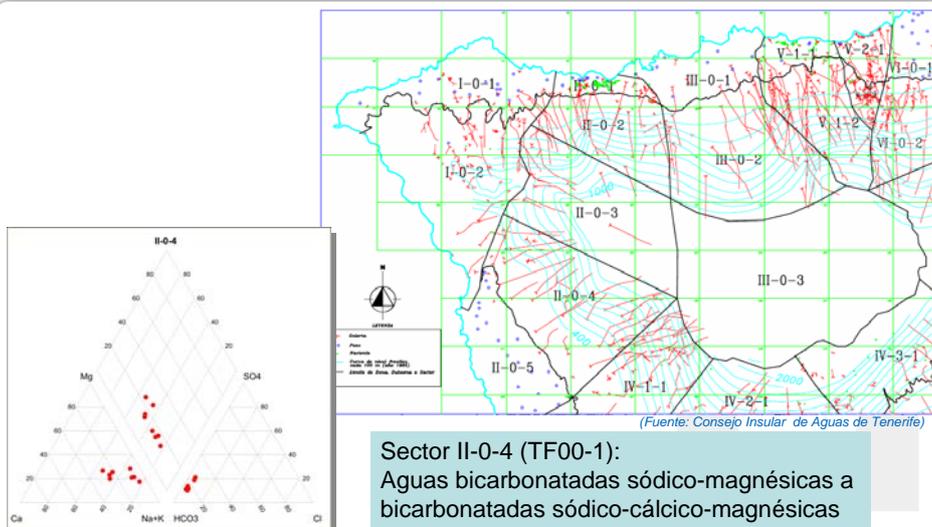
## II.4. Caracterización hidroquímica



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica

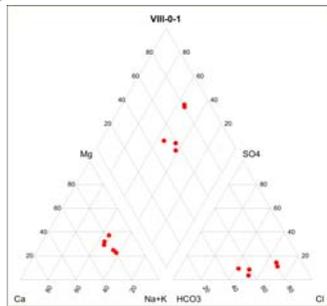


Sector II-0-4 (TF00-1):  
Aguas bicarbonatadas sódico-magnésicas a bicarbonatadas sódico-cálcico-magnésicas

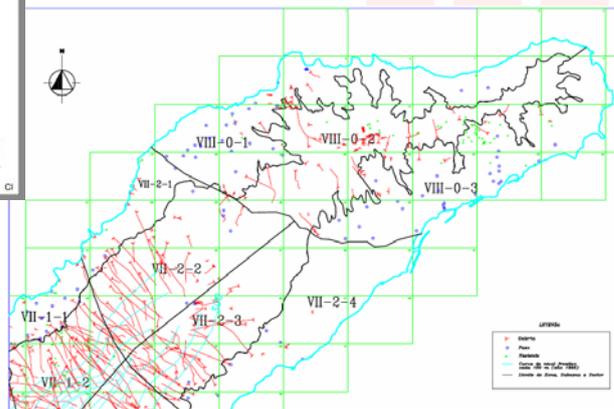
Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica



Sector VIII-0-1 (TF001):  
Aguas bicarbonatadas-cloruradas a cloruradas sódico-magnésicas

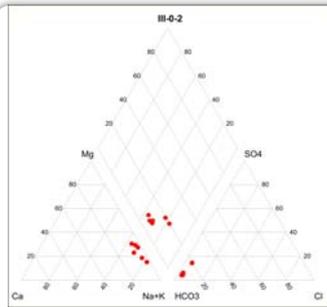


(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

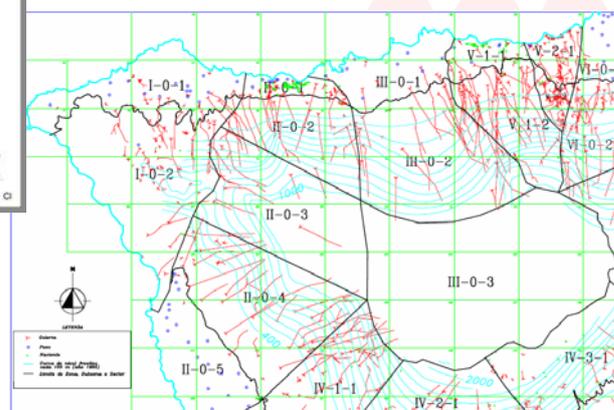
Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica



Sector III-0-2 (TF002):  
Aguas bicarbonatadas sódico-magnésicas

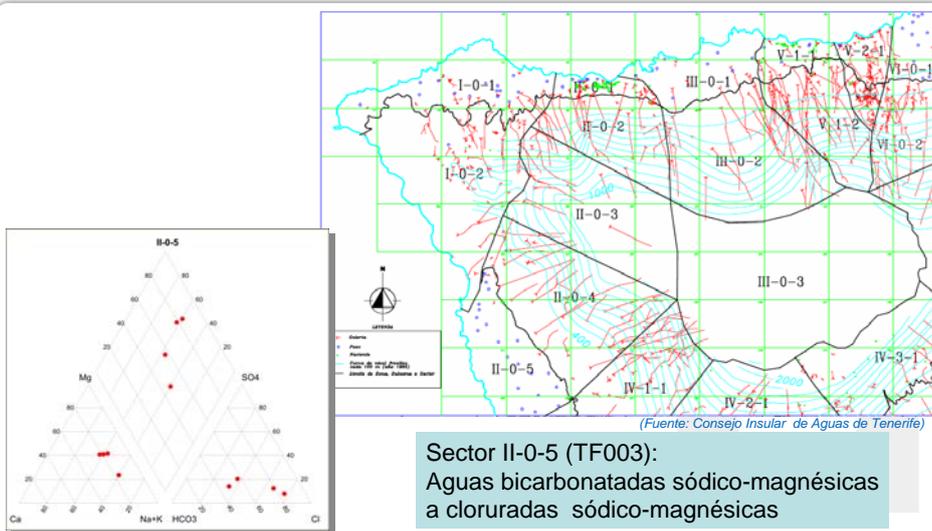


(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



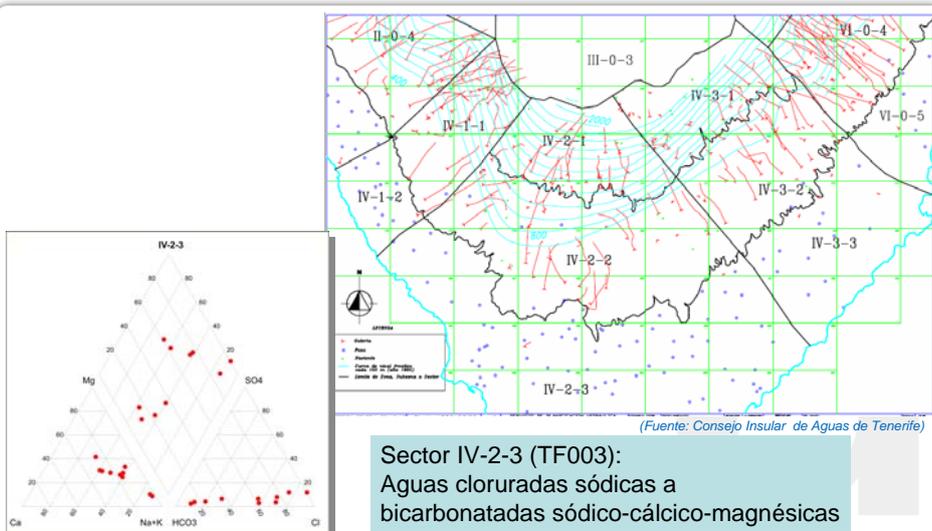
## II.4. Caracterización hidroquímica



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica

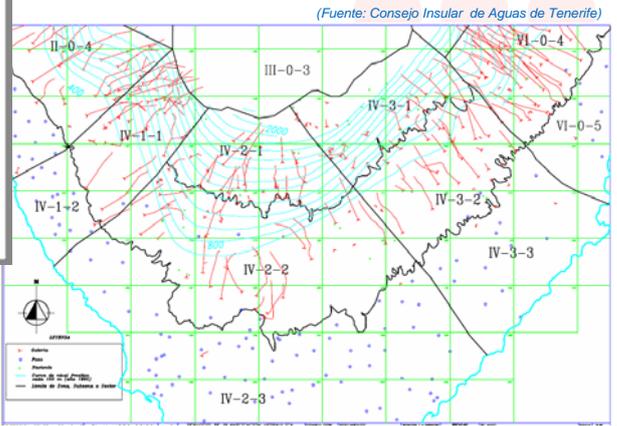
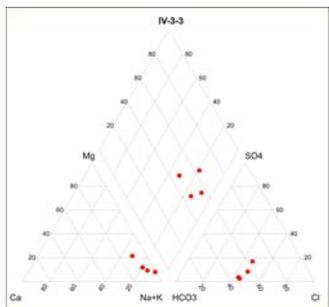


Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica

Sector IV-3-3 (TF003):  
Aguas bicarbonatadas-cloruradas sódicas a sódico-magnésicas



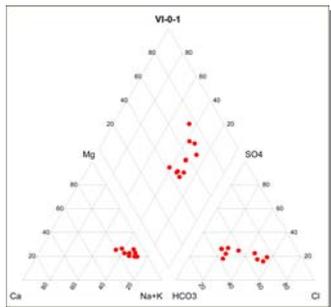
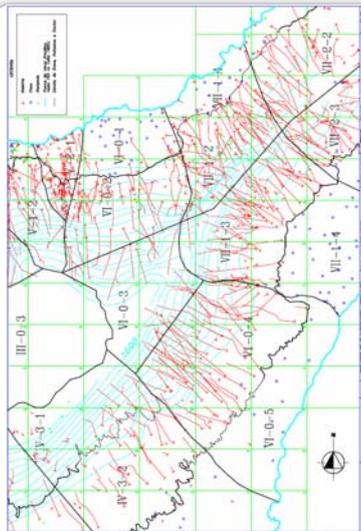
(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica

Sector VI-0-1 (TF004):  
Aguas bicarbonatadas-cloruradas-sulfatadas sódico-magnésicas

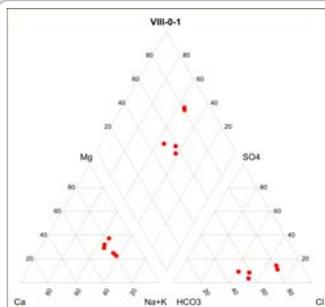


(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

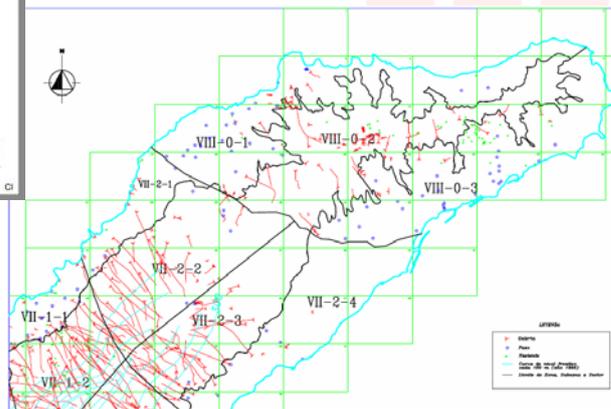
Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.4. Caracterización hidroquímica



Sector VIII-0-1 (TF001):  
Aguas bicarbonatadas-cloruradas a  
cloruradas sódico-magnésicas



(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**



## II.4. Caracterización hidroquímica

- En general, predominan las aguas bicarbonatadas sódico-magnésicas, que pueden variar a cloruradas sódicas con facies intermedias bicarbonatadas-cloruradas sódicas-magnésicas. En menor medida se encuentran tipos intermedios bicarbonatados sódicos-magnésicos-cálcicos
- Es notable la baja proporción de calcio y sulfato. Únicamente se encuentran tipos intermedios bicarbonatados-clorurados-sulfatados en la Masa TF004 (área VI)
- Donde se presenta una mayor variabilidad hidroquímica es en las masas TF001 y TF003 donde hay variaciones desde aguas bicarbonatadas sódico-cálcico-magnésicas a cloruradas sódicas

**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**



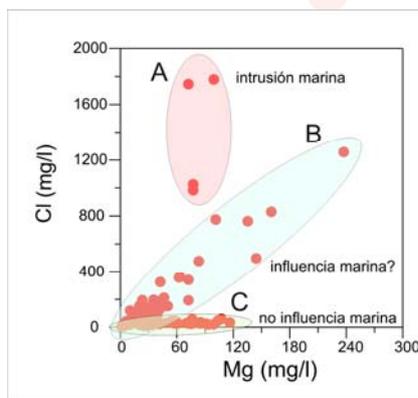
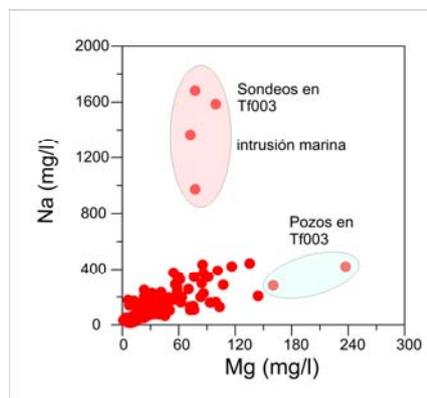
## II.4. Caracterización hidroquímica

- Donde hay una mayor homogeneidad hidroquímica es en el área TF002, donde no han aparecido términos clorurados. Desde el punto de vista geológico coincide con los edificios recientes del sector del Teide
- En general, en los sectores costeros de TF001 hay una tendencia a términos bicarbonatados-clorurados. Incluyendo las captaciones del macizo de Anaga

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



## II.5. Interpretación



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



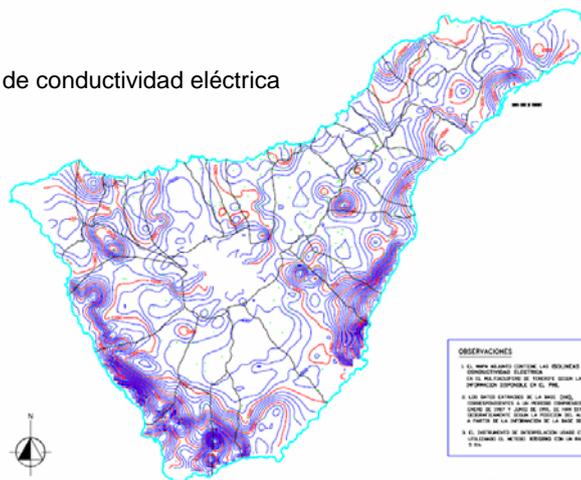
## II.5. Interpretación



Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife



Mapa de conductividad eléctrica



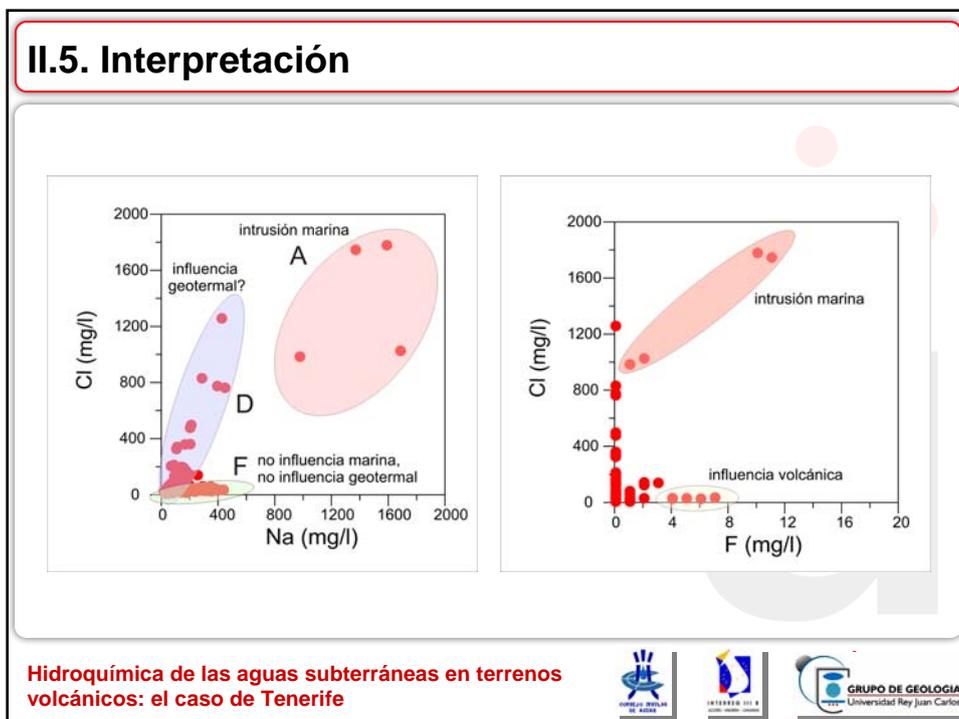
**OBSERVACIONES**

1. Se han realizado durante las reuniones de hidroquímica eléctrica, sobre las zonas de influencia de la P.M.
2. Se han realizado en la zona de influencia de la P.M. (zona de influencia de la P.M.)
3. Se han realizado en la zona de influencia de la P.M. (zona de influencia de la P.M.)
4. Se han realizado en la zona de influencia de la P.M. (zona de influencia de la P.M.)
5. Se han realizado en la zona de influencia de la P.M. (zona de influencia de la P.M.)

(Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife)

Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife







## Agradecimientos



**Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos: el caso de Tenerife**

