



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**PROYECTO PARA ACTUALIZACION DE LA  
INFRAESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA  
DE LA ISLA DE EL HIERRO.  
SISTEMA ACUIFERO 87.**

**TOMO I. MEMORIA**



**MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**

**OCTUBRE -1980**

**3653**

**PROYECTO PARA ACTUALIZACION DE LA  
INFRAESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA  
DE LA ISLA DE EL HIERRO.  
SISTEMA ACUIFERO 87  
TOMO I**

## INDICE

### TOMO I

#### ACTUALIZACION DE LA INFRAESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA DE LA ISLA DE EL HIERRO. SISTEMA ACUIFERO 87

	Pág.
<b>INTRODUCCION Y ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>1. RESUMEN Y CONCLUSIONES</b>	<b>3</b>
<b>2. GEOLOGIA</b>	<b>5</b>
2.1. Estratigrafía	5
2.2. Tectónica	8
2.2.1. Ejes estructurales	9
2.2.2. Red filoniana y fracturación asociada	9
2.2.3. Estructuración volcánica	10
2.2.4. Depresiones gravitacionales	13
<b>3. CLIMATOLOGIA - HIDROLOGICA</b>	<b>15</b>
3.1. Pluviometría vertical	15
3.2. Pluviometría horizontal	16
3.3. Evapotranspiración	20
3.4. Escorrentía	20
3.5. Infiltración	20
3.6. Balance hídrico	21
<b>4. HIDROGEOLOGIA</b>	<b>22</b>
4.1. Comportamiento hidrogeológico de las unidades	22
4.2. Factores modificadores del comportamiento hidrogeológico	23
4.3. Inventario de puntos de agua	24
4.4. Piezometría	25
4.5. Parámetros hidrogeológicos	32
4.6. Análisis del efecto de las mareas	33

<b>5. HIDROQUIMICA</b>	<b>37</b>
5.1. Problemática de la hidroquímica de El Hierro	42
5.2. Dióxido de carbono	43
5.3. El Valle de El Golfo	45
<b>6. EL SISTEMA ACUIFERO 87</b>	<b>50</b>
6.1. Zonificación	50
6.2. Funcionamiento hidráulico insular	51
6.2.1. Circulación en la zona no saturada	51
6.2.2. Circulación en la zona saturada	52
<b>7. BALANCE</b>	<b>54</b>
7.1. Infiltración	54
7.2. Producción, consumo, demanda	54
7.3. Recursos utilizables. Su distribución	56
7.4. Balance final	58

**Anexo I. Análisis de agua**

**TOMO II**

**APLICACION DE LAS TECNICAS DE CONTROL DE LA ZONA NO SATURADA PARA  
CALCULAR LOS CAUDALES DE INFILTRACION EN LA ISLA DEL HIERRO**

**TOMO III**

**FICHAS DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA**

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Situación general	6
Figura 2. Red filoniana, fallas y ejes estructurales	11
Figura 3. Centros de emisión y fisuras eruptivas	12
Figura 4. Mapa de precipitación y evapotranspiración	17
Figura 5. Mapa climático	19
Figura 6. Inventario de puntos de agua	26
Figura 7. Piezometría de El Golfo	27
Figura 8. Esquema del control de las mareas	35
Figura 9. Situación de puntos analizados	42
Figura 10. Situación de los puntos con indicios de intrusión	45
Figura 11. Distribución de zonas con presumible aporte de CO <sub>2</sub>	47
Figura 12. Evolución de cloruros en El Golfo	49
Figura 13. Direcciones de flujo	54

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro I. Balances hídricos	21
Cuadro II. Parámetros hidrogeológicos	33
Cuadro III. Medidas de campo	38
Cuadro IV. Medidas de laboratorio	40

Este Estudio ha sido realizado por GEOMECANICA Y AGUAS, S.A., en regimen de contratación con la Dirección de Aguas Subterráneas y Geología Ambiental del Instituto Tecnológico Geominero de España.

En dicho Estudio han participado:

**Director del Proyecto:** Emilio Lamonedá González

**Coordinación:** Cayetano Lucena Bonny

**Equipo de trabajo:** Vicente Ruiz Fernández de la Lopa

M<sup>a</sup> Teresa Maestro Salmerón

José Sansón Cerrato

Santiago Adanez Corral

**Colaboradores:** Simón Gutierrez Matamorón (Delineación)

M<sup>a</sup> Dolores Mohedano Estepa (Mecanografía)

M<sup>a</sup> Dolores Corrales Fdez.-Baillo (Laboratorio)

## **INTRODUCCION Y ANTECEDENTES**

En el Plan Estratégico de Actuaciones en materia de Aguas Subterráneas que el ITGE se ha marcado para el cuatrienio 88-91, se contempla la realización de Proyectos de Actualización, Infraestructura, Hidrogeología, Vigilancia y Catálogo de Acuíferos (Años 1988, 1989 y 1990).

El presente proyecto, referido al Sistema Acuífero 87 (Isla de El Hierro), tiene como objetivos de carácter general:

- Disponer de la información necesaria para aportar a la Planificación Hidráulica criterios objetivos racionales de manejo y preservación de los recursos hídricos de la isla.
- Disponer de los elementos necesarios para poder recomendar las actuaciones precisas, a los distintos órganos de las administraciones, tendentes a solucionar, de una forma racional, los problemas derivados del uso de los recursos hídricos insulares.
- Contribuir a la difusión de conocimientos básicos sobre los recursos hídricos de la isla, así como de su problemática y posibles soluciones.

La ejecución por parte de la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio del Plan Hidrológico Insular, ha demorado la realización de este trabajo, con objeto de incorporar en él, los datos del Avance del Plan Hidrológico Insular de El Hierro recientemente finalizado.

Los resultados que aquí se obtienen constituyen una síntesis de dicho Avance, completado con los trabajos específicos de inventario, control de mareas, infiltración por nieblas y análisis químicos realizados para la redacción de este Proyecto de Actualización.

En consecuencia en el presente proyecto, que pretende ser una Síntesis Hidrogeológica de El Hierro, se contemplan los aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos tomando como base los estudios procedentes, con la necesaria actualización, para ajustar un balance final que permita posteriores actuaciones sobre los recursos hídricos de la isla.

Los primeros trabajos geológicos de la isla se realizaron en 1906 por el alemán W.Von Knebel y en 1907 por el español Lucas Fernández Navarro. Los primeros estudios hidrogeológicos los realizaron el IGME en 1961: "Estudio hidrogeológico de la isla de Hierro" y el S.G.O.P. en 1962: "Informe acerca del posible aprovechamiento de las aguas superficiales de la isla de El Hierro" y Hans Hansen en 1964.

Los trabajos posteriores de investigadores autóctonos y del S.G.O.P. se incluyen en un estudio general de las Islas, conocido como SPA-15, que realizaron la UNESCO y el MOPU: "Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA-69-515) 1974", cuyas conclusiones se recogen en un informe posterior conocido como MAC-21: "Proyecto de planificación de la explotación y uso racional de los recursos de agua en las Islas Canarias. 1976", realizado por la Comisión Interministerial de las Actuaciones del Estado en Materias de Agua de las Islas Canarias.

Los sondeos realizados por el S.G.O.P. entre 1965 y 1981 permiten emitir un primer informe relativo al Valle del Golfo, posteriormente ampliado al resto de la isla. El primero se conoce como: "Informe 12/84 acerca del estudio hidrogeológico del acuífero del Valle del Golfo. T.M. Frontera. Isla de El Hierro (Santa Cruz de Tenerife)" y el segundo como: "Informe 01/85 acerca del inventario realizado en la Isla de El Hierro". Ambos tienen un marcado aspecto hidroquímico pero aportan interesantes datos geológicos y permiten, con sus medidas de nivel y calidad, establecer evoluciones por comparación con los datos actuales.

Finalmente, el recién finalizado "Avance del Plan Hidrológico de El Hierro" recopila toda la información precedente y aporta nuevas teorías y aclaraciones del funcionamiento hidrogeológico de la isla y constituye, como ya hemos indicado, la base para la realización de esta síntesis hidrogeológica.

## 1. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente proyecto para la actualización de la infraestructura hidrogeológica de la isla de El Hierro, tiene un carácter de síntesis hidrogeológica y se realiza en base a los estudios anteriores, fundamentalmente el Avance del Plan Hidrológico Insular complementado por un inventario de puntos actualizado, en el que se han realizado medidas de nivel y análisis químicos de campo.

Como resumen del trabajo, merece la pena resaltar los siguientes puntos:

- Geológicamente, es una isla volcánica constituida por emisiones recientes de lava en la que se puede distinguir una serie antigua y una serie moderna. La antigua, aunque potente, tiene una gran homogeneidad de materiales y constituye el substrato de la isla salvo en algunas zonas en que aflora. La moderna, homogénea también en cuanto a sus materiales, recubre la casi totalidad de la isla.

- Tectónicamente se estructura según tres ejes confluentes en el centro, de direcciones NNE, SSE y ONO que condicionan la morfología, la volcanología, la hidrogeología, la hidroquímica y el balance.

Existen dos accidentes, colapsos gravitacionales de El Golfo y Las Playas, que modifican la estructura inicial y condicionan aspectos tan dispares como la hidrogeología, la agricultura o la demografía.

- El balance hidrológico, establecido con una valoración, a veces imprecisa, de los parámetros que en él intervienen, permite contabilizar como recursos unos 20-25 hm<sup>3</sup>/año.

- Hidrogeológicamente, la isla presenta unos acuíferos homogéneos y bien definidos cuyo comportamiento como tales está fuertemente condicionado por factores modificadores (fracturación, diques, etc.) que en realidad determinan el comportamiento hidrogeológico de las unidades. Los parámetros hidrogeológicos tienen el grado de indefinición característico de los terrenos volcánicos.

- La hidroquímica de la isla está condicionada según los estudios precedentes por la presencia de emanaciones de CO<sub>2</sub> y localmente por fenómenos de intrusión salina. Las medidas en campo del CO<sub>2</sub> no aportan, sin embargo, valores que puedan considerarse excesivos. Se ha analizado independientemente el Valle de El Golfo desde el punto de vista hidroquímico ya que en esta zona concurren una serie de circunstancias de demanda, producción, hidrogeología y tectónica que imprimen un carácter propio.

- El funcionamiento hidráulico insular se ha esquematizado en base a la información generada en los apartados anteriores dando como resultado un esquema de flujo sencillo de carácter radial con importantes salidas al mar.

- El balance final establecido permite valorar los recursos utilizables en 2,5-3 hm<sup>3</sup>/año, teniendo en cuenta que la explotación actual es de 1,4 hm<sup>3</sup>/año y la demanda será en el horizonte de 1997 de 2,3 hm<sup>3</sup>/año.

En conclusión, la isla de El Hierro está actualmente abastecida cerca del límite de sus posibilidades y en un futuro inmediato puede presentar problemas, ya que los recursos utilizables se concentran en un área muy concreta.

Por otro lado, la contaminación por CO<sub>2</sub> que a nuestro criterio es menor que lo considerado, no tienen porqué aumentar en el futuro mientras que los problemas por intrusión salina pueden ser cada vez mayores si se siguen concentrando las explotaciones en zonas costeras.

Las líneas de investigación deberán encaminarse en el futuro hacia:

- Controles de nivel y calidad periódicos para conocer la evolución y la verdadera presencia de CO<sub>2</sub>.

- Mejor conocimiento de los parámetros hidrogeológicos.

- Valoración más precisa de las posibilidades de aprovechamiento de la precipitación horizontal.

- Conocimiento del funcionamiento del eje estructural de dirección SSE para tratar de intersectar los importantes caudales que por él se vierten al mar antes de que alcancen la zona de presunta contaminación por CO<sub>2</sub>.

## **2. GEOLOGIA**

La isla de El Hierro, la más pequeña de las Canarias, ocupa una superficie de 270 km<sup>2</sup>, siendo la más meridional y occidental del Archipiélago Canario. Se encuentra situada entre los 27° 38' y los 27° 53' de latitud norte, y los 17° 53' y los 18° 09' de longitud oeste. (Figura 1).

La isla tiene forma triangular con los vértices orientados al NE, SSE y ONO respectivamente. Los lados más o menos cóncavos presentan características diferenciadoras propias. El orientado al NO incluye el accidente más llamativo de la morfología de la isla, el escarpe de El Golfo, en forma de arco, con 1200 m de desnivel entre las cimas más acusadas (Picos de Tenerife, Tinganar y Tampanasoga) y el valle del Golfo, semillanura a nivel del mar.

El lado orientado al SE comprende una zona de acantilados al norte, una zona cóncava en Las Playas y de nuevo acantilados al sur aunque de menor desarrollo que los del norte.

El lado SO presenta una morfología más regular con fuertes pendientes y una suave concavidad general denominada Laderas de Julán.

Esta morfología triangular está relacionada con la formación de la isla a partir de la sucesiva acumulación de material volcánico que surgía a través de tres zonas de emisión conocidas como "Ejes Estructurales" que coinciden con los vértices del triángulo y forman entre sí 120°. La acumulación se ha producido de manera bastante continua ya que no existen indicios de discordancias erosivas que interrumpan la secuencia.

El material que compone la isla es muy homogéneo, fundamentalmente basaltos con algunos traquibasaltos asociados.

### **2.1. Estratigrafía**

La secuencia estratigráfica de la isla de El Hierro es difícil de establecer por diversas causas que se complementan. No existen discordancias erosivas importantes que permitan diferenciar las distintas etapas de emisión. Tampoco existen niveles guía en que apoyarse ya que la naturaleza de las emisiones, siempre basálticas, no favorecen ninguna diferenciación composicional. Finalmente, no se ha podido establecer, mediante dataciones absolutas, la cronología de las emisiones.

Los distintos autores que han trabajado en la isla han realizado distintas subdivisiones manteniendo, como criterio unificador, la existencia de una serie antigua y otra moderna.

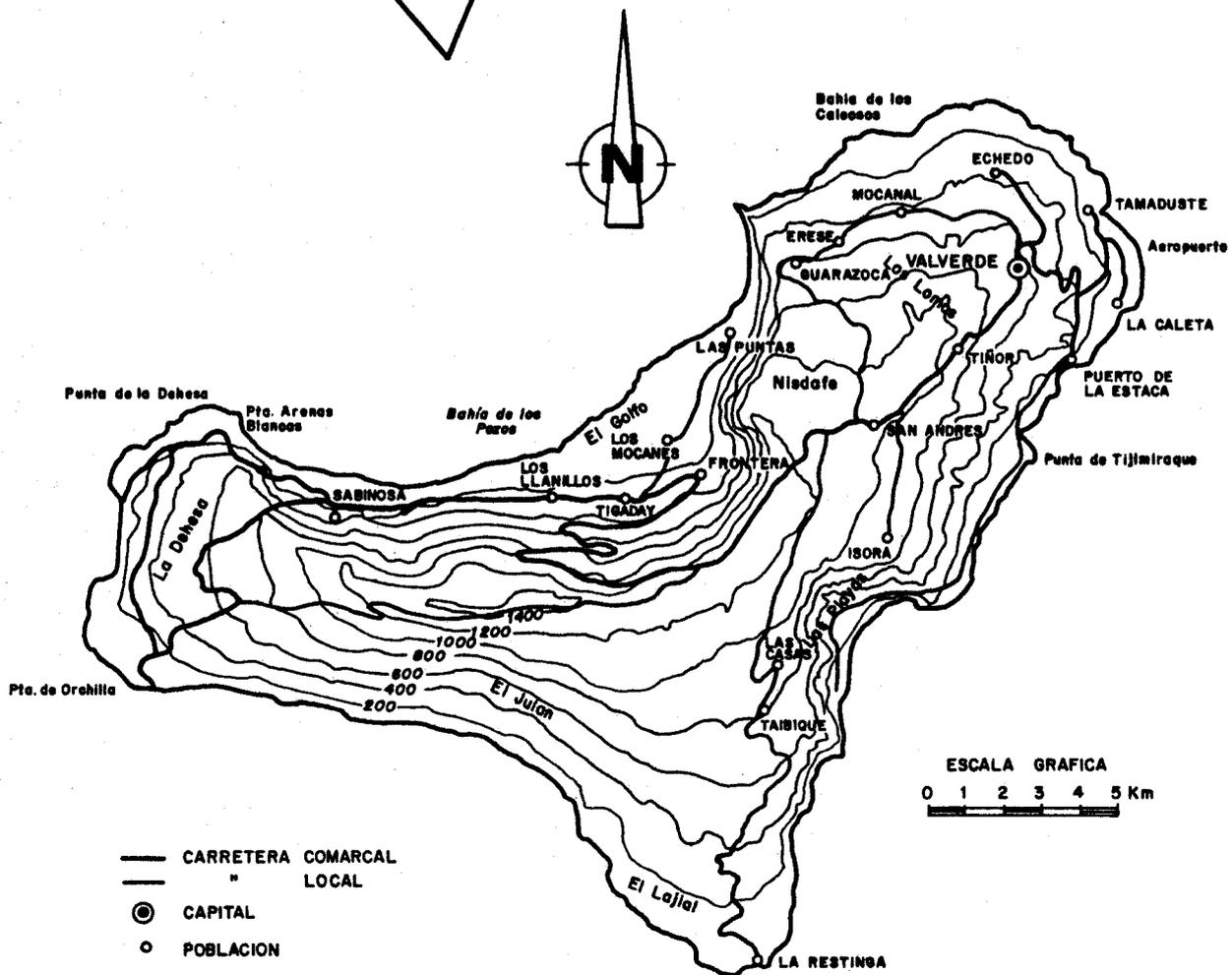
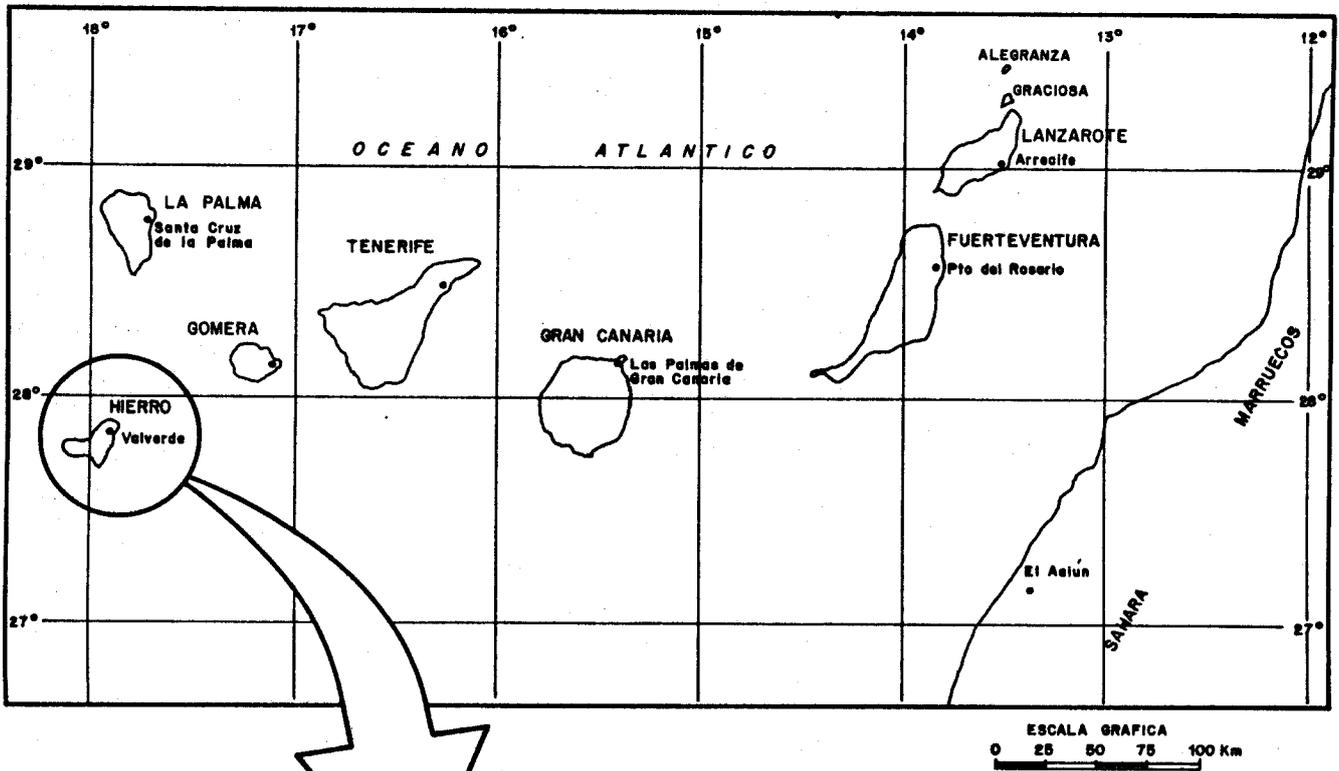


FIGURA 1

Una vez estudiados los antecedentes y teniendo en cuenta que el presente informe tiene un claro propósito hidrogeológico, se ha adoptado la estratigrafía definida para el Avance del Plan Hidrológico. Los distintos niveles diferenciados son de más antiguo a más moderno:

#### **SA1 (Serie Antigua 1)**

Aflora en el fondo de los acantilados de El Golfo y Las Playas habiéndose estimado su espesor en 500 m.

Está constituida por conos de escoria y lapilli de naturaleza basáltica, interestratificados con lavas también basálticas. La alteración no es muy intensa y la compactación es más acentuada en los piroclastos que se han convertido en masas compactas.

#### **SA2 (Serie Antigua 2)**

Aflora fundamentalmente en las paredes de los escarpes de El Golfo y Las Playas y al sur de Valverde.

De composición exclusivamente basáltica, es difícil establecer el tránsito con la unidad anterior siendo el único factor diferenciador el predominio de la lava frente a los piroclastos.

Las lavas se disponen aparentemente alrededor de una cumbre relativa que estaría situada en lo que actualmente es el Valle de El Golfo. La mayor abundancia de lava correspondería con una actividad importante centrada en el punto de corte de los ejes estructurales que manifestaría, hacia los extremos, un vulcanismo fisural con producción de conos de escoria y lavas menos voluminosas.

Su espesor medio se estima en 350 m.

#### **SA3 (Serie Antigua 3)**

En continuidad estratigráfica con el nivel anterior se ha diferenciado un apilamiento de lavas en las que el factor caracterizador es el quimismo diverso.

Efectivamente, junto a los tipos basálticos aparecen también traquibasaltos y traquitas en una secuencia gradual que indicaría el final de la formación del estratovolcán centralizado. Las emisiones serían menores y más espaciadas permitiendo la diferenciación química. En los puntos alejados del edificio central las manifestaciones siguen siendo de tipo fisural, basálticas y con producción de conos de escoria.

El espesor medio estimado para esta unidad es de 425 m.

El comportamiento hidrogeológico de las unidades SA2 y SA3 es homogéneo y, en ambos casos, condicionado a la red filoniana y la fracturación secundaria, por lo que se han agrupado en una sola unidad hidrogeológica y así figura en la cartografía adjunta.

### **Serie Moderna**

Los materiales que constituyen la serie moderna ocupan prácticamente toda la superficie insular con una potencia que no supera los 100 m. Se trata de lavas y piroclastos recientes que no presentan en su interior ni cambios composicionales significativos, ni discordancias.

El inicio de la serie moderna es una continuación de la serie anterior y el único fenómeno que altera la normal emisión y apilamiento es la formación de la Depresión de El Golfo. Este accidente modifica el sistema de emisión de tal manera, que en el interior de la Depresión se produce un aumento de la actividad con rápida acumulación de lavas básicas al igual que en los extremos de los ejes estructurales.

La morfología actual delata este nuevo sistema de funcionamiento pudiendo señalarse en el interior de la Depresión, junto al escarpe, una serie de centros de emisión mientras que los conos de escoria más recientes se sitúan en los extremos de los ejes estructurales, es decir, en las zonas de la Dehesa al oeste, Tembargena al SSE y Valverde-Mocanal en el NE.

Dentro de la Serie Moderna, por lo tanto, se pueden distinguir una serie de lavas y piroclastos, claramente emitidos después de la formación de la Depresión, que serían los materiales Post-Golfo y los que ocupan el resto de la isla, en los que no es posible separar los niveles anteriores y posteriores a la formación del Golfo y que constituyen la Serie Moderna Indiferenciada.

En el plano Geológico a escala 1:50.000 que se adjunta (Plano I) se han diferenciado las unidades Post-Golfo con sus centros de emisión, dejando como unidad indiferenciada el resto de las lavas recientes que constituyen la mayor parte de la superficie insular.

## **2.2. Tectónica**

Teniendo en cuenta las características geológicas y estructurales de la isla de El Hierro, en este apartado se sintetizan las ideas generales, aportadas por los estudios precedentes, respecto a los ejes estructurales y su actuación en la génesis y desarrollo de la isla, la red de diques y la fisuración secundaria como elementos de alto valor hidrogeológico y la formación de las depresiones gravitacionales que condicionan múltiples aspectos del desarrollo geológico, hidrogeológico y socioeconómico de la isla.

### **2.2.1. Ejes estructurales**

Cuando se describe la forma de la isla, con sus tres vértices y caras, se está implícitamente describiendo los tres ejes estructurales que la condicionan.

Los ejes estructurales, que dan lugar a las dorsales topográficas que convergen en el centro de la isla, son franjas de unos 5 km de anchura por donde se ha producido preferentemente el ascenso del magma que ha dado lugar al proceso de construcción de la isla.

La manifestación externa actual, es la concentración de conos volcánicos recientes en los extremos, mientras que en profundidad, la red de diques se organiza según los ejes como reflejo de los conductos utilizados por el magma en su ascenso.

La formación de la depresión gravitacional de El Golfo, ha modificado la estructura original y el punto de confluencia de los ejes no coincide, en la actualidad, con el punto más elevado sino que se situaría en la zona del escarpe, entre los picos de Malpaso y Tabano.

Los diques, las fallas y los centros de emisión se alinean preferentemente según estos ejes que tienen las siguientes direcciones generales: Ejes NE a 50° N, eje SSE a 150° N y el eje ONO a 280° N. Las diferentes aperturas entre los distintos ejes están condicionando las longitudes de los tramos de costa comprendidos entre ellos.

### **2.2.2. Red filoniana y fracturación asociada**

Como ya hemos indicado, la red de diques se ha desarrollado según la dirección de los ejes estructurales, siendo los correspondientes a los ejes NE y ONO los que presentan una mejor exposición en la pared del acantilado que delimita la depresión de El Golfo. En la zona de Las Lapas se pueden contabilizar de 3 a 4 diques cada 100 m, en la zona central de El Brezal se observan los entrecruzamientos de las tres direcciones preferentes y en la zona de la Sabinosa (al oeste del escarpe) la densidad llega a 14 diques cada 100 m.

Las observaciones efectuadas en galerías, permiten afirmar que, en profundidad, el número de diques aumenta al mismo tiempo que aumenta la anchura de la zona afectada por los mismos.

Los diques son de naturaleza basáltica y en menor proporción traquibasáltica al igual que las lavas y piroclastos que se describen en la estratigrafía. Son formas verticales de entre 0,5 y 2 m de anchura que se extienden algunos kilómetros en sentido vertical y horizontal. Están afectadas por diaclasado de retracción.

Coincidente con las direcciones de las redes de diques, se produce una fracturación asociada posterior, que afecta a los diques por constituir éstos una zona de debilidad relativa. Esta fracturación se manifiesta en algunas zonas, produciendo trituración de pequeña escala, mientras en otras, a favor de los diques, ocasiona fisuras abiertas que actúan de manera decisiva en el funcionamiento hidrogeológico.

En la figura 2 se presenta una síntesis de la red filoniana, las fallas principales y los ejes estructurales principales.

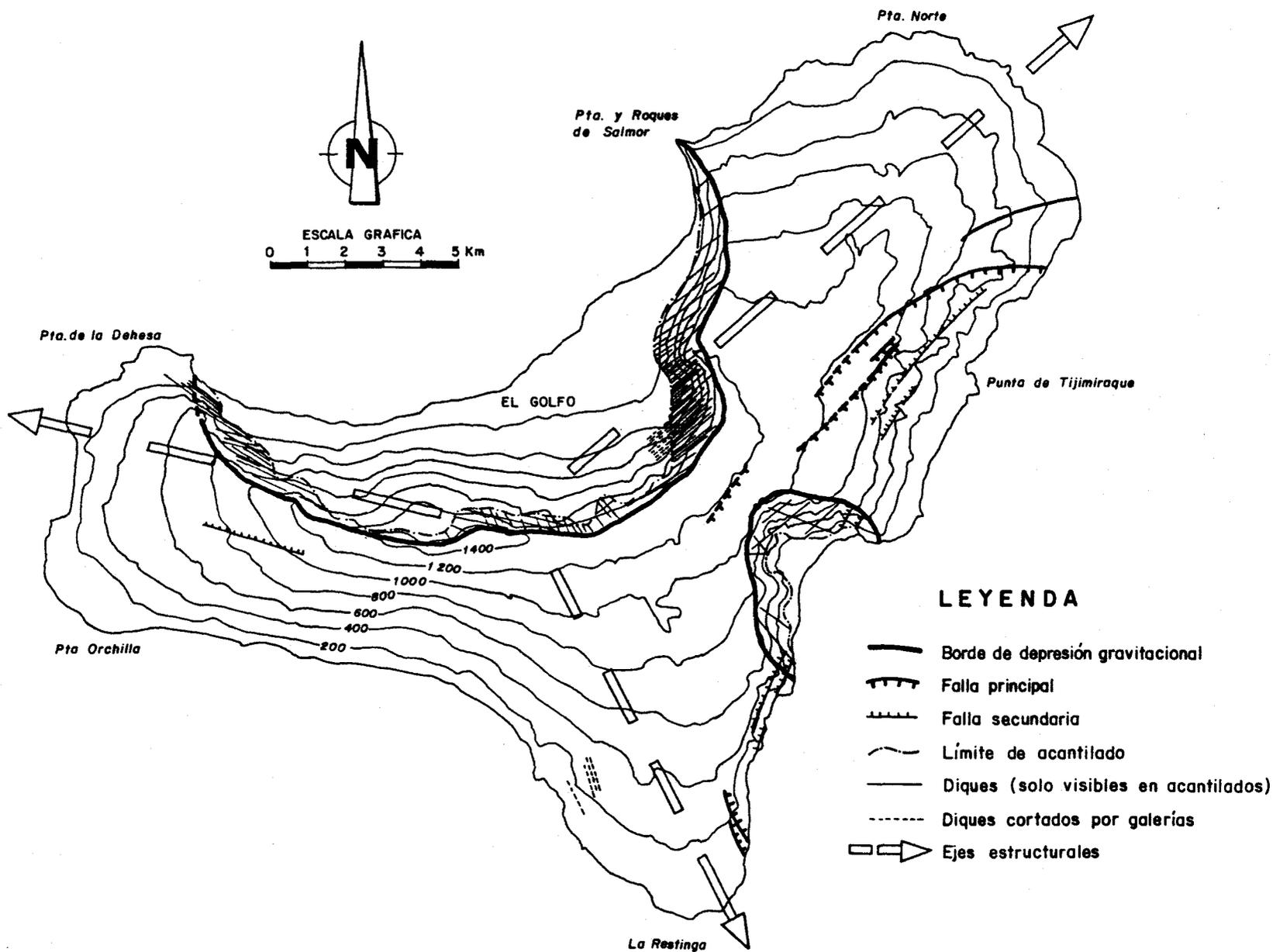
### **2.2.3. Estructuración volcánica actual**

En la actualidad, la isla de El Hierro está fundamentalmente recubierta por lavas de la serie Moderna. Los centros de emisión, que conservan sus correspondientes cráteres y conos de escorias, están diseminados en aparente distribución aleatoria por toda la isla.

Un análisis más detallado permite hacer algunas observaciones sobre dichos centros de emisión.

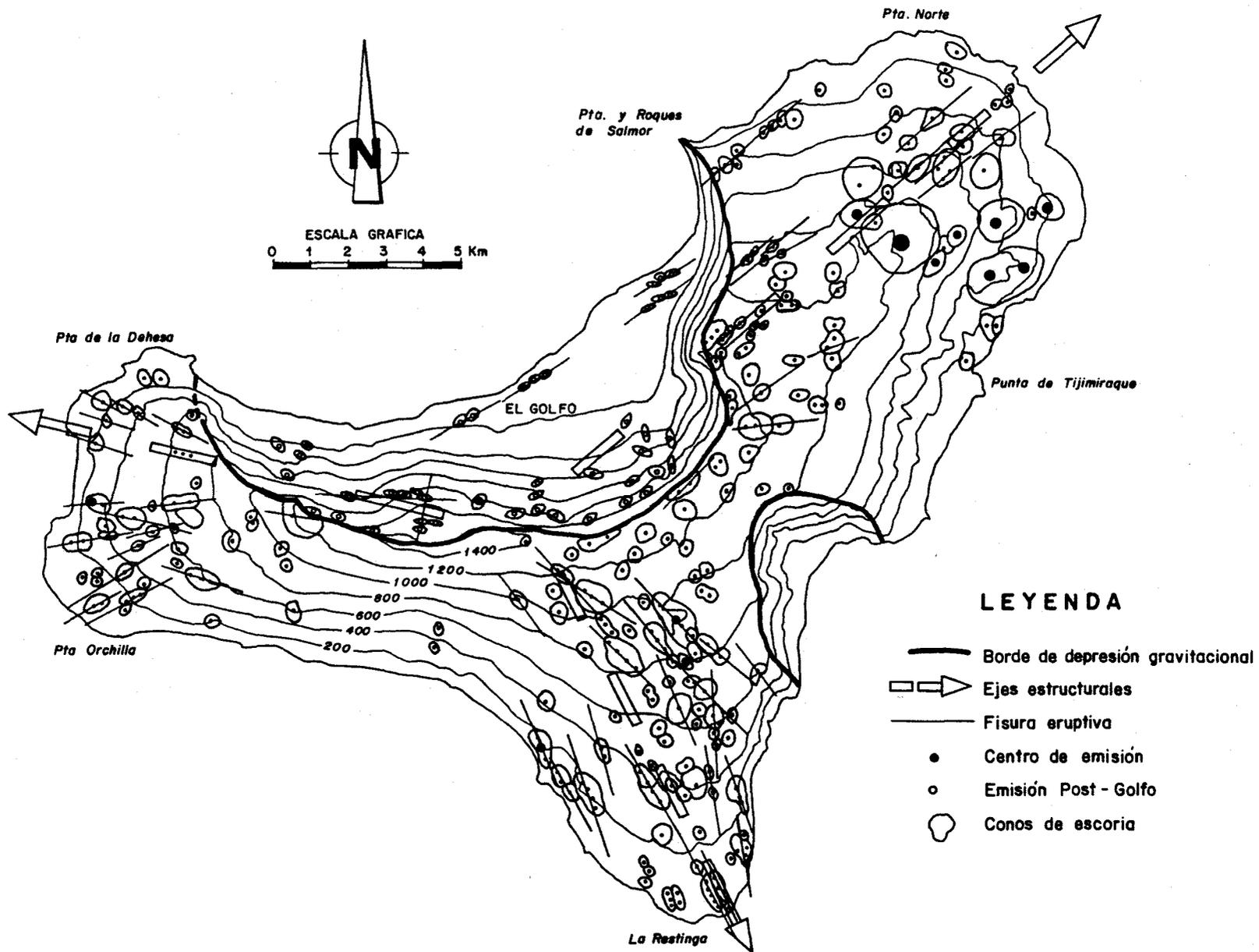
- Se puede hacer una primera separación entre los centros de emisión asociados al borde de la depresión y el resto. La particularidad de los primeros es su situación en una zona de fuertes pendientes y la mayor fluidez de sus emisiones, que dan lugar a las lavas Post-Golfo más básicas. Los demás desarrollan un cono de escoria más marcado. Existe una anomalía en la región de El Golfo que es el estratovolcán bien desarrollado de Tanganasoga que incluye varios centros de emisión y ha debido actuar a lo largo de toda la historia geológica de la isla.
- Se puede apreciar una mayor concentración de centros de emisión en los extremos insulares de cada eje, siendo éste particularmente patente en el vértice ONO, en la región de La Dehesa.
- Las fisuras eruptivas alinean centros de emisión en las direcciones de los ejes, en perfecta coincidencia con las de los diques y provocando en ocasiones el solapamiento de los conos de escoria.

En la figura 3 se señalan los centros de emisión, las fisuras eruptivas principales y se diferencian aquellos centros implicados en el relleno de la depresión de El Golfo.



**ESQUEMA ESTRUCTURAL**

**FIGURA 2**



**ESTRUCTURA VOLCANICA**

**FIGURA 3**

#### **2.2.4. Depresiones gravitacionales**

Uno de los rasgos morfológicos más espectaculares de la isla es el anfiteatro de El Golfo. Se trata de un escarpe arqueado, de unos 15 km de longitud y diferencias de cota de más de 1000 m, que se desarrolla en la cara NO de la isla y origina la depresión de El Golfo.

Sobre el origen de esta depresión se han planteado diversas hipótesis. Actualmente, con datos obtenidos de la batimetría, de los pozos y canteras y de las observaciones de depresiones similares generadas recientemente, se puede afirmar que la depresión se originó por un deslizamiento gravitacional rotacional.

Los mecanismos que hicieron posible tal accidente son varios y se complementan. Por un lado el excesivo crecimiento de un estratovolcán principal, dió lugar a inestabilidades dentro del bloque insular. Las sucesivas coladas de lava adquirían mayores pendientes progresivamente y se separaban unas de otras por planos relativos de discontinuidad. Por otra parte, la alta densidad de diques subverticales según los ejes NE y ONO y la fracturación distensiva asociada, crearon unas zonas de inestabilidad, a favor de las cuales se produjo el deslizamiento gravitacional, que truncó el volcán principal precisamente en el tercio comprendido entre los mencionados ejes.

El deslizamiento se produce sobre una superficie cóncava, cuya inclinación disminuye al alejarse de la cumbre (rotacional) como se pone de manifiesto en el abrupto acantilado actual que se suaviza en dirección al mar y se refleja en la batimetría.

Las consecuencias de este gran deslizamiento son múltiples y algunas ratifican el proceso de formación.

Desde el punto de vista volcanológico, la descompresión producida reactiva el volcanismo con la emisión de lavas a partir de centros de emisión agrupados a lo largo de la cabecera del anfiteatro.

Estas lavas recientes, que modifican la geometría original de la depresión ganando terreno al mar (superposición de estas lavas a niveles de playa), apenas han sufrido erosión, no están compactadas ni alteradas, y no existen paleosuelos intercalados. Sugieren un proceso rápido de emisiones una vez producida la depresión.

Como consecuencia de esta emisión localizada se desactivan los ejes estructurales en las proximidades de El Golfo y únicamente se manifiesta un volcanismo reciente en los extremos de los ejes, es decir, en los vértices del triángulo insular.

Otro fenómeno asociado a la generación de la depresión, es la formación de una brecha muy potente (hasta 50 m), similar al mortalón descrito en Tenerife, que se observa en galerías y se superpone a la serie antigua 1 provocando en ella una intensa fracturación con planos pulimentados y estriados que indican un desplazamiento del bloque superior hacia el mar.

Desde el punto de vista hidrogeológico solo cabe resaltar que estas lavas recientes presentan una gran porosidad, mientras el mortalón y los niveles de playa constituyen obstáculos al flujo vertical.

Existe una segunda depresión gravitacional de menores dimensiones, situada en la costa SE, que da lugar a la depresión de Las Playas. En este caso, aunque el deslizamiento deja al descubierto la serie antigua, no se observan los fenómenos asociados (mortalón y emisiones recientes de lava) y la depresión creada se rellena de sedimentos recientes originándose playas entre las Puntas de La Bonanza y de Miguel.

### **3. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA**

De todos los trabajos realizados en la isla, el más completo desde el punto de vista hidrológico es el correspondiente al SPA-15 "Estudio hidrológico de Base" y aún así se realizó con tal carencia de datos que los resultados obtenidos sólo pueden darse como orden de magnitud.

Los parámetros analizados son los que constituyen el balance hídrico: precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

El estudio realizado para el Avance del Plan Hidrológico Insular de El Hierro, analizando los mismos parámetros y prácticamente con los mismos datos, llega a conclusiones parecidas. Sin embargo la cuantificación del doblete escorrentía-infiltración es en cualquier caso fruto de una valoración subjetiva.

Se incorpora en este estudio un análisis de la precipitación horizontal que se considera puede aportar volúmenes significativos, en una zona, donde la precipitación vertical es muy baja y se conjugan factores orográficos y régimen climático idóneos para incluir la precipitación por condensación de nieblas como un aporte más al balance hídrico.

La climatología y el relieve son dos factores importantísimos en los aportes hídricos, por lo que las variaciones estacionales, la influencia de los vientos, las inversiones térmicas, los fenómenos de convección, la situación de los relieves respecto al viento y la altitud ocasionan valores de precipitación y evapotranspiración sensiblemente variables según la zona considerada. Al ser este un trabajo de síntesis se tomarán valores medios para los distintos parámetros con objeto de alcanzar unos datos de balance orientativos.

Las temperaturas que se utilizarán en la obtención del valor de evapotranspiración oscilan como medias anuales entre 13,1°C a 1360 m de cota y 23,6°C a 100 m en la punta de Ochilla.

#### **3.1. Pluviometría vertical**

Los datos pluviométricos disponibles son muy variados y corresponden a 40 estaciones, sin embargo las series de datos son escasos e incompletas. Distintos análisis de la precipitación en otros trabajos seleccionan diversas estaciones y períodos para tratar de obtener una medida lo más representativa posible.

Los trabajos consultados para esta síntesis, utilizan distintos métodos de cálculo y obtienen los siguientes resultados.

El "Programa Integral Concertado de Ordenación y Promoción de la Isla de El Hierro", realizado por el Ministerio de Agricultura, analiza datos de 10 estaciones. Calcula las precipitaciones que se producen con una probabilidad del 25, 50 y 75% obteniendo valores de 109,8, 92 y 65,1 hm<sup>3</sup>/año respectivamente lo que implica una precipitación media de 340,7 mm.

En el SPA-15 se dan precipitaciones de 390 mm que significarían 105 hm<sup>3</sup>/año.

Finalmente, en el Avance del Plan Hidrológico se establecen las isoyetas medias y se obtiene una lluvia anual media de 352,7 mm, es decir 95,2 hm<sup>3</sup>/año.

Los valores medios obtenidos son bastante coherentes oscilando entre 92 y 105 hm<sup>3</sup>/año que supone precipitaciones medias entre 340,7 y 390 mm.

Es importante señalar que la distribución espacial de la pluviometría varía, de manera que en la zona de menor intensidad (El Julán-Sur) difícilmente se alcanzan los 100 mm en cota inferior a 200 m, mientras que en la zona de la Meseta de Nisdafe se alcanza los 500 mm a los 1000 m de cota (Figura 4 y Plano I).

Estas precipitaciones determinan unas zonas climáticas que van de la húmeda (aproximadamente por encima de la cota 800 m) a la semiárida (por debajo de 200 m).

### **3.2. Pluviometría horizontal**

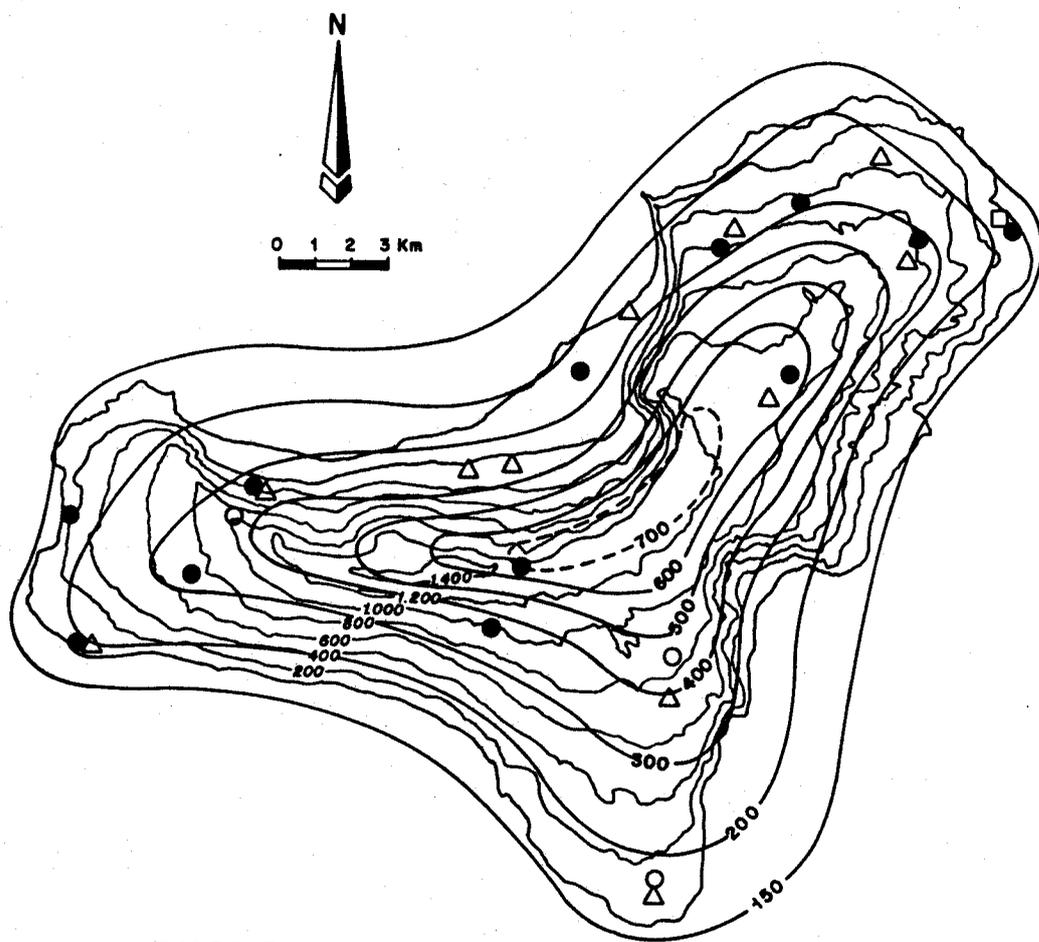
Otra de las aportaciones de agua al balance, es la que tiene su origen en la condensación de las nieblas que se denomina "precipitación horizontal".

En el presente proyecto se plantea una metodología para la evaluación de la recarga producida por las nieblas mediante la realización de un estudio denominado "Aplicaciones de las técnicas de control de la zona no saturada para calcular los caudales de infiltración en la isla de El Hierro" que se acompaña como Anexo en el Tomo II.

En dicho estudio, después de comentar los distintos métodos para el cálculo de la infiltración, se expone el procedimiento seguido para la instalación y medidas del dispositivo experimental, se analizan los resultados y se obtienen unas conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos se pueden resaltar los siguientes valores para distintos métodos:

- Método basado en la tensiometría: se obtienen valores de infiltración de 144 mm y 150 mm para el período de 1 mes considerado



**LEYENDA**

- 400 — Isoyetas de precipitación media anual ( $l/m^2 \times \text{año}$ )
- Estaciones termométricas
- " de apoyo
- △ " pluviométricas de lectura diaria
- Estación con pluviógrafo

**MAPA DE PRECIPITACION Y EVAPOTRASPIRACION**

**FIGURA 4**

- Método basado en la medida del gradiente hidráulico: se obtienen un valor de 12,51 mm en el mismo tiempo
- Método basado en los parámetros químicos, suponiendo régimen permanente: se alcanza un valor de 41,2 mm para un período de tiempo de una semana lo cual resulta un valor demasiado alto.

Estos valores obtenidos han de ser corregidos para integrarlos en el balance. Las correcciones principales son: referir las medidas a un año, considerar la superficie afectada por precipitación horizontal y tener en cuenta la evapotranspiración en la zona.

La corrección realizada para referir las medidas a un año es suponer que el régimen de nieblas dura 6 meses teniendo en cuenta que el período de medida utilizado en el experimento ha sido 1 mes.

La corrección debida a la superficie afectada se realiza al considerar que los vientos alisios superiores, que provocan las nieblas, provienen del NO y éstas sólo se forman a partir de los 900 m de cota. La superficie insular realmente afectada por el fenómeno de la precipitación horizontal se reduce a una franja, situada fundamentalmente en el escarpe de El Golfo, con una extensión de 25 km<sup>2</sup> (Figura 5 y Plano I).

Los resultados obtenidos no son aún los suficientemente fiables como para integrarlos en el balance, no obstante el planteamiento metodológico experimentado permitirá en el futuro la cuantificación de la precipitación horizontal.

### **3.3. Evapotranspiración**

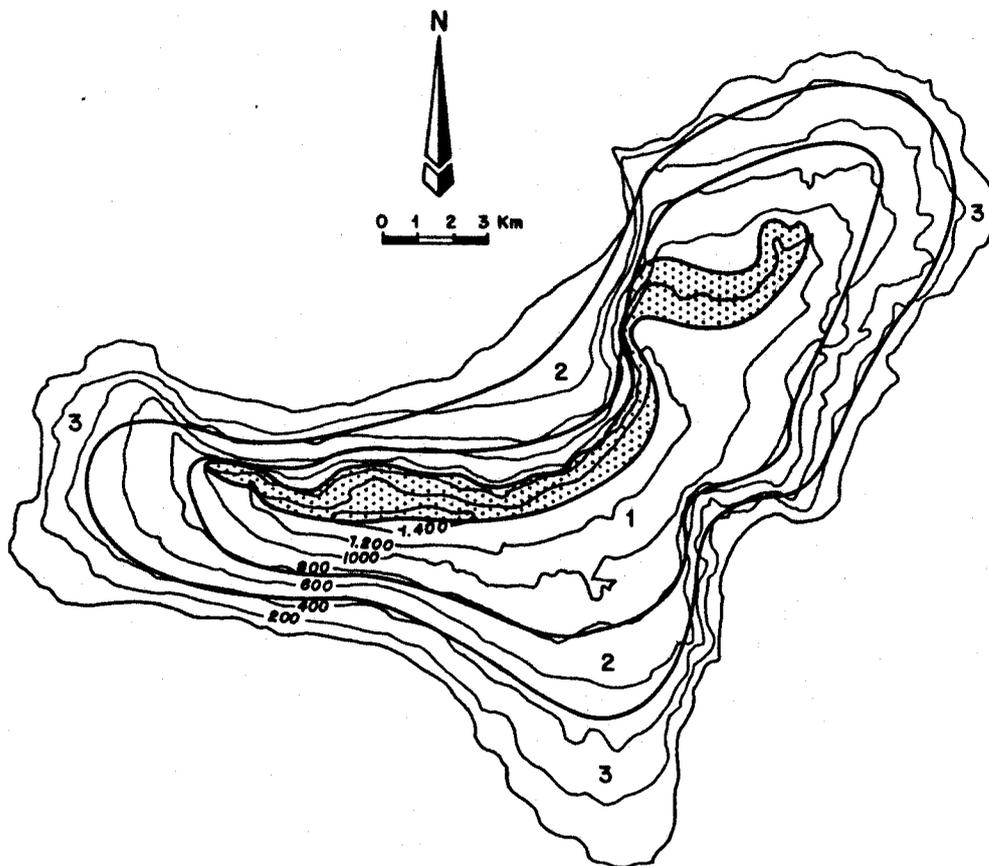
La valoración de este parámetro, como habitualmente ocurre, hay que realizarla por métodos indirectos al no existir medidas directas de la evaporación.

El método utilizado por el Avance del Plan Hidrológico es el de Thornthwaite que se basa en el conocimiento de la temperatura media mensual. Por este procedimiento se obtienen un valor de evapotranspiración media de 257,5 mm equivalentes, que suponen 69,5 hm<sup>3</sup>/año.

En el informe del SPA-15 para una misma superficie de 270 km<sup>2</sup> se obtienen una evapotranspiración de 304 mm que suponen 82 hm<sup>3</sup>/año.

### **3.4. Escorrentía**

Una vez valoradas la precipitación y la evapotranspiración, de la diferencia de ambas, se obtiene el volumen que discurre por los cauces o se infiltra.



**LEYENDA**

- 1 Zona húmeda
- 2 Zona seca
- 3 Zona semiárida
- Zona de incidencia de la precipitación horizontal

**MAPA CLIMATICO**

**FIGURA 5**

De nuevo es necesario hacer apreciaciones globales para cuantificar y repartir entre escorrentía superficial e infiltración los volúmenes excedentes.

Para la estimación del primer parámetro es necesario considerar la escorrentía propiamente dicha y la infiltración que se produce en los cauces antes de la desembocadura al mar. Habrá que tener en cuenta también la naturaleza de los materiales del cauce, las fracturas que lo intersecten, las pendientes, la geometría de los cauces, el régimen de precipitación, etc.

Las peculiares características de la isla de El Hierro facilitan en cierta medida la estimación de la escorrentía pues no existen cursos de agua, ni fenómenos de abarrancamiento en las zonas donde las lavas modernas originan suelos poco evolucionados y muy porosos. Los únicos barrancos con un desarrollo un poco mayor, son los excavados en la serie antigua, en la zona NE, entre Valverde e Isora. El más importante es el de Tiñor.

Teniendo en cuenta estas consideraciones parece adecuada la estimación de escorrentía en un 0,4% que se realiza en el Avance del Plan y que supone 0,3 hm<sup>3</sup>/año y sobredimensionada la estimación del SPA-15 que la valora en 3 hm<sup>3</sup>/año.

### **3.5. Infiltración**

Evidentemente este último factor del Balance Hídrico, que habitualmente se obtiene como diferencia entre el recurso disponible (precipitación menos evapotranspiración) y la escorrentía, está falseado por las imprecisiones cometidas en el cálculo de los demás parámetros.

Sin embargo su valoración concreta presenta tantas dificultades que necesariamente hay que realizar una estimación.

Los valores obtenidos en los distintos trabajos consultados están comprendidos entre el 20,5 y el 26,6% de la precipitación lo que supone un volumen entre 21 y 25,4 hm<sup>3</sup>/año.

### **3.6. Balance hídrico**

Establecer un balance hídrico en función de los valores obtenidos para los distintos parámetros que intervienen en él, es una cuestión puramente numérica que se resume en el Cuadro I.

<b>Fuente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Parámetro</b>	<b>Avance Plan Hidrológico</b>	<b>SPA-15 *</b>	<b>SPA-15 **</b>
Pluviometría (P)	95,2	108	105
Evapotranspiración (ETR)	69,5	84'	82
Diferencia (P-ETR)	25,7	24	23
Escoorrentía	0,3	3	2,7
Infiltración	25,4	21	20,3

Valores expresados en hm<sup>3</sup>/año

\* Considerando la superficie insular de 276 km<sup>2</sup>

\*\* Considerando la superficie insular de 270 km<sup>2</sup> como en el Plan Hidrológico

Cuadro I

Es necesario tener en cuenta que, las pequeñas variaciones que se detectan entre los valores obtenidos en los distintos trabajos, suponen un volumen significativo en el conjunto del análisis hidrogeológico de la isla. Si se considera que el consumo actual es de 1,4 hm<sup>3</sup>/año y la demanda para el horizonte 1997, 2,3 hm<sup>3</sup>/año, se comprende que los errores cometidos y acumulados invalidan en buena medida las consideraciones futuras. Así por ejemplo, la infiltración según los distintos estudios varía un 20% lo que significa entre 4 y 5 hm<sup>3</sup>/año y las estimaciones sobre la evapotranspiración difieren, según los autores, en unos 12-14 hm<sup>3</sup>/año.

En cualquier caso el Balance Hídrico es claramente favorable; dado el consumo actual y previsible, los excedentes de agua que se vierten al mar a través de los acuíferos son del orden de los 20 hm<sup>3</sup>/año (unas diez veces más que las necesidades). Sin embargo cuando se analice la influencia que las emanaciones de CO<sub>2</sub> tiene sobre la calidad, los recursos disponibles de este sistema excedentario se verá que son realmente reducidos.

## **4. HIDROGEOLOGIA**

La hidrogeología en terreno volcánico presenta unas peculiaridades que dificultan su estudio y requieren un tratamiento especial. Las consideraciones previas que ahora se plantean servirán para ayudar en la valoración y el comportamiento de las distintas unidades.

- Las formaciones volcánicas más interesantes desde el punto de vista hidrogeológico son las más extensas y potentes o aquellas que puedan influir en el movimiento del agua (diques).
- El tipo de lava, la cantidad de gases acompañantes, su carácter ácido o básico que influye en su viscosidad, el espesor, la formación de zonas brechoides de muro y techo y otras consideraciones de su estructura interna (disposición columnar, tubos y cuevas) condicionan su comportamiento hidrogeológico.
- Las Intercalaciones y discontinuidades en las acumulaciones volcánicas actúan con efectos a veces contrapuestos ya que los almagres (paleosuelos) y mortalcones (brechas) constituyen niveles muy poco permeables, mientras los diques que son discontinuidades verticales a veces muy frecuentes pueden ocasionar zonas de preferente circulación, más que por ellos mismos, por la fracturación asociada.
- Los fenómenos de heterogeneidad y anisotropía y el distinto comportamiento de lavas emitidas simultáneamente pero emplazadas sobre materiales distintos o soportando apilamientos posteriores más o menos intensos, son factores que condicionan también el flujo subterráneo.

Aunque aparentemente los fenómenos antes señalados pudieran sugerir un comportamiento aleatorio de las formaciones en un medio caótico, los estudios de detalle y el conocimiento de las formaciones y su comportamiento a través del inventario, permiten el establecimiento de ciertas leyes de organización de la hidrogeología en el conjunto insular.

### **4.1. Comportamiento hidrogeológico de las unidades**

Las distintas unidades descritas se comportan, en función de su naturaleza y su disposición, según los siguientes rasgos generales.

- El nivel inferior de la Serie Antigua (SA1), constituido por lavas y piroclastos basálticos imbricados, ha sufrido sobre todo el efecto de la compactación, siendo ésta más intensa en los piroclastos que pierden la mayor parte de los huecos para convertirse en masas compactas. Por lo tanto, éstos, presentarán una permeabilidad muy baja en relación con las lavas que conservan su baja permeabilidad inicial, mejorada por la fracturación secundaria que origina la compactación.

- Los niveles de la Serie Antigua (SA2 y SA3), considerados conjuntamente desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, están constituidos por lavas, no exclusivamente basálticas, en predominio sobre los piroclastos. Por otro lado su alteración posterior ha sido baja y su compactación prácticamente nula conservándose una buena proporción de huecos conectados (principalmente las coladas tipo pahoehoe) lo que les confiere una permeabilidad global alta sólomente atenuada por los niveles piroclásticos.
- La serie Moderna, constituida por lavas y piroclastos recientes, no ha experimentado ni alteración ni compactación y ocupa prácticamente la totalidad de la superficie insular. Por otra parte no se ha desarrollado un suelo que pudiera impermeabilizar las zonas aflorantes. En consecuencia, se está ante una formación extraordinariamente permeable que ocasiona una eficaz infiltración de la lluvia y las nieblas y un rápido flujo vertical hacia las formaciones infrayacentes.

#### **4.2. Factores modificadores del comportamiento hidrogeológico**

Las unidades antes descritas se comportan teóricamente según los parámetros indicados, pero en la práctica, existen otros factores que modifican sensiblemente dicho comportamiento como son los diques, la fracturación, los ejes estructurales y la existencia en la zona de El Golfo de unas condiciones particulares como consecuencia de la presencia del Mortalón.

Los diques pueden actuar en un doble sentido, como barreras impermeables impidiendo el flujo horizontal y como zonas fracturadas de preferente circulación, anulando el efecto de las pequeñas intercalaciones de materiales poco permeables de la serie.

Los diques, que inicialmente tienen una baja o nula permeabilidad, cuando no están afectados por una fracturación posterior actúan como pantallas impidiendo el flujo horizontal. Cuando están fracturados, como suele ser normal, actúan como vías preferente de circulación comunicando acuíferos.

La disposición de los diques según los ejes estructurales, ya sea fracturados o no, están condicionando el flujo según planos paralelos a los ejes, favoreciendo la circulación, en dicho plano, en sentido vertical en la zona no saturada y en sentido horizontal en la zona saturada.

La fracturación secundaria, que como ya hemos visto afecta a los diques condicionando su comportamiento, actúa también sobre las distintas unidades ocasionando fisuras abiertas. Su dirección, en el mismo sentido que la red filoniana y por lo tanto que los ejes estructurales, refuerza el sentido preferente de circulación según los ejes en vertical y horizontal.

Por otro lado, la fracturación que afecta a la serie moderna sin modificar sensiblemente su permeabilidad (ya de por sí alta), influye decisivamente en el aumento de la permeabilidad en las zonas compactadas de la serie antigua, unificando el comportamiento de ambos conjuntos en las franjas más fracturadas que, como ya hemos señalado, corresponden a los ejes estructurales.

**La zona de El Golfo** presenta unas particularidades hidrogeológicas específicas derivadas de la génesis de dicho accidente.

El deslizamiento gravitacional que lo originó, dió lugar a una formación brechoide y cementada conocida como "mortalón" que constituye una barrera hidrogeológica y separa en la zona del Valle un acuífero superficial de lavas jóvenes muy permeables y un acuífero inferior, en la serie antigua, desconectados por el mortalón. A este no le han afectado sensiblemente la red filoniana ni la fracturación secundaria, fundamentalmente debido a que no se sitúa en la zona de los ejes estructurales donde estas manifestaciones tienen su mayor incidencia.

En los bordes de la depresión queda al descubierto el acuífero inferior que con su red de filones y fracturas asociados canaliza las aguas meteóricas rápidamente en sentido vertical.

Por su parte el acuífero superficial se alimenta de la precipitación directa y lateralmente, en las proximidades del escarpe, de las aguas de infiltración rápida, precipitadas sobre la meseta de Nisdafe. Este mecanismo de recarga es ratificado por el análisis hidroquímico. Este acuífero está afectado por las emanaciones recientes de CO<sub>2</sub> en su zona occidental y dada su gran permeabilidad, es muy sensible a la intrusión salina.

En resumen, la hidrogeología de la isla se rige fundamentalmente por los ejes estructurales y los fenómenos asociados (diques y fracturación) que modifican las propiedades hidrogeológicas de las unidades, unificándolas. En la zona de El Golfo se produce una situación particular con la superposición de dos acuíferos.

La circulación es fundamentalmente radial en las direcciones de los ejes, con flujo vertical en la zona no saturada y horizontal, en la misma dirección, en la zona saturada.

### **4.3. Inventario de puntos de agua**

Como todo inventario de puntos de agua, el de la isla de El Hierro es dinámico, es decir necesita una permanente actualización para incorporar aquellas captaciones de reciente ejecución, anular aquellas otras que van desapareciendo (agotamiento, intrusión, etc.) y en aquellos puntos de interés realizar las medidas periódicas de control de nivel y calidad.

Durante la ejecución de este proyecto de actualización de la infraestructura hidrogeológica de la isla se han realizado sobre el inventario las siguientes actuaciones:

- Medida de nivel y análisis de campo (conductividad, pH, temperatura, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) en toda la red menos en seis puntos que no se explotan.
- Inclusión en el inventario de una nueva galería, el Julán.
- Actualización de los datos de explotación.

Según este inventario, el ITGE tiene registradas en la isla 64 obras de captación distribuidas de la siguiente manera (Figura 6 y Plano I):

- 30 sondeos (S)
- 6 nacientes (N)
- 4 galerías (G)
- 6 pozos (P)
- 13 pozos con galería (PG)
- 5 galerías con pozo (GP)

En el resumen de inventario que se adjunta, se especifican las características principales y se acompañan los números de orden de otros inventarios realizados por distintos organismos.

El inventario realizado por el Avance del Plan Hidrológico incluye una serie de nacientes y obras, que actualmente son pequeños rezumes, han desaparecido o son improductivos, que no están incluidos en el inventario del ITGE. Los sondeos realizados por el SGOP en el valle del El Golfo, no están incluidos en el inventario del Avance y sí en el del ITGE.

El mayor porcentaje de puntos se sitúa en la zona de El Golfo (72%) mientras el resto se reparten por la isla.

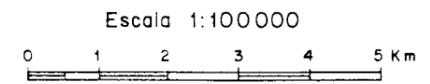
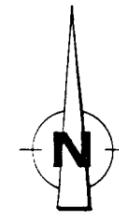
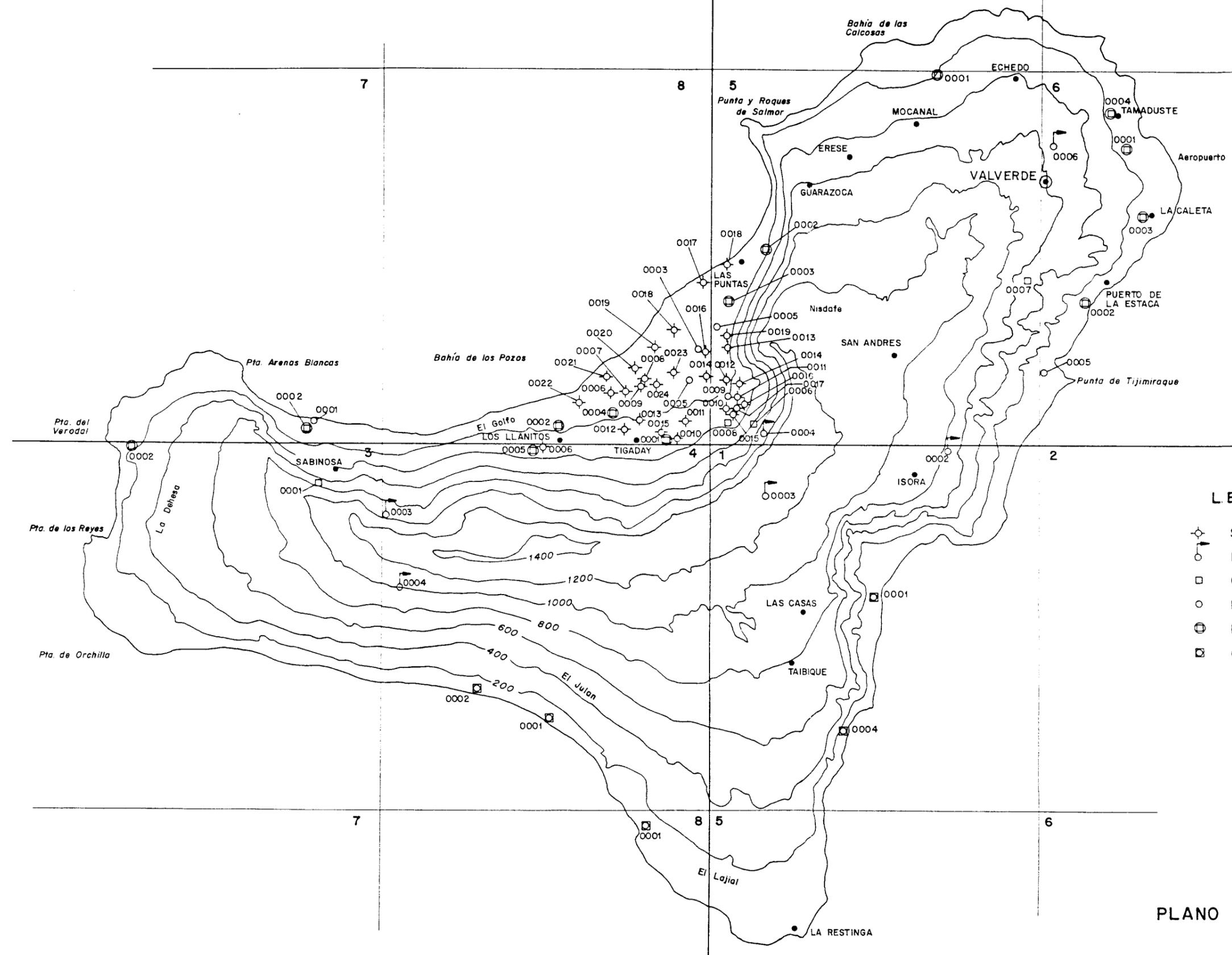
La mayor profundidad alcanzada por un sondeo en la isla es de 300 m aunque lo normal es que sean pozos de unos 100-150 m. La galería de mayor longitud es la de Tincos con 1.770 m siendo lo más frecuente la realización de pozos con galerías o galerías en trancada. Los manantiales, cuyos caudales de base son muy bajos, se sitúan entre las cotas 555 y 1.280, son muy sensibles a las precipitaciones y se utilizan para el ganado.

#### **4.4. Piezometría**

Con objeto de controlar la piezometría de la isla, se ha realizado en este proyecto una campaña de medidas que queda reflejada en las fichas del Tomo III.

Las principales conclusiones sobre la evolución piezométrica se obtienen en el valle de El Golfo donde es posible comparar las medidas actuales con otras realizadas en 1982 y 1989. En la figura 7 se representan las isopiezas correspondientes.

Se pueden apreciar las siguientes particularidades:



LEYENDA

- ⊗ Sondeo
- Naciente
- Galería
- Pozo
- ⊗ Pozo con galería
- ⊠ Galería con pozo

PLANO DE INVENTARIO



## RESUMEN DE INVENTARIO

Nº REGISTRO ITGE	Nº P.I.C.	Nº PLAN HIDRO.	Nº SPA 15	Nº SGOP	TOPONIMIA	NATU- RALEZA	COTA (m)	PROF. (m)	LONGITUD HORIZON. (m)	NIVEL (m)	CONDUCTIV. (µmhos/cm)	CAUDAL MAXIMO (m³/año)	USO	OBSERVACIONES
34370001	--	48	23	--	La Salud	Pozo 4	10	10,6	--	26.4.89 9,7	26.4.89 15.300	--	9	Agua minero-medicinal
34370002	PG-2	50	36	--	San Simón	Pozo-Gal. 8	25	25	18-15	--	23.8.84 3.020	--	Abandonado 0	
34380001	PG-6	58	37	--	Tigaday	Pozo-Gal. 8	273,73	280	160 113	30.6.90 274,50	30.6.90 1.082	280.000	Abast.Agri- cultura 4	
34380002	PG-4	33	10	--	Los Llanillos	Pozo-Gal. 8	177,87	175	680	17.4.89 177,20	17.4.89 2.880	220.000	Agricultura 2	
34380003	P-9	19	39	--	La Coruja	Pozo 4	75,98	75	--	30.6.90 74,17	30.6.90 2.120	5.000	Agricultura 2	
34380004	PG-5	55	49	--	Tejeguante	Pozo-Gal. 8	177,50	175	290	30.6.90 175,40	30.6.90 1.444	--	No se usa 0	
34380005	P-8	21	38	--	Fátima o El Matorral	Pozo 4	136,97	138	--	29.1.89 135,75	--	314.000	Agricultura 2	
34380006	--	--	--	P1-S1	--	Sondeo 1	120,95	134,45	--	25.10.82 118,51	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380007	--	--	--	P2-S1	--	Sondeo 1	130,76	135	--	25.10.82 128,32	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380008	--	--	--	P3-S1	--	Sondeo 1	120,32	125	--	25.10.82 118,12	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380009	--	--	--	P3-S2	--	Sondeo 1	114,16	154	--	25.10.82 111,93	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380010	--	--	--	S-5	--	Sondeo 1	270	270,70	--	--	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380011	--	--	--	S-6	--	Sondeo 1	250,91	255	--	25.10.82 247,70	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380012	--	--	--	S-10	--	Sondeo 1	277	279	--	6.90 274,5	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380013	--	--	--	S-11	--	Sondeo 1	206,39	212	--	25.10.82 203,80	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380014	--	--	--	S-12	--	Sondeo 1	128,73	133,70	--	--	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
34380015	--	--	--	S-16	--	Sondeo 1	265,83	280	--	25.10.82 263,20	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.

NATURALEZA : POZO (P), POZO CON GALERIA (PG), GALERIA (G), GALERIA CON POZO (GP), MANANTIAL (M), SONDEO (S)

## RESUMEN DE INVENTARIO

Nº REGISTRO ITGE	Nº P.I.C.	Nº PLAN HIDRO.	Nº SPA 15	Nº SGOP	TOPONIMIA	NATU-RALEZA	COTA (m)	PROF. (m)	LONGITUD HORIZON. (m)	NIVEL (m)	CONDUCTIV. (µmhos/cm)	CAUDAL MAXIMO (m³/año)	USO	OBSERVACIONES
344380016	--	--	--	S-20	--	Sondeo 1	89,21	98	--	25.10.82 86,93	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380017	--	--	--	L1-P1	--	Sondeo 1	45,31	47	--	25.10.82 42,56	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380018	--	--	--	L1-P2	--	Sondeo 1	57,38	67	--	25.10.82 55,11	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380019	--	--	--	L1-P3	--	Sondeo 1	67,42	72	--	25.10.82 65,03	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380020	--	--	--	L1-P4	--	Sondeo 1	66,10	78	--	25.10.82 65,82	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380021	--	--	--	L1-P5	--	Sondeo 1	97,47	103	--	25.10.82 95,39	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380022	--	--	--	L1-P6	--	Sondeo 1	112,51	118	--	25.10.82 110,27	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380023	--	--	--	L2-P3	--	Sondeo 1	115,46	123	--	25.10.82 113,13	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344380024	--	--	--	L2-P4	--	Sondeo 1	134,21	143	--	25.10.82 132,36	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
344430001	--	46	50	--	Lomo del Trebol	Galeria 7	700	--	303	--	--	--	No se utiliza (seca) 0	
344430002	PG-1	63	35	--	El Verodal	Pozo-Gal. 8	60	66	1.270	--	23.8.84 1.559	--	No se utiliza 0	
344440001	--	29	2	--	Los Jables	Gal.-Pozo D	10	2,5	1.005	16.4.89 10	16.4.89 2.050	--	No se utiliza 0	
344440002	--	3	34	--	Las Alcusas	Gal.-Pozo D	8	0,5	738	16.4.89 4	16.4.89 1.728	--	No se utiliza 0	
344440003	F-1	36	7	--	Manantial Mancafite	Manant. 3	980	--	--	--	27.4.89 355	--	Abastecimt. E	
344440004	F-3	45	9	--	Rodrigo	Manant. 3	740	--	--	--	8.8.84 315	--	Ganaderia 8	
344440005	PG-3	18	9	--	Chirgo	Pozo-Gal. 8	264,77	264	30	--	21.8.84 2.000	--	No se utiliza 0	
344440006	--	--	--	S-17	--	Sondeo 1	247,12	262,20	--	25.10.82 244,43	--	----	No se utiliza 0	

NATURALEZA : POZO (P), POZO CON GALERIA (PG), GALERIA (G), GALERIA CON POZO (GP), MANANTIAL (M), SONDEO (S)

## RESUMEN DE INVENTARIO

Nº REGISTRO ITGE	Nº P.I.C.	Nº PLAN HIDRO.	Nº SPA 15	Nº SGOP	TOPONIMIA	NATU - RALEZA	COTA (m)	PROF. (m)	LONGITUD HORIZON. (m)	NIVEL (m)	CONDUCTIV. ( $\mu$ mhos/cm)	CAUDAL MAXIMO (m <sup>3</sup> /año)	USO	OBSERVACIONES
344440007	--	--	--	--	El Julán	Galeria Pozo	20	--	750	--	28.6.90 1.432	--	No se usa	
344480001	--	51	33	--	Tacorón	Galeria Pozo	40	3	1.510	15.4.89 38	1.7.90 765	--	Abastecim. 1	
354320001	--	--	--	--	Las Salinas	Pozo	50	--	--	--	--	--	--	
354350001	PG-13	54	8	--	Tancajote	Pozo-Gal. 8	110	168	30	25.4.89 168	29.6.90 2.790	24.000	Abastecim. E	
354350002	PG-12	15	11	--	Las Casitas	Pozo-Gal. 8	60	60	170	--	25.4.89 535	15.000	Abast.rega- dio 4	
354350003	PG-11	39	42	--	Los Padrones	Pozo-Gal. 8	52,69	51,5	270	26.4.89 51,30	1.7.90 2.090	11.000	Abast.Reg- dio 4	
354350004	F-8	61	53	--	Los Tincos	Manant. 3	890	--	--	--	11.8.84 547	--	Ganadería 8	
354350005	P-10	1	40	--	Agua Nueva	Pozo 4	57,27	56,23	--	25.1.89 55,26	31.7.84 1.641	--	Agricultura 2	
354350006	--	16	52	--	Charcos de Tincos	Galeria 7	600	--	281	--	--	--	No se usa 0	
354350007	--	59	45	--	Tijirota	Galeria 7	500	--	916	--	--	--	No se utiliza 0	
354350008	--	60	46	--	Tincos	Galeria 7	320	--	1.770	--	--	--	No se utiliza 0	
354350009	P-7	24	41	--	Frontera	Pozo 4	232,92	235	--	25.1.89 231,41	29.6.90 473	729.000	Agricultura 2	
354350010	--	--	--	S-7	--	Sondeo 1	253,67	252	--	25.10.82 249,33	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350011	--	--	--	S-8	--	Sondeo 1	236,04	247,5	--	--	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350012	--	--	--	S-9	--	Sondeo 1	164,45	176	--	25.10.82 161,34	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350013	--	--	--	S-13	--	Sondeo 1	110,41	125	--	25.10.82 108,14	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350014	--	--	--	S-14	--	Sondeo 1	239,32	267,70	--	25.10.82 229,25	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.

NATURALEZA : POZO (P), POZO CON GALERIA (PG), GALERIA (G), GALERIA CON POZO (GP), MANANTIAL (M), SONDEO (S)

## RESUMEN DE INVENTARIO

Nº REGISTRO ITGE	Nº P.I.C.	Nº PLAN HIDRO.	Nº SPA 15	Nº SGOP	TOPONIMIA	NATU - RALEZA	COTA (m)	PROF. (m)	LONGITUD HORIZON. (m)	NIVEL (m)	CONDUCTIV. (µmhos/cm)	CAUDAL MAXIMO (m³/año)	USO	OBSERVACIONES
354350015	--	--	--	S-15	--	Sondeo 1	282,53	294	--	25.10.82 266,95	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350016	--	--	--	S-18	--	Sondeo 1	280,04	277	--	--	--	--	No se utiliza 0	Sondeo del S.G.O.P.
354350017	--	--	--	S-19	--	Sondeo 1	275,58	276,7	--	25.10.82 270,67	--	--	No se utiliza 0	
354350018	--	--	--	L1-PC	--	Sondeo 1	56,20	66	--	25.10.82 54,86	--	--	No se utiliza 0	
354350019	--	--	--	L2-P1	--	Sondeo 1	80,38	88	--	25.10.82 79,17	--	--	No se utiliza 0	
354360001	PG-15	52	6	--	Tamaduste	Pozo-Gal. 8	105	105	250	7.4.89 106	--	--	Abastecim. E	
354360002	PG-17	62	43	--	Varadero	Pozo-Gal. 8	35	26,5	300	7.4.89 27,50	29.6.90 1.904	112.000	Abastecim. E	
354360003	PG-16	12	13	--	La Caleta	Pozo-Gal. 8	60	61	463	24.4.89 63,20	1.7.90 3.710	8.000	Abastecim. E	
354360004	P-14	53	7	--	El Manantial	Pozo-Gal. 8	45	43,9	38	29.6.90 44	29.6.90 1.672	--	No se utiliza 0	
354360005	P-18	57	44	--	Tijimiraque Nuevo	Pozo 4	85	76	--	29.6.90 76,7	29.6.90 2.920	20.000	Abst.riego 4	
354360006	F-14	49	48	--	San Lázaro	Manant. 3	555	--	--	--	30.6.90 702	--	Ganaderia 8	
354410001	GP-19	41	3	--	El Parador	Gal.-Pozo D	10	100	170	27.4.89 10	29.6.90 816	7.000	Abaste. 1	
354410002	F-9	27	2	--	Manantial Isora	Manant. 3	730	--	--	--	29.6.90 376	--	Ganaderia 8	
354410003	F-7	34	3	--	Del Lomo	Manant. 3	1.280	--	--	--	9.8.84 540	--	Ganaderia 8	
354410004	GP-20	26	42	--	Icota	Gal.- Pozo D	7,6	--	375	--	21.8.84 1.353	--	Abastec. (Isora) E	

NATURALEZA : POZO (P), POZO CON GALERIA (PG), GALERIA (G), GALERIA CON POZO (GP), MANANTIAL (M), SONDEO (S)

- Las campañas de 1982 y 1989 ocasionan isopiezas casi superponibles en la zona costera y para los valores de 0 y 2 m.
- En la campaña de 1989 se pone de manifiesto un cono de depresión entre Las Lajas y Guinea.
- En la campaña de 1990 se obtiene un descenso generalizado y acusado de los niveles. La línea de 2 m alcanza Las Lapas, no aparece un cono definido aunque se sigue notando la influencia del bombeo en Guinea.

En el resto de la isla las medidas de nivel piezométrico no permiten dibujar un plano de isopiezas dado que las medidas son aisladas, no homogéneas (pozos, galerías) y no siempre corresponden al nivel estático. Tampoco se dispone de medidas anteriores representativas que permitan establecer la evolución.

#### **4.5. Parámetros hidrogeológicos**

Para cuantificar el comportamiento de los acuíferos es necesario conocer sus parámetros hidrogeológicos o al menos algunos valores orientativos que permitan comparar unos acuíferos con otros.

Existen dos factores principales que dificultan esta valoración: los debidos a la construcción de la captación y los factores modificadores que se han analizado en el apartado anterior. De esta manera, sondeos o galería construidos en una misma formación afectada o no por fracturación, en la misma dirección de los diques o cortándolos perpendicularmente darán valores muy dispares.

La información disponible para esta valoración se basa en los datos obtenidos en el SPA-15 que CUSTODIO, E. (1979) recoge en "Geohidrología de terrenos e islas volcánicas" y los datos relativos al informe 1/85 del MOPU. Aunque los valores son ciertamente dispares, permiten obtener un orden de cifras para distintos parámetros y formaciones según queda reflejado en el cuadro adjunto.

La porosidad, que es la relación entre el volumen de fisuras y el volumen de la roca, disminuye en profundidad y se puede observar como las formaciones basálticas modernas alcanzan valores similares a las escorias. En cuanto a la porosidad eficaz, que es la relativa a los huecos comunicados, es siempre menor que la total ya que es frecuente en terrenos volcánicos la presencia de huecos no comunicados.

Los valores de la transmisividad resultan especialmente dispares ya que mientras en formaciones basálticas antiguas de Gran Canaria los valores son de 5-20 m<sup>2</sup>/d, en la galería de Icota, que intersecta la serie antigua de El Hierro, los valores se disparan a 5.000 m<sup>2</sup>/d probablemente por la fracturación secundaria o los diques que se atraviesan.

En cuanto a los caudales específicos las cifras obtenidas parecen más coherentes, dando valores menores de la unidad en basaltos antiguos y entre 1 y 10 l/s/m en basaltos jóvenes o zonas escoriáceas.

Los valores de la permeabilidad también están fuertemente afectados por la consolidación, fracturación e intrusión de diques, de manera que los valores en basaltos antiguos no llegan a 1 m/día mientras que en los modernos, los valores normales de 10 m/día llegan a convertirse en 500 m/día lo que supone una permeabilidad excepcional y sólo debe tomarse como tal.

Material Pozo o Zona	m.t %	m.e %	T m <sup>2</sup> /d	q <sub>e</sub> l/s/m	K m/día	Fuente de Información
Formaciones basálticas antiguas (G.Canaria)		0,1 a 1	5 - 20	0,05 - 1	0,05 - 0,5	SPA-15
Formaciones basálticas modernas (Tenerife)	50 - 60	0,5 - 2	100 - 500		125 - 500	SPA-15
Escorias basálticas recientes (Lanzarote)	40 - 16					SPA-15
SA 1 (Icota, El Hierro)			5.000			SGOP (1/85)
SA 1 (Tancajote, El Hierro)			700 - 1.300			SGOP (1/85)
Valle del Golfo				0,34 - 4,6		SGOP (1/85)
Terrazas marinas levantadas		3 - 5	200 - 800		1,5 - 5	SPA-15

m.t : porosidad total  
T : transmisividad

m.e : porosidad eficaz  
q<sub>e</sub> : caudal específico

K : permeabilidad

Cuadro II

#### 4.6. Análisis de la influencia de las mareas

En el estudio que se ha realizado para conocer el comportamiento de las aguas subterráneas en la isla de El Hierro, se ha considerado necesario analizar el efecto que ejercen las mareas sobre el nivel piezométrico.

Para tratar de conocer dicha influencia se han instalado en una galería próxima a la costa dos limnógrafos que deberían registrar las variaciones mareales, lo que permitiría establecer los parámetros hidráulicos del acuífero afectado.

El procedimiento operativo fue el siguiente:

- Se seleccionó como galería de control la de El Julán con número de registro nacional 3444-4-0007 y coordenadas U.T.M.  $x = 199.480$ ,  $y = 3066690$ .
- Se instalaron en ella dos limnógrafos verticales de la marca SEBA mod-Alpha, con una distancia entre ellos de 204,9 m y a una distancia de la boca de la galería (es decir del mar) de 545,1 y 750 m respectivamente.
- Los limnógrafos se calibraron con la máxima sensibilidad (relación de escalas 1:20) y se registró continuamente las variaciones con períodos de rotación del tambor de 1 día en una primera medida y 1 mes posteriormente.
- El limnógrafo 1, situado a 454,1 m de la boca, se puso en marcha el día 28.6.90 a las 12,20 h y estuvo funcionando durante 62 días y 8 h.
- El limnógrafo 2, situado a 750 m de la boca, se puso en marcha el mismo día a las 12,58 h y estuvo funcionando 19 días. Se paró antes de lo previsto al estropearse las pilas por la humedad ambiental en la galería.

La base teórica que justifica la experiencia está tomada de Jacob, 1950 que establece que en un acuífero cautivo conectado con el mar y prescindiendo de las diferencias de densidades se cumple:

$$\Delta h = \Delta H_o \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_o T}}\right) \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi t}{t_o} - \sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_o T}}\right]$$

donde:

$\Delta h$  = variación del nivel en el acuífero respecto al valor medio

$\Delta H_o$  = semiamplitud de la oscilación de la marea

$x$  = distancia entre el punto de observación y la costa

$t_o$  = período de marea

$S$  = coeficiente de almacenamiento

$T$  = transmisividad

En dicha fórmula la expresión  $\sqrt{\frac{rs^2}{L^2T}}$  es el retraso con que se observa la marea en el

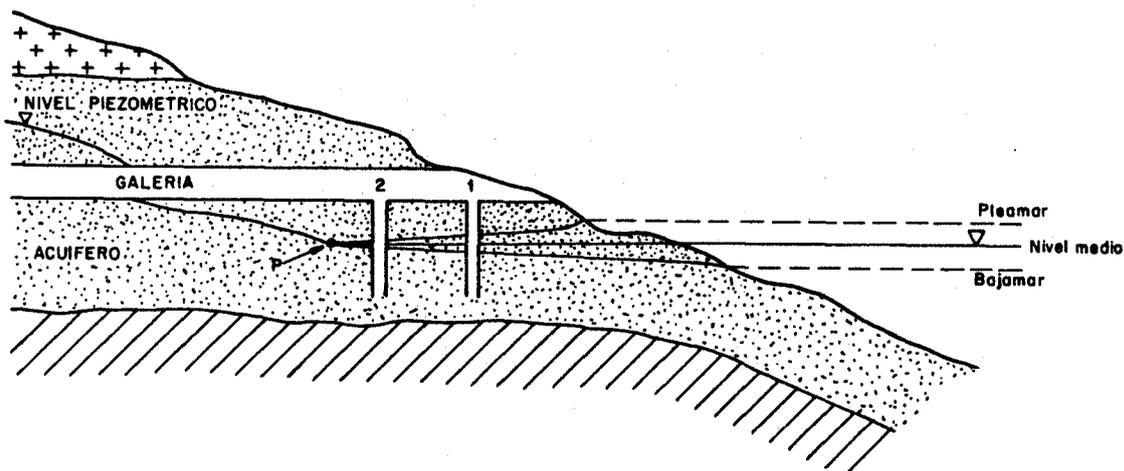
Interior de la galería pudiendo suceder que el nivel piezométrico asciende mientras la marea desciende.

Si existiera influencia de marea se podría detectar el retraso que se produce, en función de la distancia a la boca de la galería ya que se dispone, para la realización de esta experiencia, de los datos de marea en la época considerada facilitados por la Comandancia de Marina de Las Palmas. De esta manera con los retrasos en dos puntos de la galería se podrían calcular los parámetros del acuífero.

Desafortunadamente los registros obtenidos en los limnigrafos han sido totalmente lineales por lo que, salvo errores en su funcionamiento, en la zona considerada y a esa distancia del mar no se aprecia ninguna influencia mareal.

Para que una experiencia de este tipo, que en definitiva pretende calcular transmisividades en materiales volcánicos por métodos indirectos, dé resultado, parece necesario seleccionar los sondeos o galerías más próximos a la costa, y con la longitud suficiente para situar dos puntos de control alejados entre sí.

El esquema de situación sería el siguiente:



• P = Punto más alejado de la afección

1 y 2 = Catas para situar los limnigrafos

Fig. 8. Esquema teórico de control de la influencia de las mareas

**En la isla de El Hierro este control podría también intentarse en el Valle de El Golfo instrumentando dos sondeos que atraviesen la misma formación y situados a distinta distancia de la costa. Probablemente los sondeos 3443-8-0017 y 3443-8-0018 realizados por el S.G.O.P. reúnan las condiciones necesarias para su selección.**

## **5. HIDROQUIMICA**

En aquellas zonas en las que los recursos de agua disponibles son pequeños o las necesidades se concentran en áreas muy localizadas, la calidad química del agua disponible adquiere una importancia decisiva a la hora de valorar los recursos y planificar las explotaciones futuras. Los datos hidroquímicos aportan también información interesante sobre aspectos geológicos e hidrogeológicos que hay que tener presentes para el mejor conocimiento de la hidráulica insular.

El agua subterránea adquiere su composición química a lo largo del sistema de flujo, normalmente de forma gradual, por disolución y reacción con los materiales que encuentra a su paso. Estos procesos de adquisición de sales pueden verse alteradas por procesos modificadores, que provocan un empeoramiento brusco de la calidad.

En la isla de El Hierro estos fenómenos modificadores son dos e inciden de tal manera en la calidad del agua que la presencia de uno de ellos condiciona la utilización o no de la misma, según se desprende de los estudios hasta ahora realizados.

Estos fenómenos son: la intrusión salina y los aportes de dióxido de carbono.

Por otra parte, la especial configuración hidrogeológica de la zona del valle de El Golfo y una mayor incidencia de la demanda en dicha zona, requieren un análisis independiente de su hidroquímica.

Durante la realización del presente proyecto se han realizado desde el punto de vista de la hidroquímica las siguientes actuaciones:

- Análisis de campo de aquellos parámetros susceptibles de modificarse con el tiempo. Se ha realizado la determinación en 24 puntos de los siguientes parámetros: T°C, conductividad, pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y dureza. Los datos obtenidos se presentan en el cuadro adjunto con los correspondientes a la medida anterior. Cuadro III.
- Análisis de laboratorio de 36 muestras en las que se determinan además de los contenidos de los diferentes iones, los parámetros físicos principales y las relaciones iónicas más significativas. Los análisis figuran en el Anexo I y en el cuadro adjunto se resumen los resultados obtenidos. Cuadro IV.

Con los datos obtenidos de estos análisis de campo y laboratorio se ratifican algunos de los fenómenos hidroquímicos observados en la isla y se obtienen valores de CO<sub>2</sub> menores a los que tradicionalmente se han obtenido. La situación de los puntos muestreados y analizados queda reflejada en la figura 9.

Nº	Nivel al 6-90	Medida anterior 8-89					Medida actual 6-90				
		T°C	Conductividad (µmhos/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)	T°C	Conductividad (µmhos/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)
3544											
1001		21	1.650	7,2	8	25	22,5	816	8,3	9	20
1002		14,8	320	7,9	9	10	22	376	7,4	8	10
1004							22	1733	8,2	9	20
3444											
4003		9					18,8	445	7,3	7	15
4004			355	5,4	7	5	22,3	395	7,2	8	30
4006	244,49										
8001		20,6	1.225	7,4			22	765	8,5	8	10
3443											
7001	9,85	21,5	15.300	7,1	5	165	22,3	13.970	7,1	5	155
8001	274,5	20,5	1.107	6,5	7	60	21,4	1.082	7,5	8	35
8002		23,9	2.880	6,5			22,8	3.710	6,9	8	
8003	74,17	17,1	2.010	7,4	9	10	21	2.120	7,8	10	10
8004	175,4	17,8	748	6,9	7	15	21	1.444	8,1	9	20
8005	135,8						23	2.030	8	9	35
8006	118,8										
8007	128,6										
8008	118,3										
8009	112										
8012	274,5										
8013	204,16										
8015	263,20										
8016	87,40										
8017	42,50										
8019	65,56										

Cuadro III. Medidas de campo

Nº	Nivel al 6-90	Medida anterior 8-89					Medida actual 6-90				
		TC	Conductividad (µmhos/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)	TC	Conductividad (µmhos/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)
8020	67,17										
8021	95,3										
8022	110,38										
8023	113,43										
8024	132,5										
3543											
5001		18,5	2.670	6	9	10	21,5	2.790	8	10	15
5002		19,5	535	6,7	9	15	22,2	457	8	9	20
5003		18,3	391	6,7	7	10	21,4	427	8,1	8	10
5005	54,20						22,5	1.842	7,8		35
5009	229,8						21	473	7,9	9	5
5010	250										
5011	231,8										
5012	161,6										
5013	108										
5014	229,9										
5015	268,6										
5017	271,1										
5018	54,77										
5019	79,29						22	861	7,6	9	50
6001		18,8	775	7,8			22	1.904	8,1	9	15
6002		21	1.715	7,9			21	3.710	6,9	3	80
6003		19,5	3.310	6,7	2	95	22,5	1.672	7,4	4	55
6004		20	1.590	6,8	7	35	21,5	2.920	7,5	10	15
6005	76,7	19,6	1.050	6,5	10	15	18	702	7,2	7	10
6006											
4007							21	1.432	7,2	8	110

Cuadro III. Medidas de campo (Cont.)

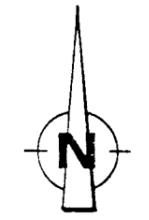
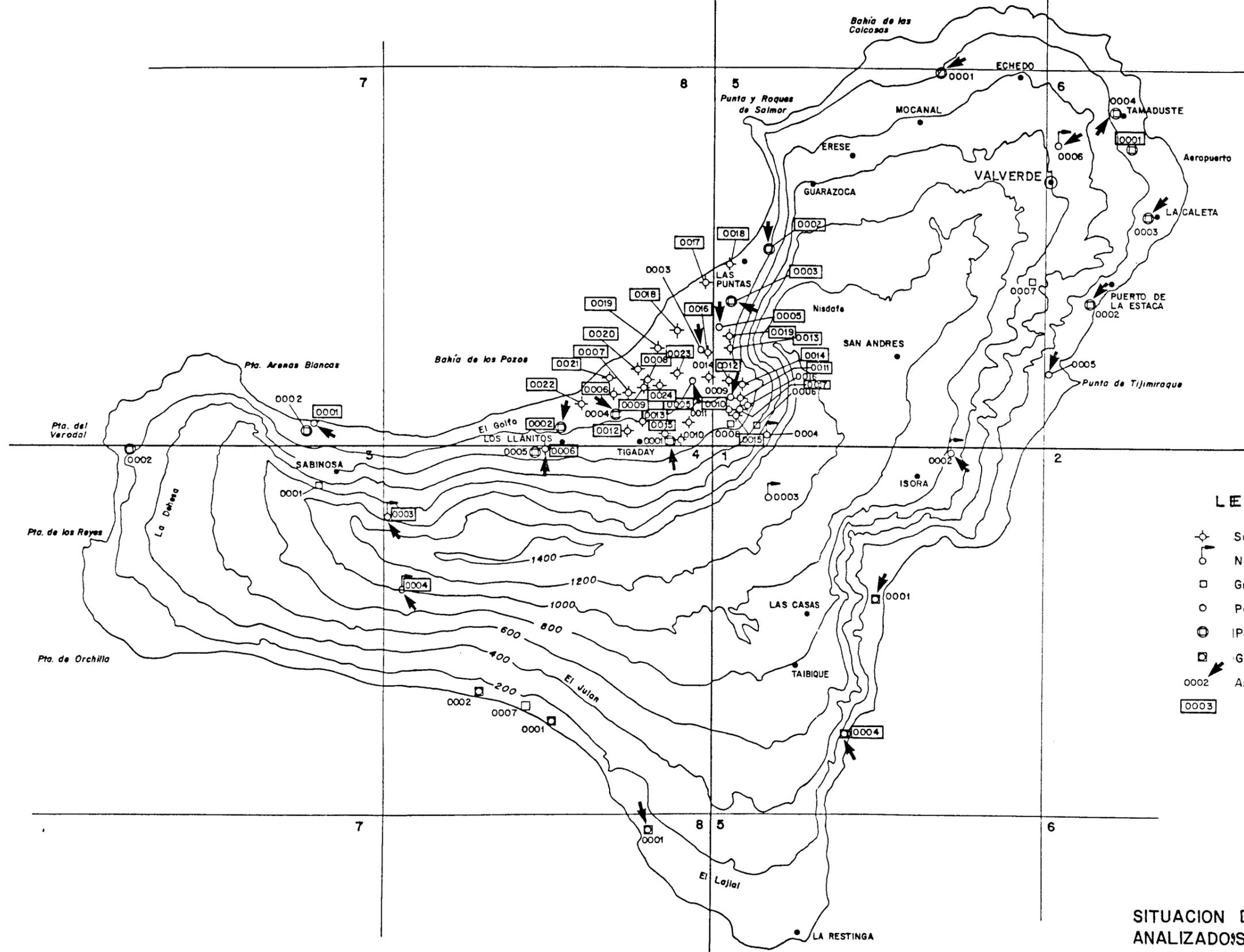
Nº Análisis	Li	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Cond.	Dureza	pH	Res.seco
344370001	0.00	137.02	3.07	9.00	37.17	0.05	18.47	147.18	0.00	22.39	0.00	0.01	15620.00	2308.50	7.35	8221.05
344380002	0.00	23.06	1.79	6.00	19.82	0.00	7.59	18.70	0.00	25.39	0.00	0.00	4210.00	1291.20	7.46	2215.79
344380005	0.00	17.40	1.00	2.10	3.96	0.00	2.89	16.33	0.00	5.51	0.00	0.00	2340.00	303.24	7.98	1231.58
344380006	0.00	11.31	2.30	1.50	3.14	0.00	3.27	9.62	0.10	4.25	1.09	0.00	1803.00	231.94	8.21	948.95
344380007	0.00	20.01	1.89	2.80	7.43	0.00	3.29	18.25	0.00	10.87	0.00	0.00	3020.00	511.70	7.63	1589.47
344380008	0.00	13.48	1.59	1.70	4.13	0.00	2.35	10.94	0.00	7.51	0.53	0.00	2030.00	291.50	7.99	1068.42
344380009	0.00	19.14	2.20	2.00	0.08	0.00	3.29	18.92	0.63	0.25	0.35	0.00	2410.00	104.13	9.56	1268.42
344380012	0.00	4.70	1.38	0.45	0.00	0.00	1.75	1.44	1.86	0.00	0.31	0.00	757.00	22.50	10.97	398.42
344380013	0.00	9.22	1.59	1.05	2.48	0.00	1.29	3.98	0.13	8.87	0.37	0.00	1358.00	176.40	8.21	714.74
344380015	0.00	10.44	3.02	0.50	0.50	0.00	1.73	4.88	0.00	4.94	2.87	0.00	1456.00	49.78	7.98	766.32
344380016	0.00	15.23	1.10	2.00	3.96	0.00	3.99	13.51	0.00	4.62	0.24	0.00	2060.00	298.24	8.07	1084.21
344380017	0.00	81.78	2.46	4.60	10.74	0.00	8.59	92.41	0.13	0.51	0.03	0.00	9270.00	766.90	8.56	4878.95
344380018	0.00	59.16	3.38	12.80	1.32	0.00	1.00	73.04	0.37	2.00	0.16	0.00	7190.00	706.08	9.06	3784.21
344380019	0.00	15.66	2.00	2.60	5.29	0.00	3.70	16.33	0.00	3.94	1.45	0.00	2480.00	394.32	7.88	1305.26
344380020	0.00	58.72	2.15	6.00	20.65	0.00	8.99	65.52	0.00	15.38	0.00	0.00	7480.00	1332.50	7.35	3936.84
344380021	0.00	16.53	2.25	3.50	7.02	0.00	3.70	20.81	0.00	4.51	0.87	0.00	2880.00	526.05	7.94	1515.79
344380022	0.00	9.05	1.36	0.85	2.48	0.00	1.35	8.07	0.00	3.94	0.35	0.00	1392.00	166.40	7.73	732.63
344380023	0.00	13.05	1.38	1.70	2.81	0.00	2.64	11.17	0.00	4.51	0.61	0.00	1865.00	225.42	8.1	981.58
344380024	0.00	19.79	2.25	0.45	0.83	0.00	2.89	17.26	0.37	2.13	0.35	0.00	2380.00	63.80	9.01	1252.63
344440003	0.00	3.35	0.11	0.55	0.50	0.00	0.46	3.38	0.00	0.62	0.03	0.00	490.00	52.28	7.19	257.89
344440004	0.00	2.39	0.18	0.50	0.33	0.00	0.29	1.10	0.00	1.97	0.02	0.00	344.00	41.52	7.64	181.05
344440006	0.00	23.49	2.10	4.20	14.87	0.00	4.47	11.39	0.00	28.88	0.00	0.00	3680.00	953.40	7.79	1936.84
354350002	0.00	3.91	0.25	0.35	0.83	0.00	0.27	1.72	0.00	3.00	0.31	0.00	528.00	58.80	8.11	277.89
354350003	0.00	3.00	0.23	0.25	0.66	0.00	0.27	1.21	0.00	2.25	0.34	0.00	397.00	45.54	8.17	208.95
354350005	0.00	13.92	1.20	2.40	3.96	0.00	2.20	17.03	0.00	2.38	0.11	0.00	2160.00	318.24	7.75	1136.84
354350010	0.00	2.35	0.33	0.60	0.74	0.00	0.40	0.76	0.00	2.76	0.10	0.00	409.00	67.17	7.61	215.26
354350011	0.00	2.22	0.27	0.50	0.50	0.00	0.40	0.68	0.00	2.13	0.21	0.00	356.00	49.78	8.14	187.37
354350012	0.00	2.31	0.30	0.80	0.00	0.01	0.62	1.10	1.10	0.00	0.26	0.00	386.00	40.00	10.66	203.16
354350013	0.00	7.48	0.77	4.50	0.08	0.00	1.19	10.35	0.63	0.25	0.31	0.00	1289.00	229.13	9.63	678.42
354350014	0.00	2.00	0.29	0.50	0.66	0.00	0.44	0.76	0.00	2.13	0.11	0.00	349.00	58.04	7.8	183.68
354350015	0.00	50.00	10.80	7.00	8.00	0.06	0.25	0.68	0.00	2.48	0.13	0.00	355.00	50.54	7.95	186.84
354350017	0.00	1.70	0.22	0.55	0.00	0.00	0.27	1.13	0.50	0.00	0.19	0.00	273.00	27.50	10.27	143.68
354350018	0.00	10.44	0.51	0.90	2.48	0.01	1.21	9.42	0.00	3.13	0.43	0.00	1427.00	168.90	8.18	751.05
354350019	0.00	245.00	40.00	36.00	2.00	0.01	1.50	10.94	0.00	0.51	1.00	0.00	1440.00	98.26	7.06	757.89
354360001	0.00	5.83	0.15	1.00	0.99	0.00	0.71	2.65	0.00	3.76	0.76	0.00	774.00	99.56	7.95	407.37
354410004	0.00	13.48	0.84	1.55	4.13	0.00	3.10	14.04	0.00	2.87	0.10	0.00	1938.00	284.00	8.13	1020.00

Cuadro IV. Resultados de los análisis realizados en la campaña de Septiembre y Octubre de 1990

Los valores de los iones están expresados en meq/l, la conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la dureza en ppm de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y el residuo seco en ppm

Nº Analisis	Cl/Na	Cl/(Na+K)	Cl/SO <sub>4</sub>	(CO <sub>2</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	(CO <sub>2</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	Mg/Ca	Na/Ca	Na/K	SO <sub>4</sub> /Ca	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)
344370001	1.07	1.05	7.97	2.49	0.48	4.13	15.22	44.60	2.05	0.40
344380002	0.81	0.75	2.46	4.23	0.98	3.30	3.84	12.87	1.27	0.29
344380005	0.94	0.89	5.65	2.62	0.91	1.89	8.29	17.43	1.38	0.48
344380006	0.85	0.71	2.94	2.90	0.94	2.09	7.54	4.91	2.18	0.70
344380007	0.91	0.83	5.55	3.88	1.06	2.65	7.15	10.56	1.17	0.32
344380008	0.81	0.73	4.66	4.42	1.29	2.43	7.93	8.50	1.38	0.40
344380009	0.99	0.89	5.76	0.44	0.42	0.04	9.57	8.69	1.64	1.58
344390012	0.31	0.24	0.82	4.14	4.14	0.00	10.44	3.40	3.88	3.88
344390013	0.43	0.37	3.08	8.58	2.55	2.36	8.78	5.81	1.23	0.37
344390015	0.47	0.36	2.83	9.87	4.96	0.99	20.88	3.46	3.45	1.73
344390016	0.89	0.83	3.38	2.31	0.78	1.98	7.61	13.83	2.00	0.67
344390017	1.13	1.10	10.76	0.14	0.04	2.33	17.78	33.28	1.87	0.56
344390018	1.23	1.17	73.16	0.18	0.17	0.10	4.62	17.51	0.08	0.07
344390019	1.04	0.92	4.41	1.51	0.50	2.03	6.02	7.84	1.42	0.47
344390020	1.06	1.03	6.96	2.56	0.58	3.44	9.79	27.31	1.50	0.34
344390021	1.26	1.11	5.62	1.29	0.43	2.01	4.72	7.34	1.06	0.35
344390022	0.89	0.78	5.97	4.63	1.18	2.92	10.64	6.67	1.59	0.41
344390023	0.86	0.77	4.23	2.65	1.00	1.65	7.68	9.44	1.55	0.59
344390024	0.87	0.78	5.97	5.55	1.96	1.84	43.98	8.79	6.42	2.27
344440003	1.01	0.98	7.40	1.13	0.60	0.90	6.09	30.43	0.83	0.44
344440004	0.46	0.43	3.78	3.94	2.37	0.66	4.78	12.98	0.58	0.35
344440006	0.49	0.45	2.40	6.88	1.51	3.54	5.59	11.19	1.13	0.25
354350002	0.44	0.41	6.36	8.57	2.55	2.36	11.19	15.77	0.77	0.23
354350003	0.40	0.38	4.48	8.99	2.47	2.64	12.01	13.32	1.08	0.30
354350005	1.22	1.13	7.73	0.99	0.37	1.65	5.80	11.57	0.92	0.35
354350010	0.32	0.28	1.93	4.59	2.05	1.24	3.91	7.06	0.66	0.29
354350011	0.31	0.27	1.71	4.26	2.14	0.99	4.44	8.33	0.79	0.40
354350012	0.48	0.42	1.76	1.37	1.37	0.00	2.88	7.76	0.78	0.78
354350013	1.38	1.25	8.73	0.20	0.19	0.02	1.66	9.74	0.26	0.26
354350014	0.38	0.33	1.74	4.26	1.84	1.32	4.00	6.98	0.87	0.38
354350015	0.31	0.28	2.71	7.08	2.45	1.89	6.21	7.87	0.71	0.25
354350017	0.66	0.59	4.17	0.91	0.91	0.00	3.08	7.89	0.49	0.49
354350018	0.90	0.86	7.81	3.48	0.93	2.75	11.60	20.39	1.34	0.36
354350019	1.03	0.94	7.31	0.28	0.26	0.09	5.92	10.41	0.83	0.76
354360001	0.45	0.44	3.75	3.76	1.89	0.99	5.83	37.95	0.71	0.36
354410004	1.04	0.98	4.53	1.85	0.51	2.66	8.70	15.96	2.00	0.55

Cuadro IV. Resultados de los análisis realizados en la campaña de Septiembre y Octubre de 1990 (Cont.)



Escala 1:100 000  
 0 1 2 3 4 5 Km

**LEYENDA**

- ⊕ Sondeo
- Naciente
- Galería
- Pozo
- ⊕ Pozo con galería
- ⊕ Galería con pozo
- 0002 ↗ Análisis de campo
- 0003 ↗ " de laboratorio

SITUACION DE LOS PUNTOS ANALIZADOS EN EL PROYECTO

## **5.1. La Intrusión salina**

La intrusión salina se puede definir como el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas en contacto con el mar provocado por actos humanos, siendo por lo tanto un caso particular de la contaminación de los recursos hídricos subterráneos.

La invasión por el agua salada se caracteriza por el movimiento, en las zonas costeras, del agua del mar hacia los acuíferos, originando la salinización del agua dulce de éstos. El agua dulce y el agua salada están separados por una zona de mezcla en forma de cuña cuya pendiente se define con fórmulas semejantes a las utilizadas por los petroleros para estimar la interfase agua-petróleo.

En razón a la pendiente de la zona de mezcla, el frente de agua salada se puede asemejar a una lengua que avanza tierra adentro en los períodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando ésta es mayor.

La zona de mezcla se desplaza por efecto de:

- variación del flujo de agua dulce al mar
- aumento de la permeabilidad y heterogeneidad
- oscilaciones de las mareas

Los estudios realizados sobre la intrusión marina en la isla de El Hierro toman como base de partida el contenido en cloruros del agua de infiltración y para ello se analizan las aguas recogidas en los aljibes. Los contenidos medios están entre 1 meq/l y 2 meq/l. Como los materiales volcánicos no aportan cloruros a las aguas que circulan por ellos, los contenidos elevados de cloruros (más de 10 meq/l) reflejan, en la mayor parte de los casos, intrusión salina.

Es necesario tener en cuenta que el contenido en ion cloruro de la precipitación varía según el agua se recoja a sotavento (valores entre 1,3 y 1,6 meq/l) o a barlovento (valores entre 2,5 y 3,9 meq/l). En los nacientes, cuyas aguas solo han sufrido procesos de evaporación antes de la infiltración, los valores son ligeramente mayores que los de la precipitación y están comprendidos entre 1,3 y 4,1 meq/l.

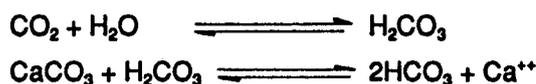
Aunque evidentemente el aumento en el contenido en cloruros está indicando intrusión, no parece prudente generalizar en el sentido de que a lo largo de toda la costa insular existe intrusión.

De los análisis efectuados tanto en campo como en laboratorio, para el presente proyecto, se deduce que existen una serie de puntos, situados preferentemente en la zona costera del Valle del Golfo, que presentan indicios de intrusión marina en función de sus relaciones iónicas y otros parámetros indicadores.

En la figura 10 se sitúan estos puntos.

## 5.2. Dióxido de carbono

Otro de los factores condicionantes de la mala calidad general de las aguas de la isla es el alto contenido (más de 400 mg/l según los datos reflejados en el Avance del Plan Hidrológico) en dióxido de carbono, lo que provoca una disminución del pH y un aumento de la agresividad del agua y de su capacidad de disolver materiales carbonatados según las reacciones:



Este conjunto de reacciones modifican la conductividad, que alcanza valores mayores que los que le corresponderían a aguas de circulación rápida.

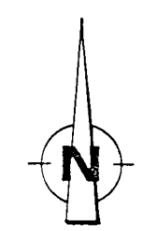
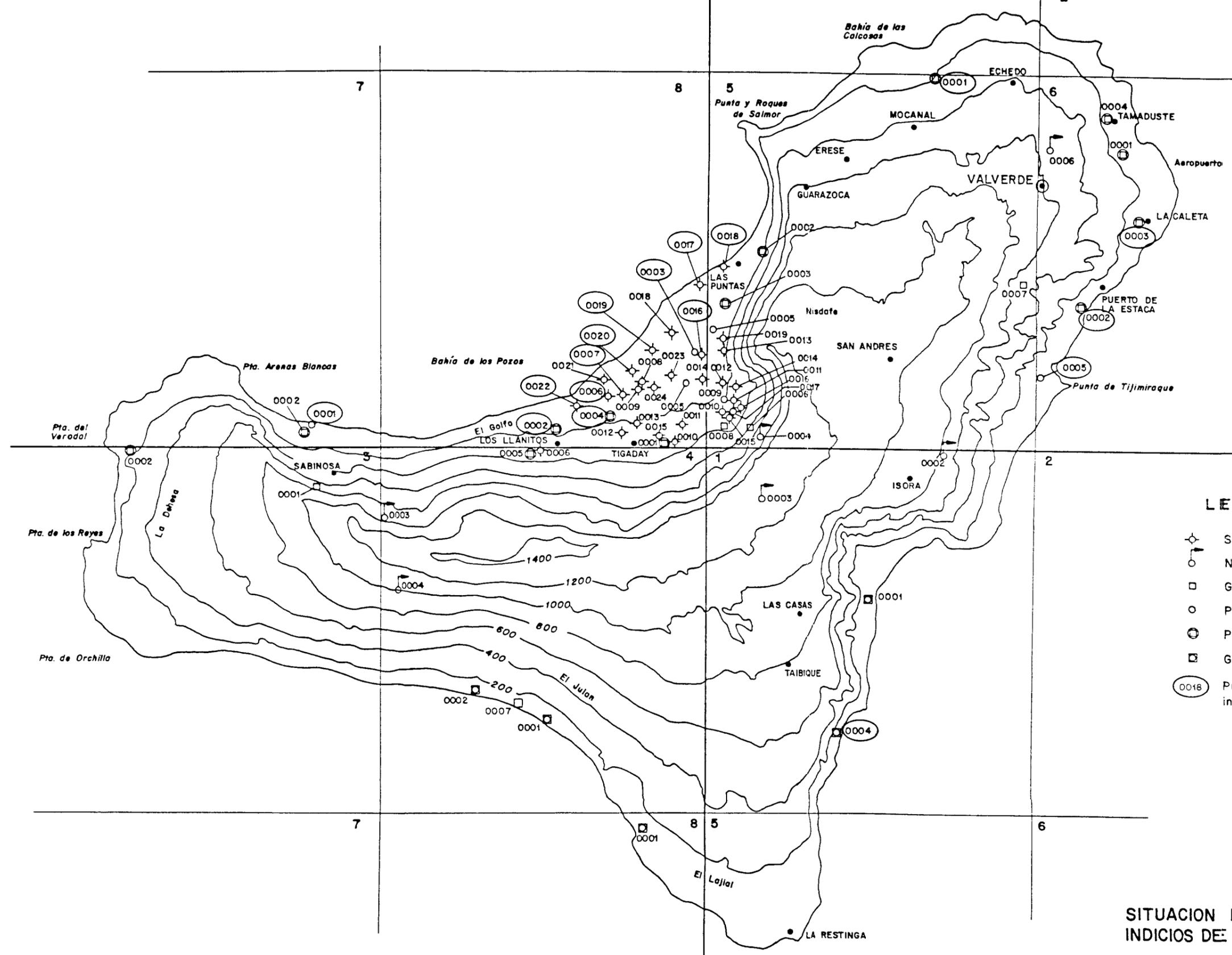
El aporte de  $\text{CO}_2$  al agua se realiza, según todos los estudios, por emanaciones relacionadas con el volcanismo reciente o mediante aportación directa de los materiales de la serie moderna. En el primer caso las zonas de mayor contenido en  $\text{CO}_2$  coinciden con las áreas de fracturación correspondientes a los ejes estructurales y en el segundo caso un mayor tiempo de circulación facilita una mayor contaminación por  $\text{CO}_2$ .

La zona donde el volcanismo reciente ha sido menos activo no ocasiona aportes de dióxido de carbono y las aguas que por ella circulan presentan una excelente calidad. Esta zona queda restringida a una estrecha franja de dirección NO-SE que corta la isla desde la zona norte de El Golfo hasta la depresión gravitacional de las Playas pasando por la meseta de Nisdate que es la zona de recarga de esta zona no contaminada.

Los contenidos en carbonatos y bicarbonatos están íntimamente ligados al contenido en  $\text{CO}_2$  y al pH y su distribución por lo tanto es equivalente a la de aquel, es decir, los mayores contenidos se alcanzan en toda la mitad oeste, después en el extremo NE del eje estructural NE-SO y con mucha menor importancia en el extremo sur, quedando con valores muy bajos la zona central, que como ya comentábamos presentaba contenidos bajos en  $\text{CO}_2$ .

Los análisis de campo, realizados durante el presente proyecto, no reflejan las anomalías a que habitualmente se hace referencia.

4 1 2



Escala 1:100000  
 0 1 2 3 4 5 Km

**LEYENDA**

- ⊕ Sondeo
- Naciente
- Galería
- Pozo
- ⊗ Pozo con galería
- ⊠ Galería con pozo
- (0018) Punto con indicios de intrusión salina

**SITUACION DE LOS PUNTOS CON INDICIOS DE INTRUSION SALINA**

Observando las zonas de alto contenido en especies carbonatadas y en  $\text{CO}_2$  se aprecia su no coincidencia (Figura 11 y Plano I) debido a que, desde que el agua adquiere el  $\text{CO}_2$  hasta que se estabiliza el contenido en carbonatos y bicarbonatos, existe una evolución compleja de manera que la zona afectada por anomalías de carbonatos se sitúa alejada según la dirección del flujo a la correspondiente al fenómeno generador, el  $\text{CO}_2$ . Esta circunstancia se complica aún más si coincide la zona de concentración de carbonatos con la intrusión marina.

La conductividad, que es el reflejo de una mayor carga en elementos disueltos, se ve afectada por la influencia conjunta o independiente de los fenómenos antes descritos: intrusión salina y dióxido de carbono.

Los valores más bajos,  $< 400 \mu\text{mhos/cm}$ , se alcanzan en la zona privilegiada donde ninguno de los fenómenos anteriores tiene influencia. Posteriormente el agua en su circulación hacia el mar detecta en primer lugar la presencia de dióxido de carbono aumentando las conductividades hasta  $2.000 \mu\text{mhos/cm}$ . En la franja costera, en puntos aislados donde el bombeo es intenso, los fenómenos de intrusión se hacen patentes aumentando las conductividades por encima de  $2.000 \mu\text{mhos/cm}$ .

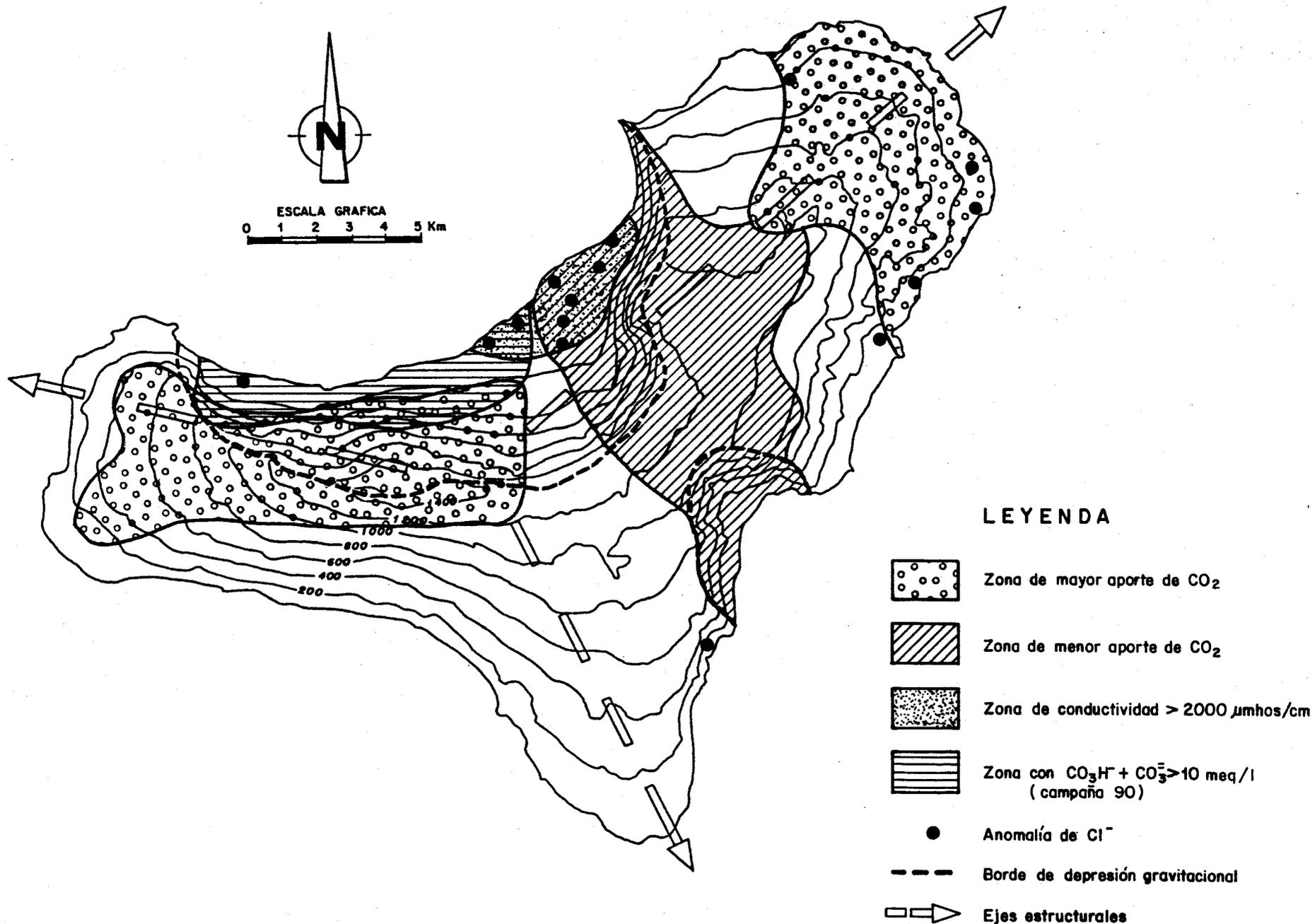
### **5.3. El valle de El Golfo**

Como ha hemos indicado antes, la zona situada al norte de la isla, conocida como Valle de El Golfo, presenta unas características hidrogeológicas propias que condicionan su comportamiento hidroquímico.

Existen dos acuíferos separados por una zona de brecha cementada (mortalón), el inferior no se explota, el superior, constituido por coladas modernas, tiene una alta permeabilidad y se recarga lateralmente en su zona oriental.

En función de estas características el acuífero superior es muy sensible a la intrusión marina, se ve afectado en su zona occidental por las emanaciones de dióxido de carbono y manifiesta una excelente calidad en la zona oriental donde la recarga se produce rápidamente a favor de la fracturación, no llega la intrusión y no se producen emanaciones de dióxido de carbono.

Junto a estas particularidades hidrogeológicas hay que tener en cuenta que el Valle es la zona agrícola más importante de la isla y consume el 90% del agua producida. A causa de esta fuerte demanda, es la zona más intensamente investigada y explotada y por tanto de la que más información se dispone.



**ESQUEMA DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS HIDROQUIMICOS DE LA ISLA DE EL HIERRO**

**FIGURA 11**

En los estudios hasta ahora realizados, los indicadores utilizados para el control de la calidad han sido cloruros, CO<sub>2</sub>, carbonatos y bicarbonatos. En estudios posteriores deberían utilizarse distintas relaciones iónicas indicadoras.

La presencia de zonas con alto contenido en cloruros pone de manifiesto la intrusión salina que, en definitiva, es un desequilibrio entre las explotaciones y la descarga al mar por la zona considerada. La buena permeabilidad del acuífero, formado por basaltos modernos, facilita el proceso que inicialmente está provocado por una concentración de la explotación.

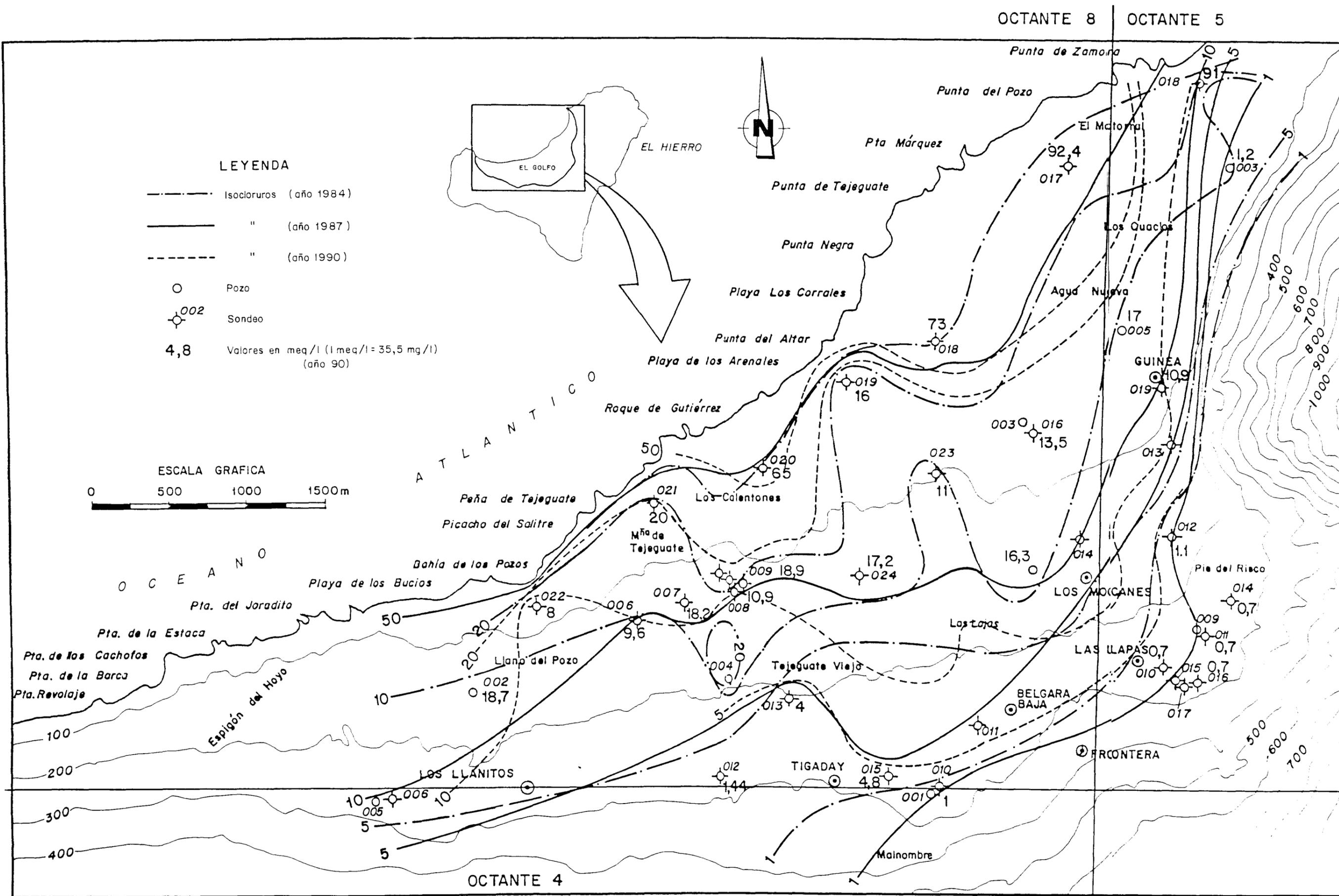
Para valorar el grado de contenido en cloruros, basta comparar el que presentan las muestras tomadas en los aljibes, que oscilan entre 0,5 y 2 meq/l, con el que presentan los sondeos en la zona de intrusión que alcanza los 90,4 meq/l. Sin embargo en la zona oriental, donde la recarga se produce rápidamente favorecida por la fracturación, el contenido en cloruros no excede de 3,3 meq/l.

La evolución de los cloruros entre los años 1984, 1987 y 1990 se puede apreciar en la figura 12 donde lo más significativo es el cono de intrusión provocado en el 1984 por el pozo de Tejeguate que al estar actualmente improductivo se refleja en las isolíneas de 1987. En la zona costera la isolínea de 50 meq/l ha avanzado hacia el interior.

En el año 90 el avance de la intrusión es mayor y en general todas las líneas trazadas se sitúan más al interior que las correspondientes de las campañas anteriores. Existe un cierto paralelismo entre la piezometría y la intrusión que se puede apreciar comparando los planos de isolíneas correspondientes.

El contenido en CO<sub>2</sub> está condicionado, como hemos visto, por el volcanismo moderno por lo que hay que asociar ambos fenómenos. En la zona de El Golfo las manifestaciones de anhídrido carbónico se producen en la zona occidental, volviendo a producirse, como con otros parámetros, un bajo contenido en la zona oriental. Se alcanzan más de 400 mg/l en el oeste según la información previa a este informe. Los valores obtenidos para este informe no sobrepasan los 150 mg/l.

El contenido en especies carbonatadas presenta una evolución similar ocasionando una zona de afección aguas abajo de las emanaciones de CO<sub>2</sub> como consecuencia del tiempo de reacción y equilibrio. En cualquier caso los valores en bicarbonato evolucionan de más de 10 meq/l (610 mg/l) en la zona de más aporte de CO<sub>2</sub>, a menos de 5 meq/l (305 mg/l) en la franja de buena calidad situada al este.



EVOLUCION DE ISOCLORUROS EN EL VALLE DEL GOLFO

FIGURA 12

En resumen, el Valle del Golfo, con un alto grado de explotación presenta una zona al oeste, donde se superponen los problemas de intrusión, CO<sub>2</sub> y carbonatos y una zona al este, donde únicamente en la franja costera existe intrusión salina permaneciendo ajena a cualquier tipo de contaminación el área de Frontera, Tigaday y Los Padrones.

## **6. EL SISTEMA ACUIFERO 87**

### **6.1. Zonificación**

Se han realizado diversos intentos de zonificación de la isla con objeto de cuantificar distintos parámetros hidrogeológicos y establecer una estrategia de explotación futura.

Los criterios de zonificación han sido varios y cada uno de ellos ha prestado especial atención a ciertos parámetros, infravalorando los restantes probablemente porque de ellos se tenía menor información.

Los proyectos MAC-21 y SPA-15 homogeneizaron los parámetros de permeabilidad y la infiltración y en consecuencia quedó homogeneizada la salida de agua al mar.

Por otro lado, en 1988, la Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno de Canarias, en un documento provisional de diagnóstico, dividió la isla en cuatro zonas atendiendo a similitudes de caudal y calidad y teniendo en cuenta criterios de producción y consumo actual o futuro.

El Avance del Plan Hidrológico establece una zonificación más detallada atendiendo a la calidad y más concretamente al contenido en dióxido de carbono y especies carbonatadas, dando lugar a tres grandes zonas. Cada una de ellas se divide en tres subzonas atendiendo a criterios puramente hidrogeológicos. A partir de esta división se cuantifican los distintos parámetros (precipitación, infiltración, salidas al mar, etc.) con objeto de establecer un balance por zonas.

Esta excesiva compartimentación, en la que los límites entre unas y otras zonas están definidos por la calidad, tiene un carácter demasiado concreto en el tiempo y presenta dificultades al tratar de establecer las líneas de flujo entre zonas y las salidas al mar.

Por tanto, a la hora de establecer algún tipo de zonificación en la isla, entendemos que es mejor seguir los criterios tradicionales y considerar que tenemos un sistema acuífero único (el nº 57 del ITGE), perfectamente definido en sus límites (el mar), de naturaleza volcánica y peculiaridades geológicas, tectónicas y químicas, en el que se puede independizar un sub-sistema, el del Valle de El Golfo, con entidad propia y sus correspondientes particularidades.

El sistema general está compuesto por un núcleo de materiales volcánicos antiguos, saturados parcialmente y un recubrimiento de material volcánico moderno no saturado. Esta circunstancia condiciona un sistema de circulación que se ve alterado también por la existencia de los ejes estructurales, con su correspondiente conjunto de diques y fracturas y por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El subsistema de El Golfo, que se apoya sobre el sistema general, se independiza por estar desconectado en la vertical por el mortalón, estar constituido sólo por materiales de la serie moderna y recibir sus aportes fundamentalmente a través del escarpe de El Golfo. Las particularidades dentro del subsistema las marcan la intrusión salina, la presencia de CO<sub>2</sub> y la intersección, por el plano de deslizamiento, de la red de diques y fracturas correspondientes al eje estructural NNE.

## **6.2. Funcionamiento hidráulico insular**

El funcionamiento hidráulico es sencillo aunque fuertemente condicionado por la geología. Existe una zona libre y otra saturada que no parece estar limitada en profundidad. El tránsito entre una y otra, es decir la superficie freática, debe presentar, en principio, una morfología de cumbre desde el centro de la isla hacia los bordes. Sin embargo la existencia de los accidentes del Golfo y Las Playas y la presencia de los ejes estructurales modifica sensiblemente su morfología.

El accidente de El Golfo interseca la morfología original, ocasionando una doble cumbre a ambos lados del estrangulamiento que une el Golfo y Las Playas. Los puntos más elevados de estas cumbres se corresponderían con las zonas de Malpaso y Nisdate.

Por otro lado, la alta permeabilidad que proporciona a los materiales la fracturación en los ejes, ocasiona un aplastamiento del domo hídrico con pendientes hacia la costa del orden del 2%.

### **6.2.1. Circulación en la zona no saturada**

La mayor parte de la superficie insular está recubierta por lavas de la serie moderna sin desarrollo de suelos. Esta circunstancia determina una gran eficacia en la infiltración de la lluvia y una rápida circulación vertical en la zona no saturada.

Las experiencias realizadas para el cálculo de caudales de infiltración (Tomo II), permiten hacer una estimación de la velocidad de infiltración en base a la evolución del ion cloruro, obteniéndose 12,5 m/año. Esta velocidad se vé incrementada en las zonas de fracturación.

La eficacia en la infiltración repercute igualmente en la baja escorrentía superficial que ocasiona que los barrancos sólo corren con precipitaciones puntuales de excepcional intensidad.

Cabría esperar, como ocurre en otras islas, un mayor número de nacientes, pero la falta de interrupciones en la acumulación de las lavas y la ausencia de piroclastos de la actividad volcánica sálica, determina la inexistencia de horizontes impermeables con continuidad lateral y en consecuencia la inexistencia de acuíferos colgados que originen manantiales.

### **6.2.2. Circulación en la zona saturada**

La circulación en la zona saturada, independientemente de la naturaleza del material empapado, se realiza radialmente desde las cumbres. Como ya hemos comentado, las depresiones gravitacionales de El Golfo y Las Playas determinan dos cumbres relativas a partir de las cuales se sigue produciendo el flujo radial que únicamente se ve interceptado por el escarpe de El Golfo.

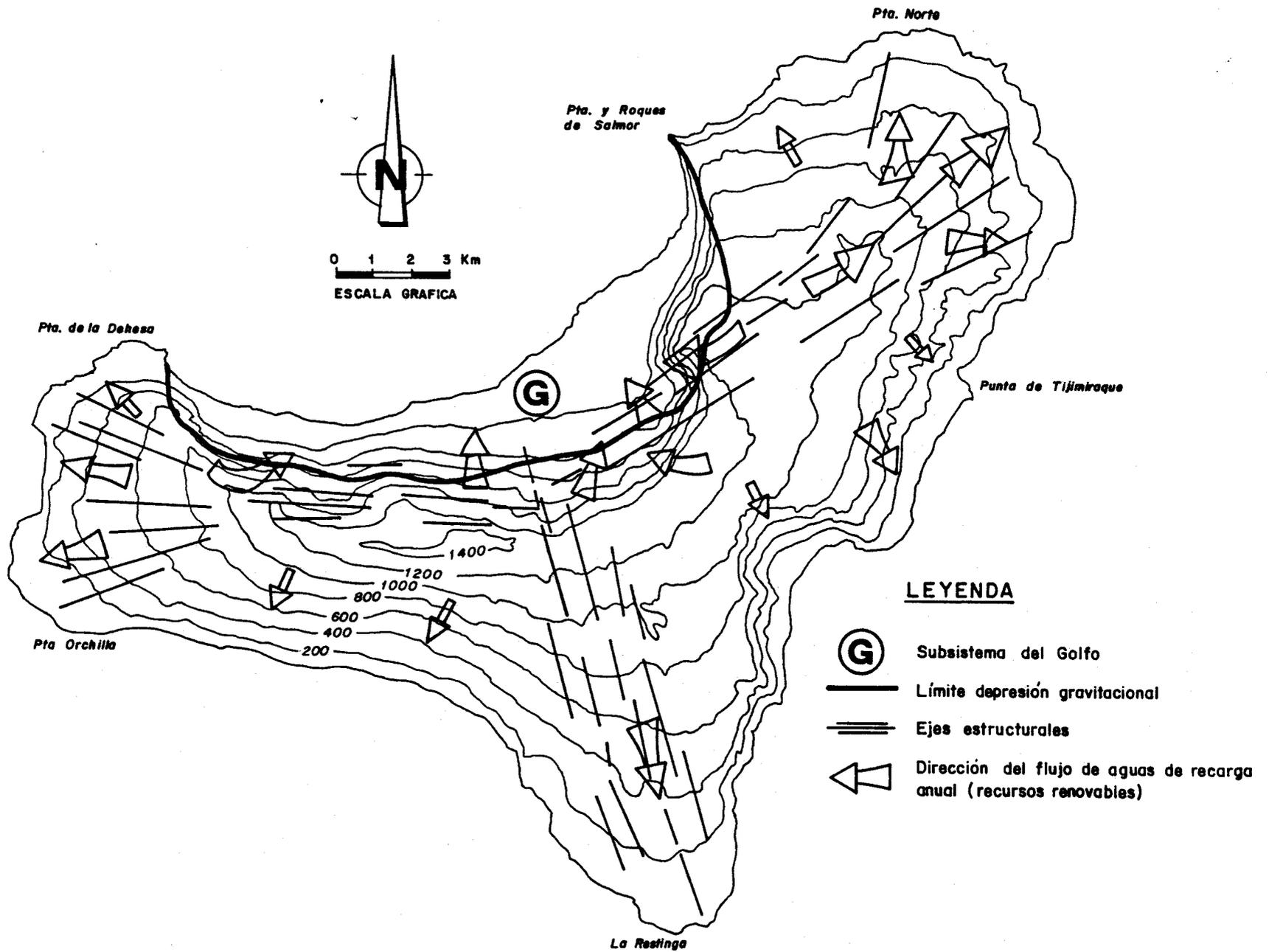
Las direcciones de flujo estimadas, en la zona saturada, se indican en la figura 13 adjunta, en la que se puede observar como los ejes condicionan el flujo en su misma dirección. En éstos, las pendientes de la superficie piezométrica son bajas, mientras en las zonas fuera de los ejes el flujo es menor, dirigido en el sentido cumbres-mar y con pendientes en la superficie piezométrica mayores (se estiman del orden del 5%).

Las descargas al mar se realizan, por lo tanto, preferentemente en los vértices insulares produciéndose una zona anómala de concentración de flujos en la zona de La Frontera-Tigaday como consecuencia de la intersección de la fracturación y los diques por la depresión gravitacional.

Si se superpone este sistema general de circulación a las emanaciones de CO<sub>2</sub> (producidas preferentemente en los vértices y oeste del Valle del Golfo) se tendrá que, precisamente la zona anómala de concentración de flujos coincide con una zona no contaminada por el dióxido de carbono, ocasionando un área de acumulación de agua de excelente calidad.

Las circunstancias antes descritas están ratificadas por las extracciones y calidades de los distintos puntos de inventario estableciéndose un equilibrio entre los caudales extraídos, los caudales disponibles y las intrusiones salinas provocadas.

El caudal máximo teórico ha de ser siempre inferior al flujo de recarga que accede a la parte útil del pozo, de lo contrario se provocará un principio de desequilibrio, sobreexplotación y eventual intrusión marina.



ESQUEMA DE CIRCULACION DE FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

## **7. BALANCE**

Para establecer el balance hidrogeológico de la isla de El Hierro los primeros datos de partida son los resultados del Balance hídrico realizado en el apartado 2.6. A partir de los valores de infiltración, que en definitiva son los recursos disponibles, es necesario analizar la demanda, ver como está estructurada y cuales son las perspectivas de futuro con objeto de planificar la explotación del recurso.

### **7.1. Infiltración**

Los valores obtenidos para la infiltración se sitúan entre 20 y 25 hm<sup>3</sup>/año teniendo en cuenta la pluviometría, la evapotranspiración y la escorrentía y considerando los valores como órdenes de magnitud más que como valores reales.

Sin embargo, para obtener un parámetro de infiltración más real sería necesario añadirle la infiltración producida por la precipitación horizontal y la infiltración producida por los retornos de riego.

Como se ha comentado en el capítulo 2.2., la pluviometría horizontal es un fenómeno que ciertamente se produce, pero que con los trabajos realizados no es cuantificable. Se podría estimar del orden de 2 a 5 hm<sup>3</sup>/año.

En cuanto a la infiltración por retorno de regadío, es necesario realizar también una estimación ya que no existen datos al respecto. Se sabe, sin embargo, que los caudales utilizados actualmente para regadío son del orden de 1,4 hm<sup>3</sup>/año y que se aplican mediante riegos por aspersión o goteo. Por otra parte, al tratarse de zonas con alta evapotranspiración los retornos de regadío difícilmente superarían el 10% de agua aplicada, lo que supondría 0,14 hm<sup>3</sup>/año, cifra realmente insignificamente frente a los 20-25 hm<sup>3</sup>/año procedentes del balance hídrico.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el valor de la infiltración difícilmente debe superar los 25 hm<sup>3</sup>/año.

### **7.2. Producción, consumo y demanda**

Los distintos trabajos consultados realizan sus propias estimaciones sobre la producción de aguas subterráneas en la isla. Al ser pocos los pozos productivos y conocerse con mucho detalle la evolución de la explotación agrícola en cuanto a cultivos, dotaciones de agua y superficies plantadas, se puede establecer con precisión la producción para consumo agrícola.

La producción para abastecimiento industrial está igualmente controlada al existir únicamente tres actividades consumidoras: el Aeropuerto, la Central Quesera y al Cooperativa Vinícola.

El abastecimiento urbano es el único que puede presentar alguna anomalía en su cuantificación ya que únicamente en los núcleos principales la producción para consumo urbano está registrada. Los pequeños núcleos dispersos, la recogida de aguas por aljibes y la derivación de producción de agua para agricultura al consumo urbano, pueden introducir en el cómputo algún grado de imprecisión que en cualquier caso no es significativo.

Los datos registrados por el Avance del Plan Hidrológico Insular, que utiliza a efectos de producción los datos del inventario del ITGE, permiten establecer la estructura del consumo considerando la zona del Valle del Golfo como parte independiente donde se concentra el consumo de agua para agricultura.

Con estos datos se obtiene el siguiente cuadro:

**Producción y consumo de aguas subterráneas en 1988 (m<sup>3</sup>/año)**

Zona	Producción	Consumo Agrícola	Consumo Urbano	Consumo Industrial
Valle del Golfo	1.245.475	1.184.958	69.517	(Incluido en el consumo urbano)
Resto de la Isla	140.407	(Incluido en el consumo urbano)	120.575	19.832
<b>TOTAL</b>	<b>1.394.882</b>	<b>1.184.985</b>	<b>190.092</b>	<b>19.832</b>

Como puede verse el consumo para agricultura representa el 84% y se realiza casi exclusivamente en el Valle del Golfo. Teniendo en cuenta que hay algún consumo agrícola e industrial incluido como urbanos, la estructura del consumo para el conjunto de la isla será:

Consumo agrícola :            88% ~ 1,23 hm<sup>3</sup>/año  
 Consumo urbano :            10% ~ 0,14 hm<sup>3</sup>/año  
 Consumo industrial :        2% ~ 0,028 hm<sup>3</sup>/año  
 Consumo total                    ~ 1,40 hm<sup>3</sup>/año

En cuanto a la demanda, los estudios realizados sobre la evolución de la población y su mejor dotación y sobre las perspectivas agrícolas y mejoras en el tipo de cultivo y aplicación de los riegos, permiten estimar la demanda para el año 1997. Los criterios empleados han sido los siguientes:

Las dotaciones actuales de agua para abastecimiento urbano, que en algunas zonas no alcanzan los 80 l/h/d, se han elevado a 150 l/h/d y la superficie regada que actualmente es de 140 has se espera pueda duplicarse, si como parece se incrementa el desarrollo de la piña tropical y se potencia el riego del viñedo.

Con estos parámetros de partida, la demanda para el año horizonte de 1997 será de 2,3 hm<sup>3</sup>/año distribuida de la siguiente manera:

Demanda agrícola:	~ 1,8 hm <sup>3</sup> /año (80%)
Demanda urbana:	~ 0,4 hm <sup>3</sup> /año (17%)
Demanda industrial:	~ 0,07 hm <sup>3</sup> /año (3%)

### **7.3. Recursos utilizables. Su distribución**

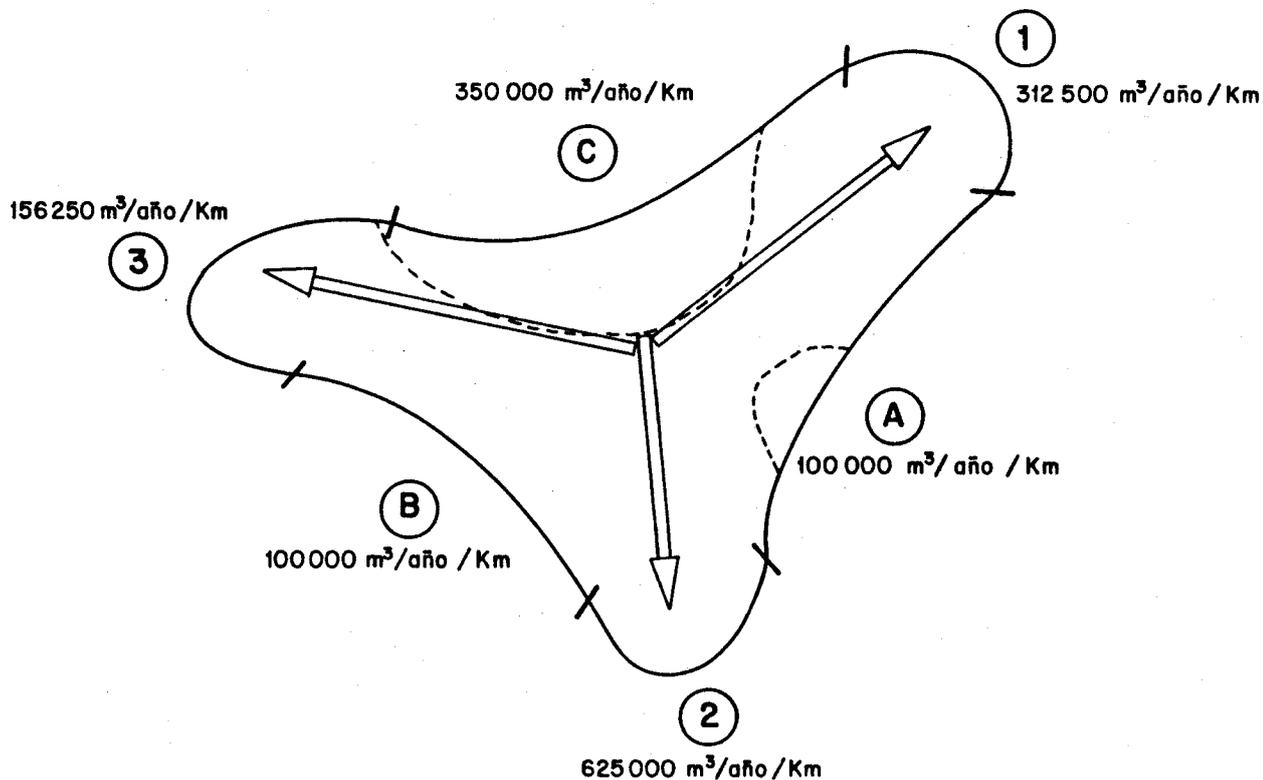
Habiendo establecido la recarga por infiltración, con todas las observaciones y cautelas, en 25 hm<sup>3</sup>/año y la demanda en el horizonte 1997 en 2,3 hm<sup>3</sup>/año, existe aparentemente unos excedentes insulares de 22,7 hm<sup>3</sup>/año que inevitablemente van a parar al mar a razón de 150.000 m<sup>3</sup>/año/km de costa.

Evidentemente esta distribución no es homogénea a lo largo de toda la costa existiendo un reparto de salidas condicionada por la geología y la estructura tectónica de la isla.

Según el esquema de circulación de flujo, los ejes estructurales drenan la mayoría de caudal y actúan como barreras al flujo transversal. La peculiar configuración de El Golfo intersecta dos ejes, modificando el sentido de circulación en ambos, que si originalmente era hacia los vértices insulares ahora es hacia la depresión.

En un esquema simplificado el reparto de salidas al mar podría ser el siguiente:

- Los ejes canalizan 2/3 de los recursos por lo que en principio saldrían por cada vértice 5 hm<sup>3</sup>/año y el resto, por los lados a razón de 2,5 hm<sup>3</sup>/año por lado.
- Suponiendo una longitud media por lado de 25 km por este concepto se perderían al mar 100.000 m<sup>3</sup>/año/km.



- La configuración de El Golfo resta a los ejes 1 y 3 aproximadamente 1/2 y 3/4 de su flujo original, por lo que en el vértice 1 se tendrá solamente 2,5 hm³/año (equivalente a 312.500 m³/año/km) y en el vértice 3, 1,25 hm³/año (156.250 m³/año/km).
- El lado C une a sus salidas propias (2,5 hm³/año), las detraídas del vértice 1 (2,5 hm³/año) y las correspondientes al vértice 3 (3,75 hm³/año) totalizando 9,75 hm³/año equivalente a 350.000 m³/año/km.

Sin embargo los aparentes fenómenos de contaminación con CO<sub>2</sub>, comentados en el apartado de hidroquímica, invalidan la utilización de buena parte de estos recursos, de tal manera que únicamente los caudales detraídos del eje 1 hacia el valle del Golfo (es decir 2,5 hm³/año), tienen una calidad aceptable para su explotación, según los informes precedentes.

El estado actual de las investigaciones presenta un panorama poco optimista, ya que de los 22,7 hm³/año teóricamente disponibles, solo 2,5 hm³/año pueden explotarse con garantías de calidad. Sin embargo estudios posteriores podrían confirmar otra posibilidad de incrementar los recursos a partir del eje sur y ratificar si la contaminación por CO<sub>2</sub> es real.

Se ha detectado que en la realización de galerías en las zonas A y B, en las proximidades del eje sur, la calidad mejora al profundizar la obra. En principio cabe pensar que parte de los importantes caudales asignados al eje 2 (5 hm<sup>3</sup>/año) podrían ser interceptados antes de su contaminación por CO<sub>2</sub> (circunstancia que se produce en la zona de volcanismo reciente, es decir en el extremo del eje). Sería necesario profundizar en esta línea de investigación con objeto de aportar unos caudales complementarios de aceptable calidad.

En resumen, los recursos disponibles actualmente, con garantías de calidad, se sitúan en torno a los 2-2,5 hm<sup>3</sup>/año y se concentran en una pequeña zona situada al este del valle del Golfo, junto al escarpe.

#### **7.4. Balance final**

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriormente descritas se llega a una balance final con el siguiente reparto:

Recursos renovables	22,7 hm <sup>3</sup> /año
Recursos utilizables	2-2,5 hm <sup>3</sup> /año
Producción actual	1,4 hm <sup>3</sup> /año
Demanda en 1997	2,3 hm <sup>3</sup> /año

La consecuencia que se deduce inmediatamente es la falta de recursos para la demanda prevista. La investigación y los trabajos futuros deberán orientarse fundamentalmente a aumentar los recursos renovables (captación de nieblas) y convertir en utilizables aquellos recursos que, contaminados por distintos factores, se vierten al mar.

## **ANEXO I**

### **Análisis de Laboratorio**

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-7-0001

DENOMINACION : LA SALUD

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE MUESTREO :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

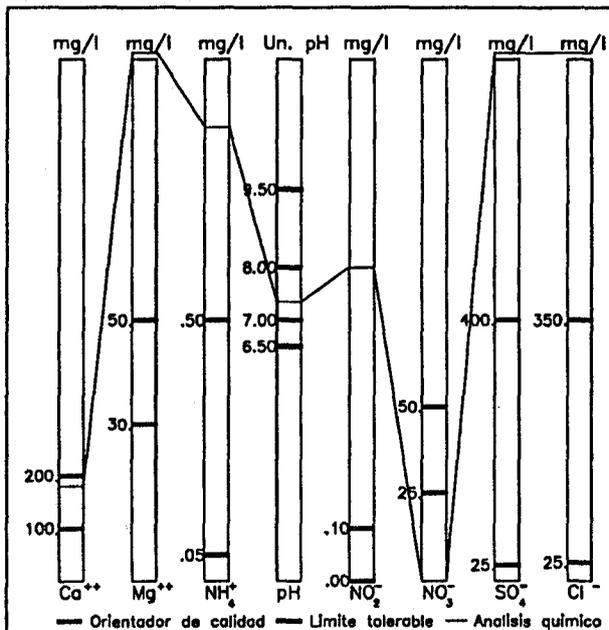
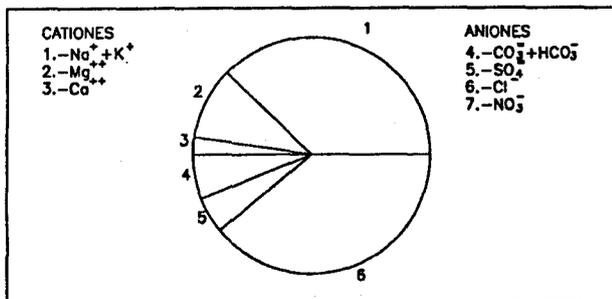
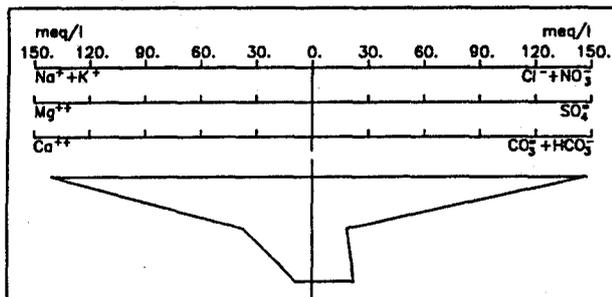
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	888.00	18.47
Sodio	Na <sup>+</sup>	3150.00	137.02	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	5219.00	147.18
Potasio	K <sup>+</sup>	120.00	3.07	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	180.00	9.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1365.00	22.39
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	450.00	37.17	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.87	.05	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.60	.01

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	15620.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	2308.50
pH	7.35
Residuo seco calc. (ppm)	8221.05
Error analítico (‰)	.92

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.07	Mg/Ca	4.13
Cl/(Na+K)	1.05	Na/Ca	15.22
Cl/SO <sub>4</sub>	7.97	Na/K	44.60
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.49	SO <sub>4</sub> /Ca	2.05
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.48	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.40



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0020(L-1-P-4)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

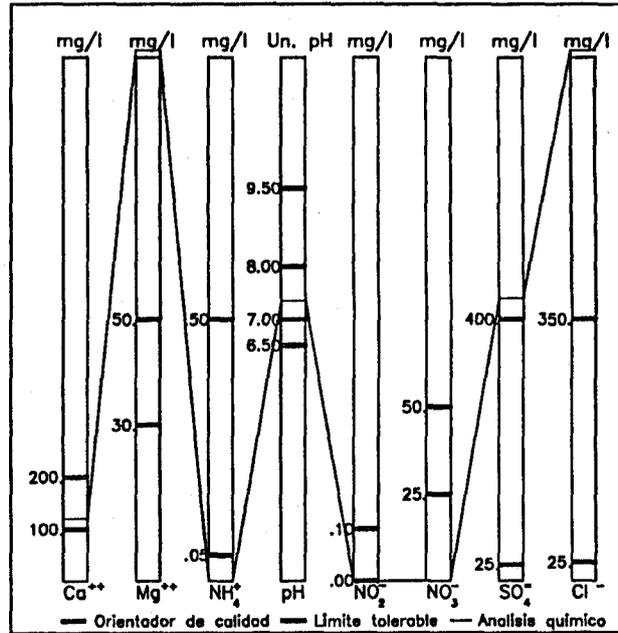
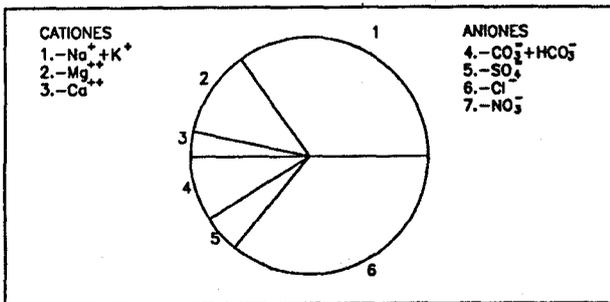
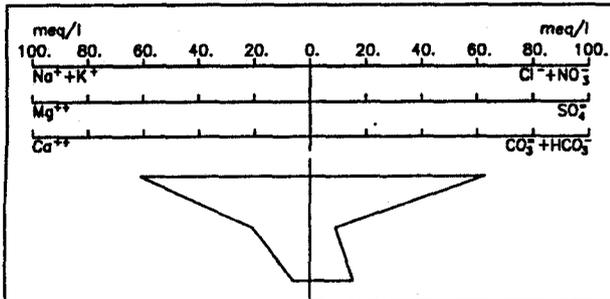
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	432.00	8.99
Sodio	Na <sup>+</sup>	1350.00	58.72	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	2217.00	62.52
Potasio	K <sup>+</sup>	84.00	2.15	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	120.00	6.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	938.00	15.38
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	250.00	20.65	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	7480.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	1332.50
pH	7.35
Residuo seco calc. (ppm)	3936.84
Error analítico (%)	.73

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.06	Mg/Ca	3.44
Cl/(Na+K)	1.03	Na/Ca	9.79
Cl/SO <sub>4</sub>	6.96	Na/K	27.31
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.56	SO <sub>4</sub> /Ca	1.50
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.58	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.34



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0007(P-2-S-1)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION : .      FECHA DE ANALISIS : 04-10-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

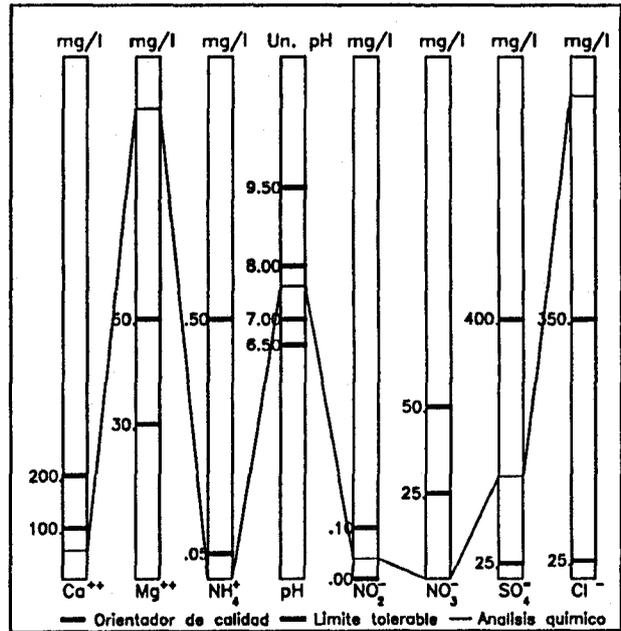
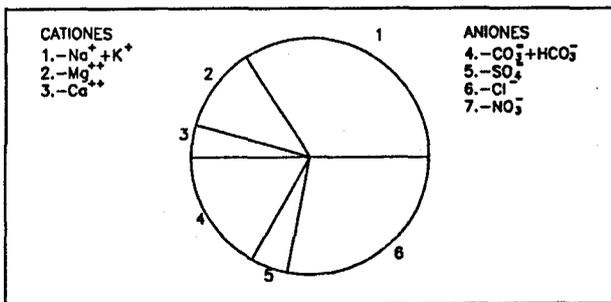
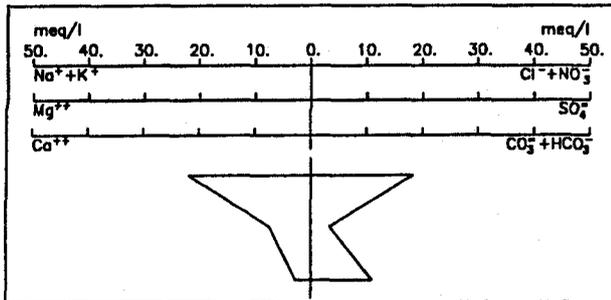
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	158.00	3.29
Sodio	Na <sup>+</sup>	460.00	20.01	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	647.00	18.25
Potasio	K <sup>+</sup>	74.00	1.89	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	56.00	2.80	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	663.00	10.87
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	90.00	7.43	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.04	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	3020.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	511.70
pH	7.63
Residuo seco calc. (ppm)	1589.47
Error analítico (%)	.83

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.91	Mg/Ca	2.65
Cl/(Na+K)	.83	Na/Ca	7.15
Cl/SO <sub>4</sub>	5.55	Na/K	10.56
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	3.88	SO <sub>4</sub> /Ca	1.17
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.06	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.32



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0019(L-1-P-3)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION : .      FECHA DE ANALISIS : 04-10-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

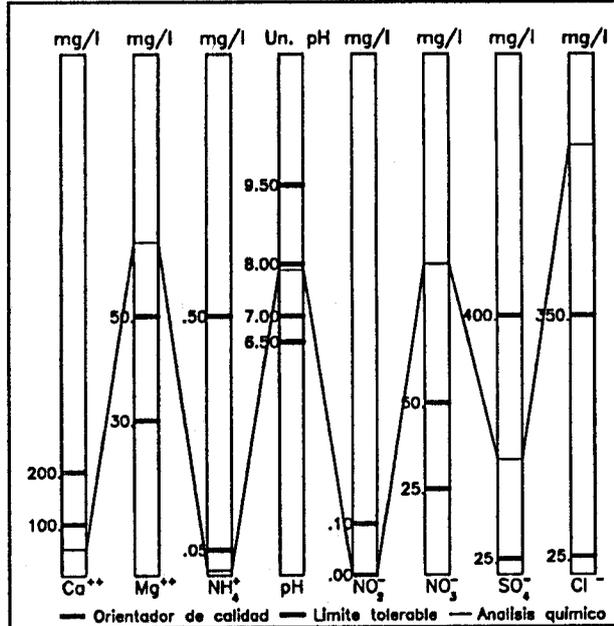
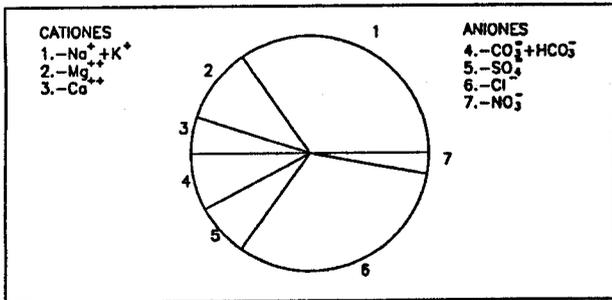
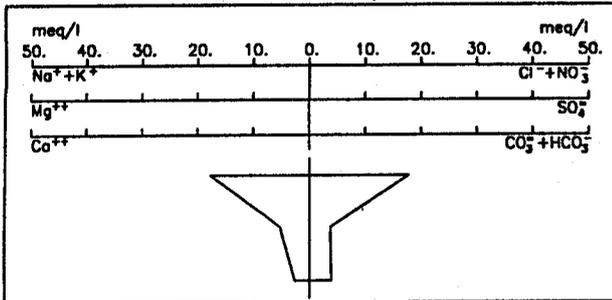
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	178.00	3.70
Sodio	Na <sup>+</sup>	360.00	15.66	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	579.00	16.33
Potasio	K <sup>+</sup>	78.00	2.00	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	52.00	2.60	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	240.00	3.94
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	64.00	5.29	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	90.00	1.45
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.01	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	2480.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	394.32
pH	7.88
Residuo seco calc. (ppm)	1305.26
Error analítico (‰)	.50

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.04	Mg/Ca	2.03
Cl/(Na+K)	.92	Na/Ca	6.02
Cl/SO <sub>4</sub>	4.41	Na/K	7.84
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	1.51	SO <sub>4</sub> /Ca	1.42
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.50	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.47



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0005

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : FATIMA O EL MATORRAL

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

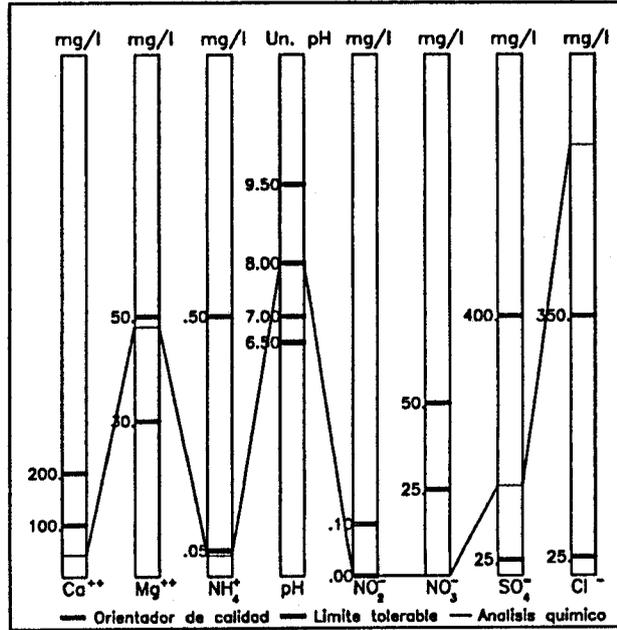
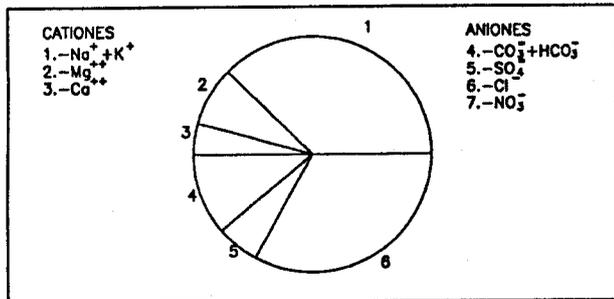
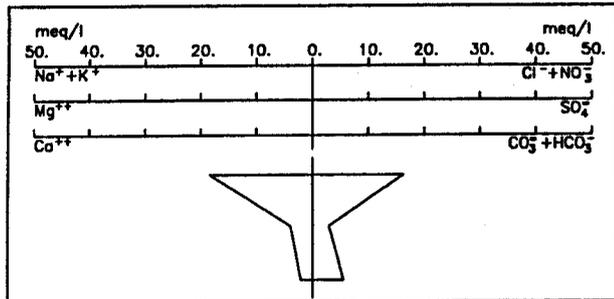
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	139.00	2.89
Sodio	Na <sup>+</sup>	400.00	17.40	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	579.00	16.33
Potasio	K <sup>+</sup>	39.00	1.00	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	42.00	2.10	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	336.00	5.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	48.00	3.96	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.04	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	2340.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	303.24
pH	7.98
Residuo seco calc. (ppm)	1231.58
Error analitico (‰)	1.07

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.94	Mg/Ca	1.89
Cl/(Na+K)	.89	Na/Ca	8.29
Cl/SO <sub>4</sub>	5.65	Na/K	17.43
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.62	SO <sub>4</sub> /Ca	1.38
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.91	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.48



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0005

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : AGUA NUEVA

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

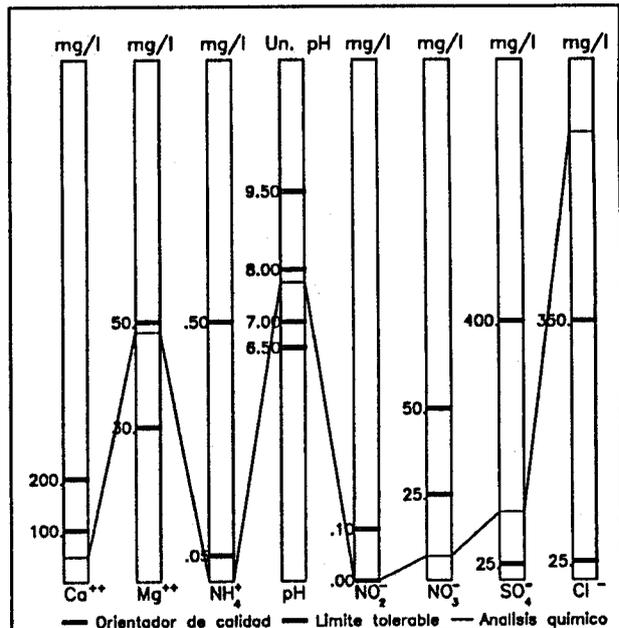
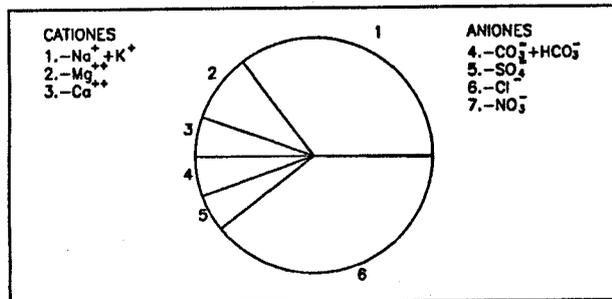
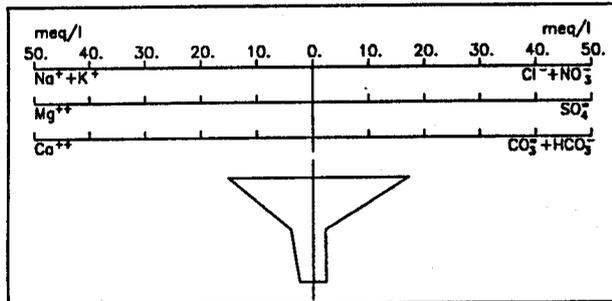
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	106.00	2.20
Sodio	Na <sup>+</sup>	320.00	13.92	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	604.00	17.03
Potasio	K <sup>+</sup>	47.00	1.20	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	48.00	2.40	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	145.00	2.38
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	48.00	3.96	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.00	.11
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	2160.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	318.24
pH	7.75
Residuo seco calc. (ppm)	1136.84
Error analítico (x)	1.11

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.22	Mg/Ca	1.65
Cl/(Na+K)	1.13	Na/Ca	5.80
Cl/SO <sub>4</sub>	7.73	Na/K	11.57
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.99	SO <sub>4</sub> /Ca	.92
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.37	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.35



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0016 (S-20)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

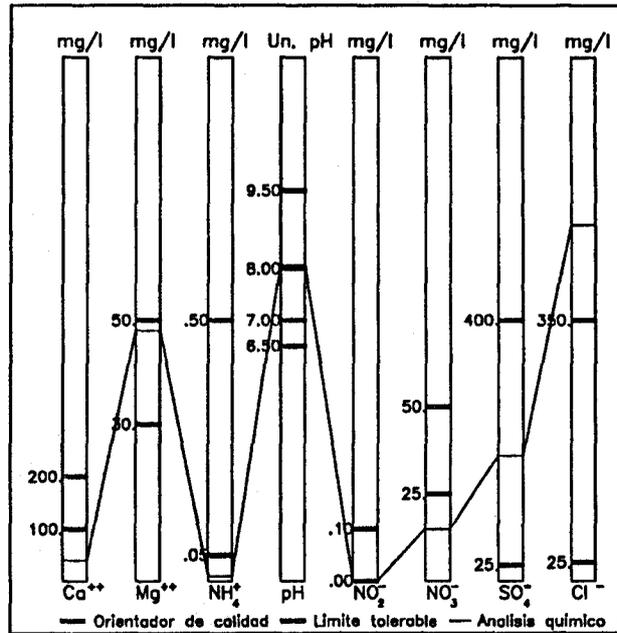
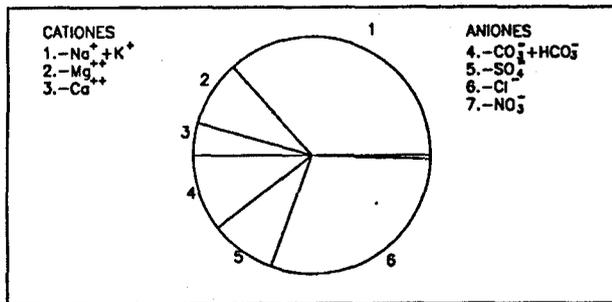
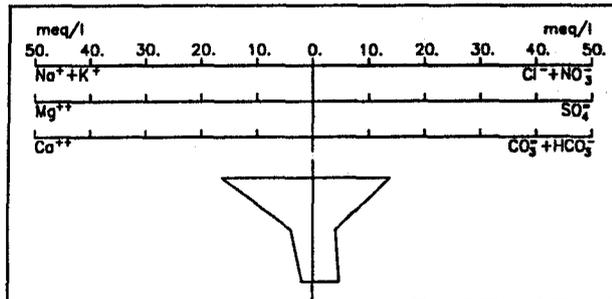
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	192.00	3.99
Sodio	Na <sup>+</sup>	350.00	15.23	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	479.00	13.51
Potasio	K <sup>+</sup>	43.00	1.10	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	40.00	2.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	282.00	4.62
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	48.00	3.96	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15.00	.24
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.01	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	2060.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	298.24
pH	8.07
Residuo seco calc. (ppm)	1084.21
Error analítico (%)	.34

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.89	Mg/Ca	1.98
Cl/(Na+K)	.83	Na/Ca	7.61
Cl/SO <sub>4</sub>	3.38	Na/K	13.83
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.31	SO <sub>4</sub> /Ca	2.00
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.78	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.67



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0023(L-2-P-3)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

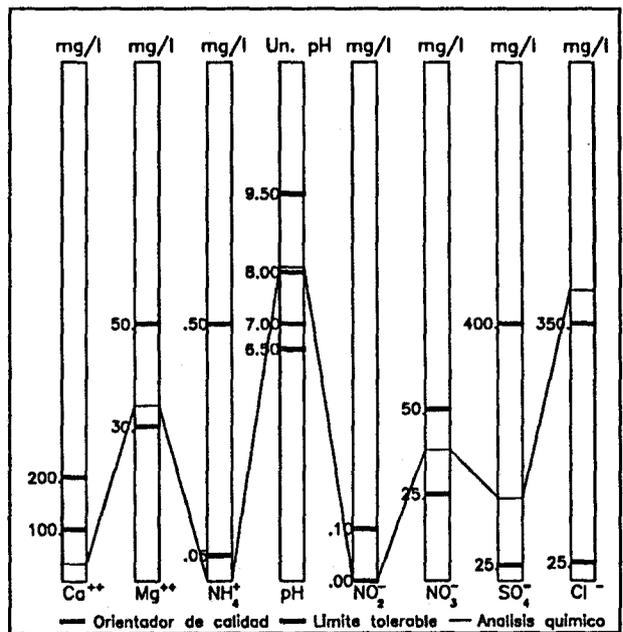
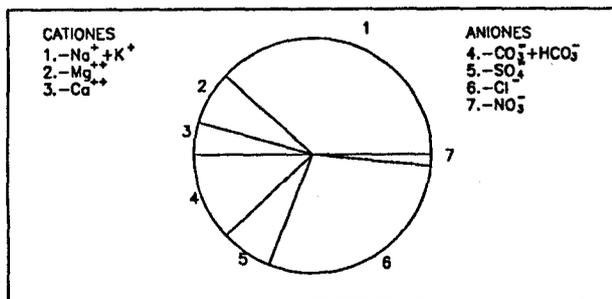
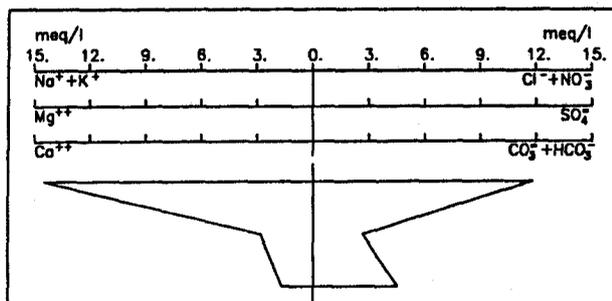
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	127.00	2.64
Sodio	Na <sup>+</sup>	300.00	13.05	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	396.00	11.17
Potasio	K <sup>+</sup>	54.00	1.38	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	34.00	1.70	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	275.00	4.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	34.00	2.81	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	38.00	.61
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	1865.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	225.42
pH	8.10
Residuo seco calc. (ppm)	981.58
Error analítico (%)	.05

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.86	Mg/Ca	1.65
Cl/(Na+K)	.77	Na/Ca	7.68
Cl/SO <sub>4</sub>	4.23	Na/K	9.44
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.65	SO <sub>4</sub> /Ca	1.55
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.00	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.59



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0006(P-1-S-1)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 01-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

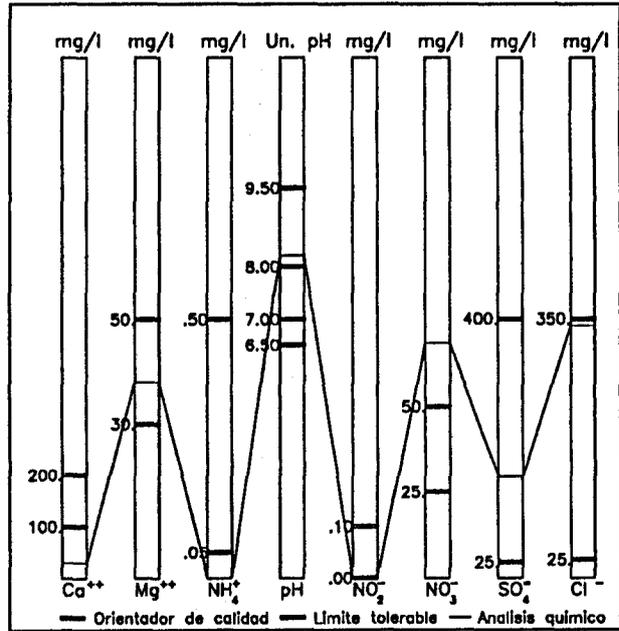
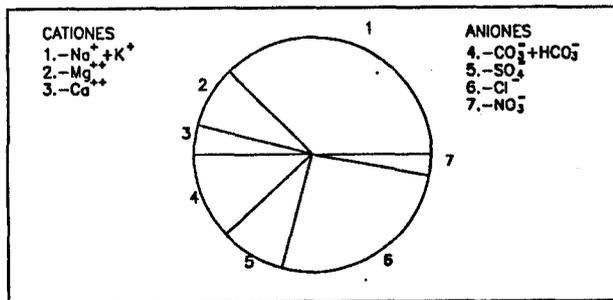
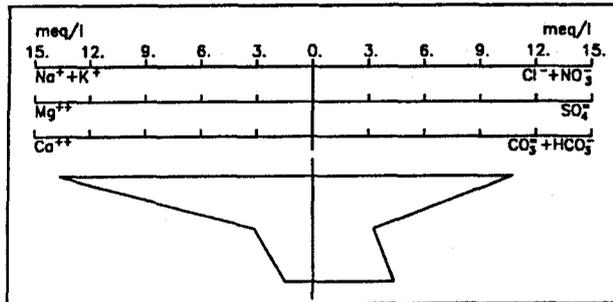
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	157.00	3.27
Sodio	Na <sup>+</sup>	260.00	11.31	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	341.00	9.62
Potasio	K <sup>+</sup>	90.00	2.30	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	3.00	.10
Calcio	Ca <sup>++</sup>	30.00	1.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	259.00	4.25
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	38.00	3.14	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	68.00	1.09
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	1803.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	231.94
pH	8.21
Residuo seco calc. (ppm)	948.95
Error analítico (x)	.39

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.85	Mg/Ca	2.09
Cl/(Na+K)	.71	Na/Ca	7.54
Cl/SO <sub>4</sub>	2.94	Na/K	4.91
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	2.90	SO <sub>4</sub> /Ca	2.18
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.94	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.70



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0019(L-2-P-1)

DENOMINACION : .

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE MUESTREO :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

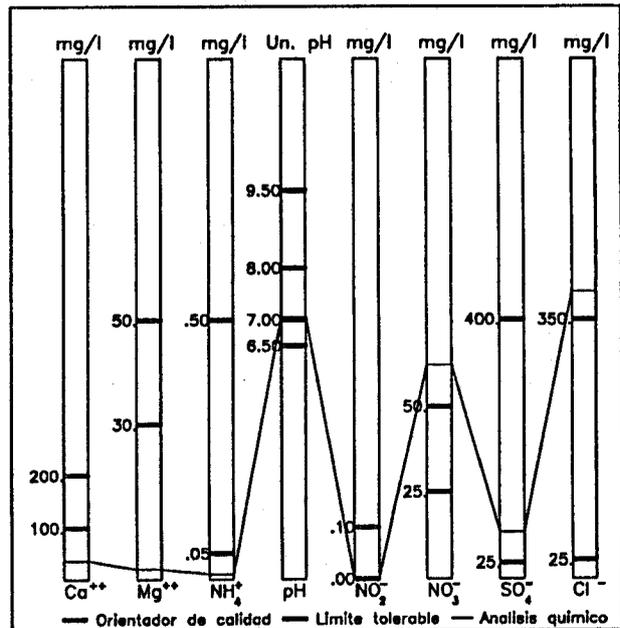
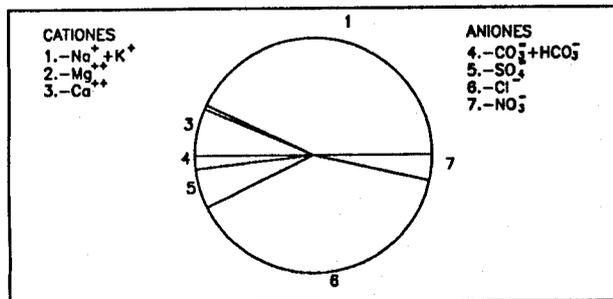
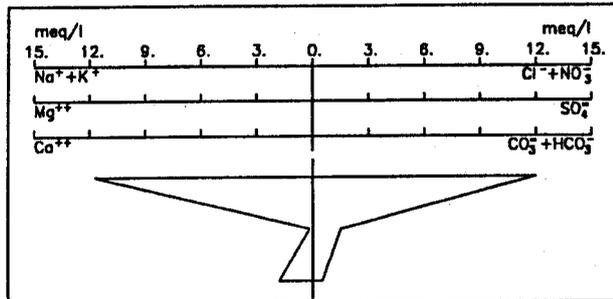
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	72.00	1.50
Sodio	Na <sup>+</sup>	245.00	10.66	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	388.00	10.94
Potasio	K <sup>+</sup>	40.00	1.02	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	36.00	1.80	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31.00	.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	2.00	.17	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62.00	1.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.01	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	1440.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	98.26
pH	7.06
Residuo seco calc. (ppm)	757.89
Error analítico (x)	2.16

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.03	Mg/Ca	.09
Cl/(Na+K)	.94	Na/Ca	5.92
Cl/SO <sub>4</sub>	7.31	Na/K	10.41
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.28	SO <sub>4</sub> /Ca	.83
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.26	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.76



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0018(L-1-P-0)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION : .      FECHA DE ANALISIS : 04-10-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

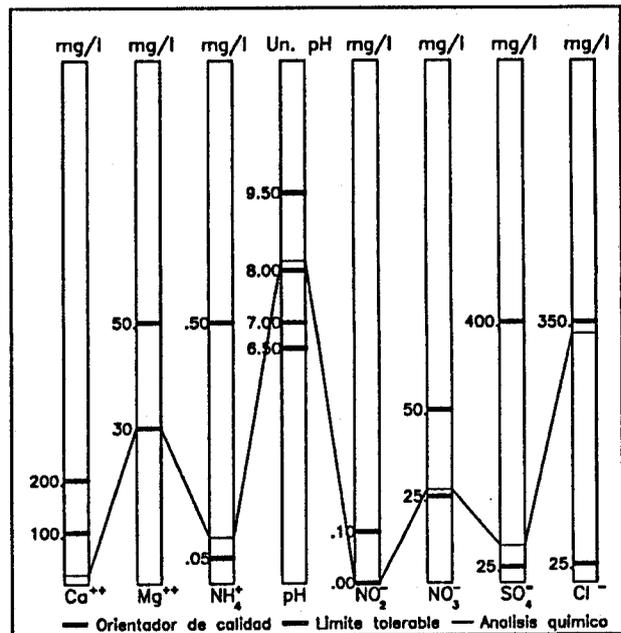
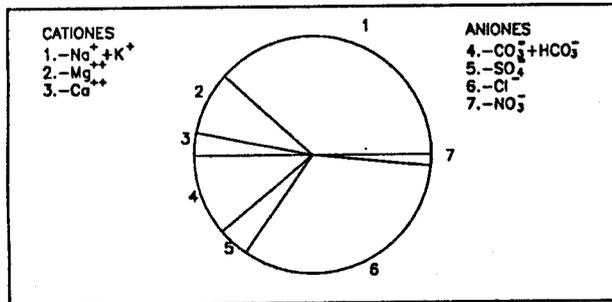
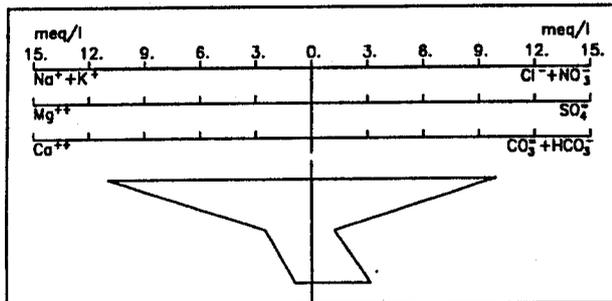
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	58.00	1.21
Sodio	Na <sup>+</sup>	240.00	10.44	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	334.00	9.42
Potasio	K <sup>+</sup>	20.00	.51	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	18.00	.90	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	191.00	3.13
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	30.00	2.48	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	27.00	.43
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.09	.01	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>=</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	1427.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	168.90
pH	8.18
Residuo seco calc. (ppm)	751.05
Error analítico (x)	1.00

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.90	Mg/Ca	2.75
Cl/(Na+K)	.86	Na/Ca	11.60
Cl/SO <sub>4</sub>	7.81	Na/K	20.39
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	3.48	SO <sub>4</sub> /Ca	1.34
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.93	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.36



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0017 (S-19)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

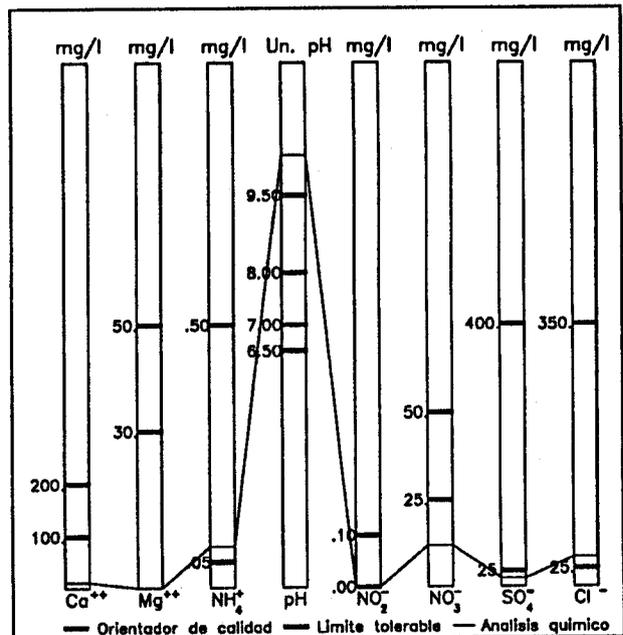
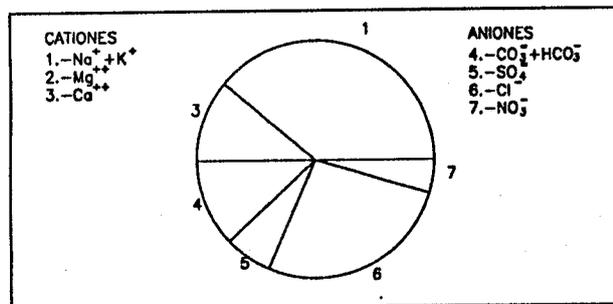
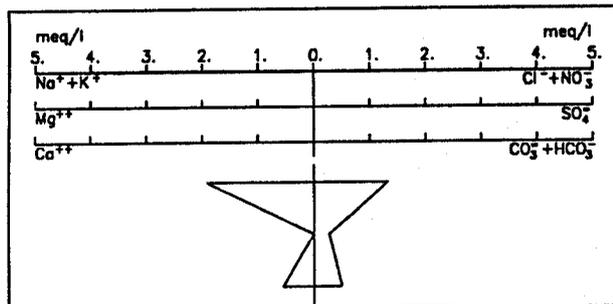
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	13.00	.27
Sodio	Na <sup>+</sup>	39.00	1.70	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	40.00	1.13
Potasio	K <sup>+</sup>	8.40	.22	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	15.00	.50
Calcio	Ca <sup>++</sup>	11.00	.55	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	.00	.00	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12.00	.19
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.08	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	273.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	27.50
pH	10.27
Residuo seco calc. (ppm)	143.68
Error analítico (‰)	.90

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.66	Mg/Ca	.00
Cl/(Na+K)	.59	Na/Ca	3.08
Cl/SO <sub>4</sub>	4.17	Na/K	7.89
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.91	SO <sub>4</sub> /Ca	.49
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.91	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.49



### OTRAS DETERMINACIONES :

OH<sup>-</sup> = 6 mg/l

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0012 (S-10)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

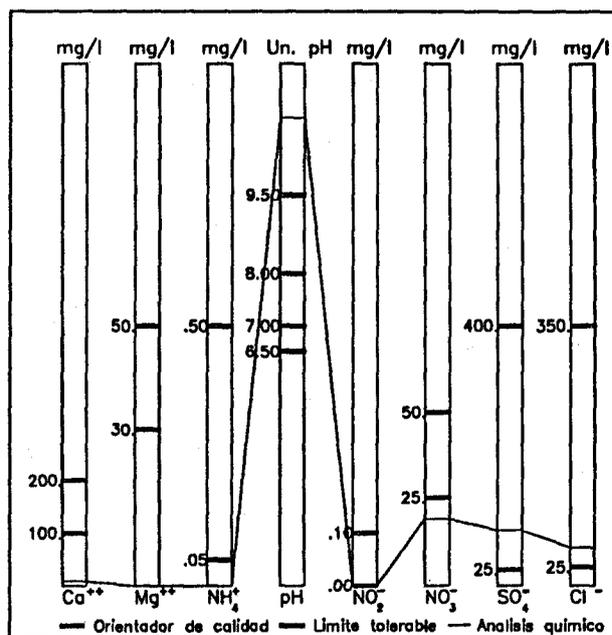
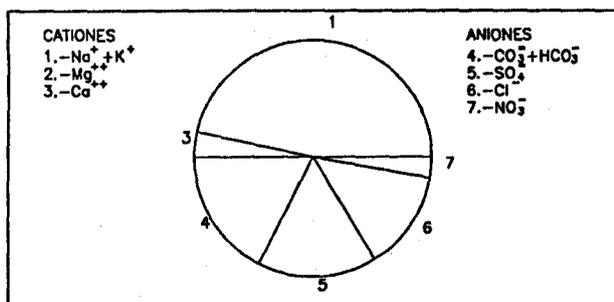
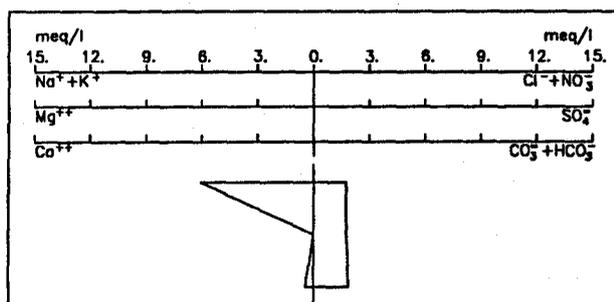
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	84.00	1.75
Sodio	Na <sup>+</sup>	108.00	4.70	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	51.00	1.44
Potasio	K <sup>+</sup>	54.00	1.38	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	56.00	1.86
Calcio	Ca <sup>++</sup>	9.00	.45	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	.00	.00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	.00	.00	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	19.00	.31
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	757.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	22.50
pH	10.97
Residuo seco calc. (ppm)	398.42
Error analítico (%)	1.78

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.31	Mg/Ca	.00
Cl/(Na+K)	.24	Na/Ca	10.44
Cl/SO <sub>4</sub>	.82	Na/K	3.40
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.14	SO <sub>4</sub> /Ca	3.88
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	4.14	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	3.88



### OTRAS DETERMINACIONES :

OH<sup>-</sup> = 18 mg/l

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0012 (S-9)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

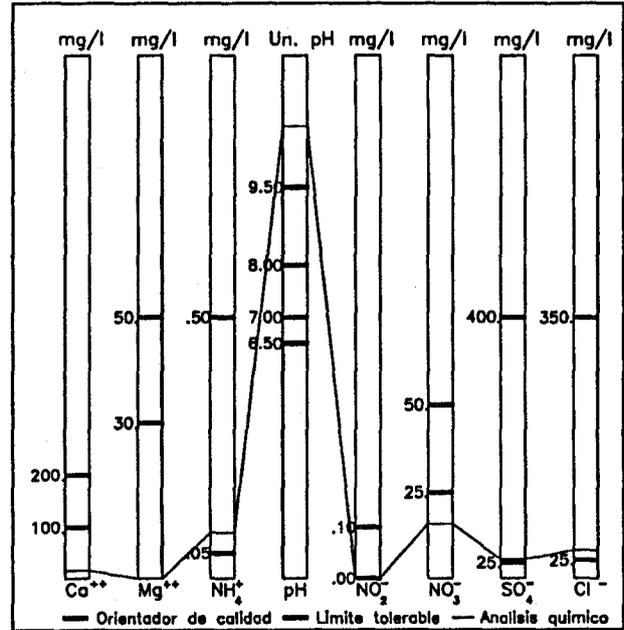
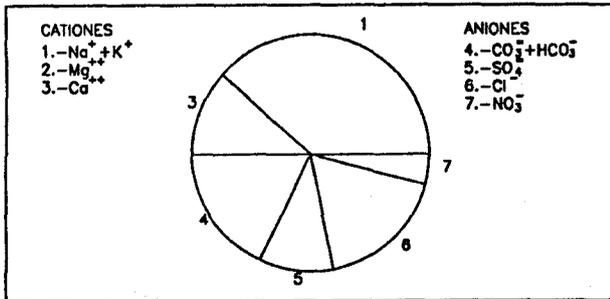
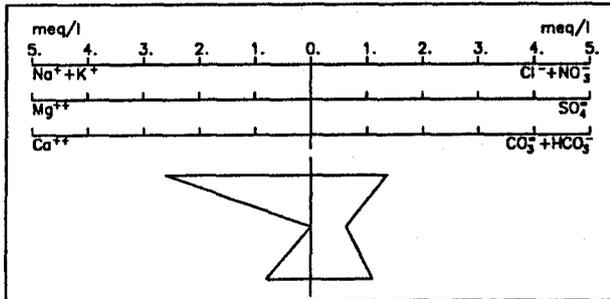
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	30.00	.62
Sodio	Na <sup>+</sup>	53.00	2.31	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	39.00	1.10
Potasio	K <sup>+</sup>	11.60	.30	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33.00	1.10
Calcio	Ca <sup>++</sup>	16.00	.80	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	.00	.00	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.00	.26
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.09	.01	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	386.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	40.00
pH	10.66
Residuo seco calc. (ppm)	203.16
Error analítico (‰)	.75

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.48	Mg/Ca	.00
Cl/(Na+K)	.42	Na/Ca	2.88
Cl/SO <sub>4</sub>	1.76	Na/K	7.76
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	1.37	SO <sub>4</sub> /Ca	.78
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.37	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.78



### OTRAS DETERMINACIONES :

OH<sup>-</sup> = 6 mg/l

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3444-4-0004

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : RODRIGO

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

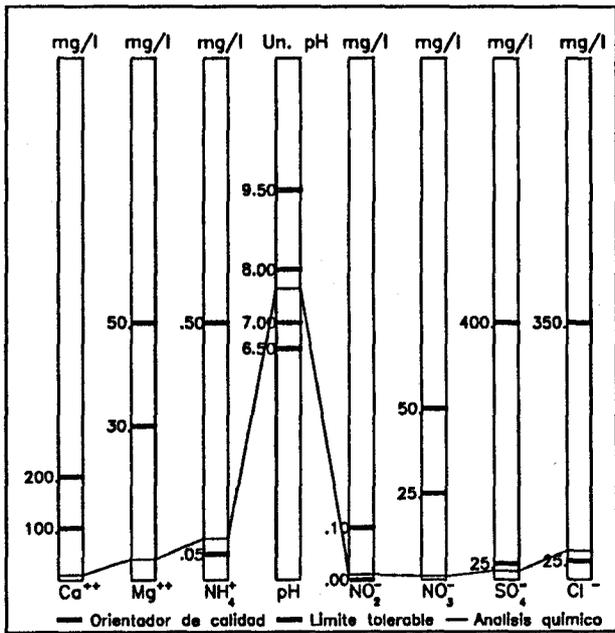
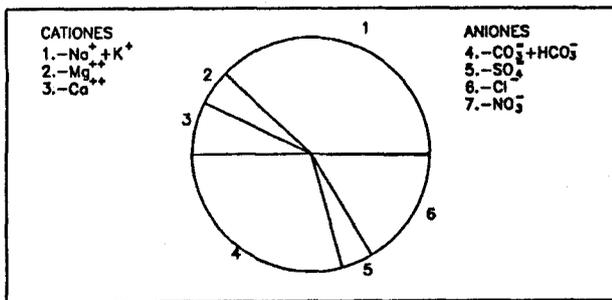
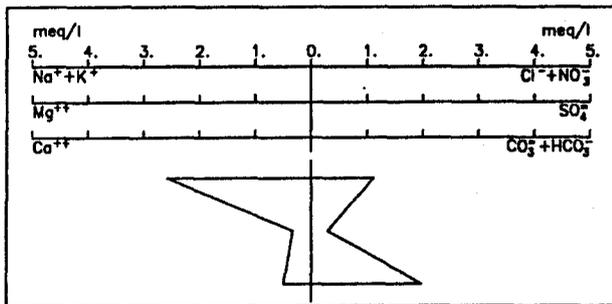
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	14.00	.29
Sodio	Na <sup>+</sup>	55.00	2.39	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	39.00	1.10
Potasio	K <sup>+</sup>	7.20	.18	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	10.00	.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	120.00	1.97
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	4.00	.33	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.00	.02
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.08	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.01	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	344.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	41.52
pH	7.64
Residuo seco calc. (ppm)	181.05
Error analítico (%)	1.07

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.46	Mg/Ca	.66
Cl/(Na+K)	.43	Na/Ca	4.78
Cl/SO <sub>4</sub>	3.78	Na/K	12.98
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	3.94	SO <sub>4</sub> /Ca	.58
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.37	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.35



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0014 (S-14)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

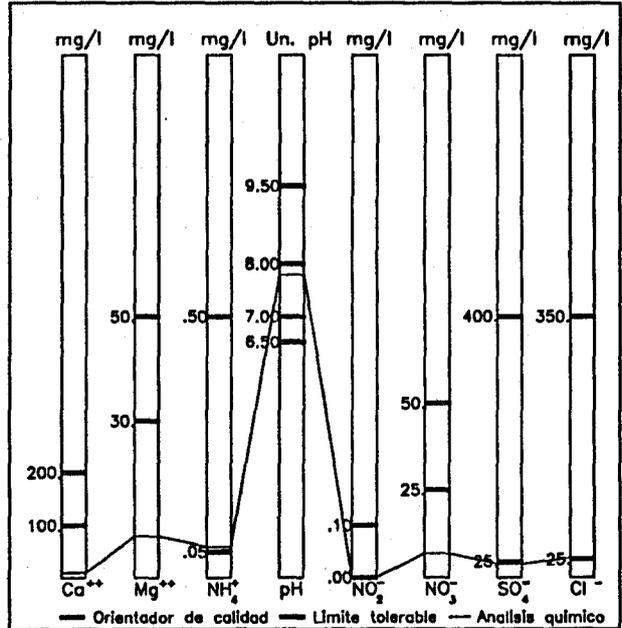
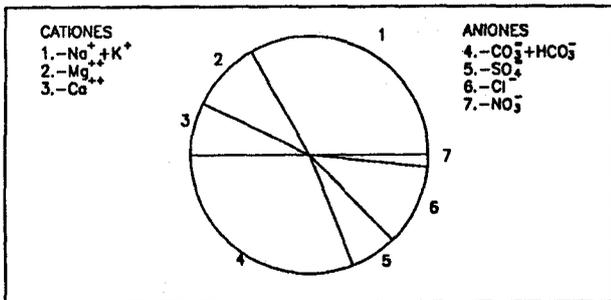
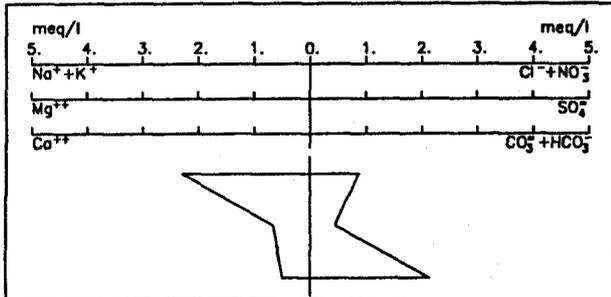
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	21.00	.44
Sodio	Na <sup>+</sup>	46.00	2.00	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	27.00	.76
Potasio	K <sup>+</sup>	11.20	.29	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	10.00	.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	130.00	2.13
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	8.00	.66	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.00	.11
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.06	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	349.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	58.04
pH	7.80
Residuo seco calc. (ppm)	183.68
Error analítico (%)	.26

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.38	Mg/Ca	1.32
Cl/(Na+K)	.33	Na/Ca	4.00
Cl/SO <sub>4</sub>	1.74	Na/K	6.98
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.26	SO <sub>4</sub> /Ca	.87
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.84	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.38



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0015 (S-15)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

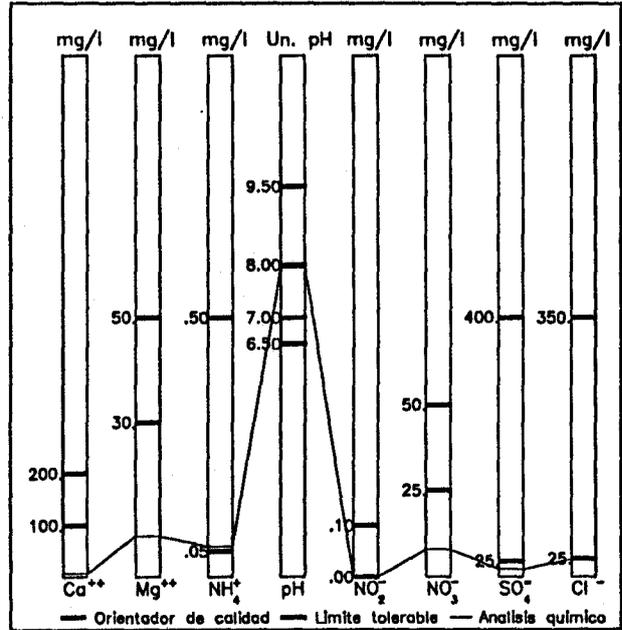
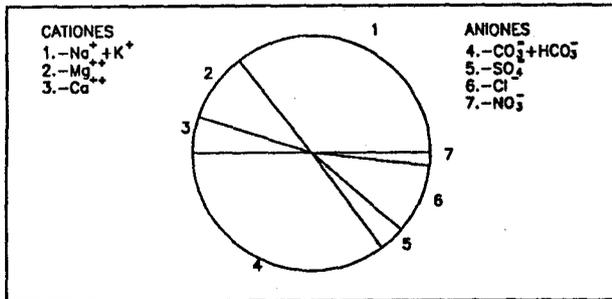
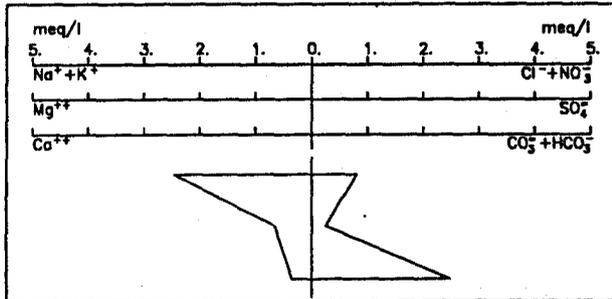
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	12.00	.25
Sodio	Na <sup>+</sup>	50.00	2.17	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	24.00	.68
Potasio	K <sup>+</sup>	10.80	.28	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	7.00	.35	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	151.00	2.48
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	8.00	.66	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.00	.13
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.06	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	355.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	50.54
pH	7.95
Residuo seco calc. (ppm)	186.84
Error analítico (%)	1.89

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.31	Mg/Ca	1.89
Cl/(Na+K)	.28	Na/Ca	6.21
Cl/SO <sub>4</sub>	2.71	Na/K	7.87
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	7.08	SO <sub>4</sub> /Ca	.71
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.45	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.25



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0010 (S-7)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 04-10-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

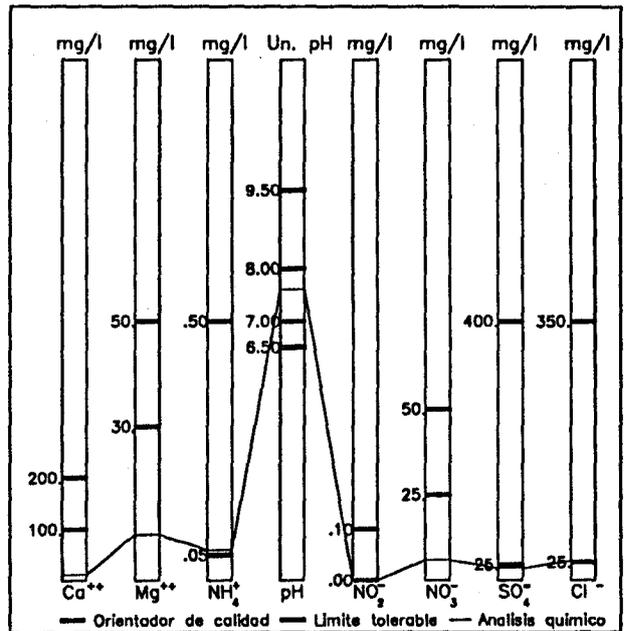
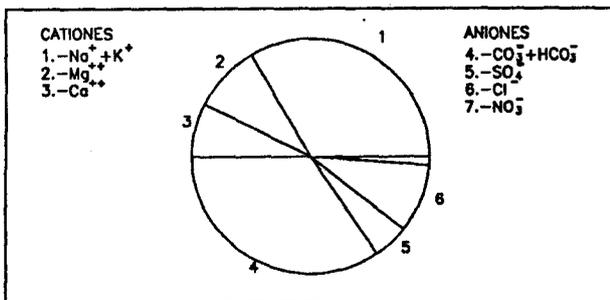
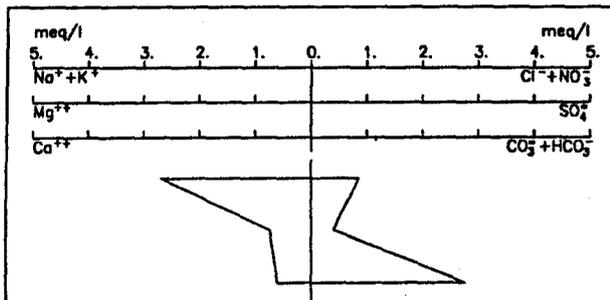
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	19.00	.40
Sodio	Na <sup>+</sup>	54.00	2.35	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	27.00	.76
Potasio	K <sup>+</sup>	13.00	.33	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	12.00	.60	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	168.00	2.76
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	9.00	.74	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.00	.10
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.06	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	409.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	67.17
pH	7.61
Residuo seco calc. (ppm)	215.26
Error analítico (%)	.50

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.32	Mg/Ca	1.24
Cl/(Na+K)	.28	Na/Ca	3.91
Cl/SO <sub>4</sub>	1.93	Na/K	7.06
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.59	SO <sub>4</sub> /Ca	.66
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.05	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.29



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0011 (S-8)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

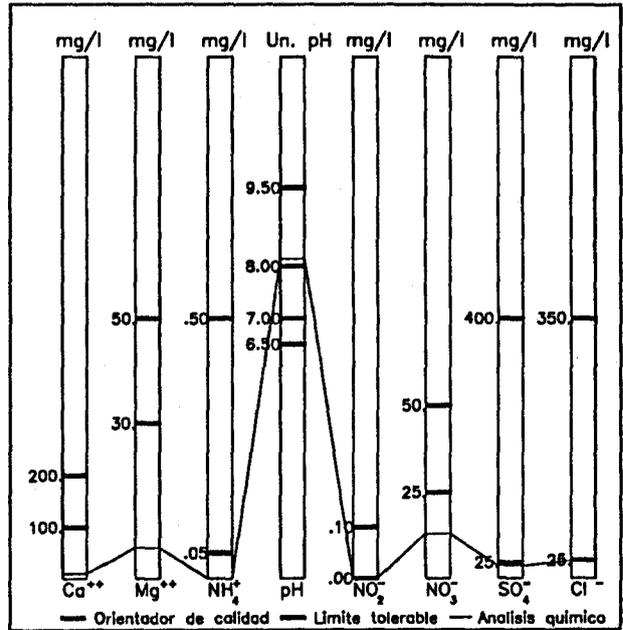
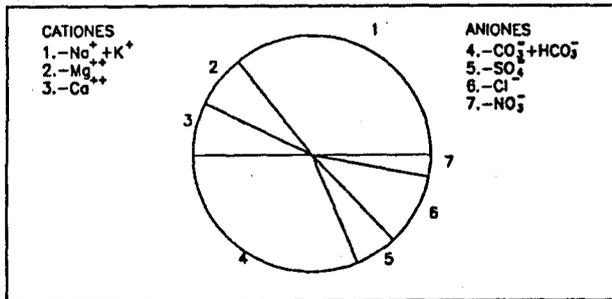
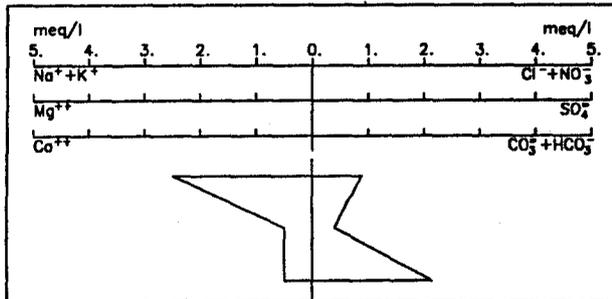
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	19.00	.40
Sodio	Na <sup>+</sup>	51.00	2.22	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	24.00	.68
Potasio	K <sup>+</sup>	10.40	.27	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	10.00	.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	130.00	2.13
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	6.00	.50	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.00	.21
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	356.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	49.78
pH	8.14
Residuo seco calc. (ppm)	187.37
Error analítico (%)	1.94

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.31	Mg/Ca	.99
Cl/(Na+K)	.27	Na/Ca	4.44
Cl/SO <sub>4</sub>	1.71	Na/K	8.33
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.26	SO <sub>4</sub> /Ca	.79
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.14	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.40



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0003

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : LOS PADRONES

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

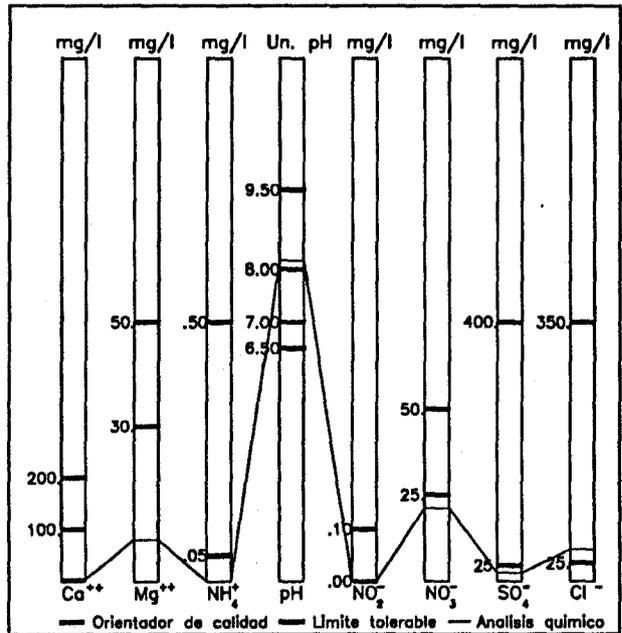
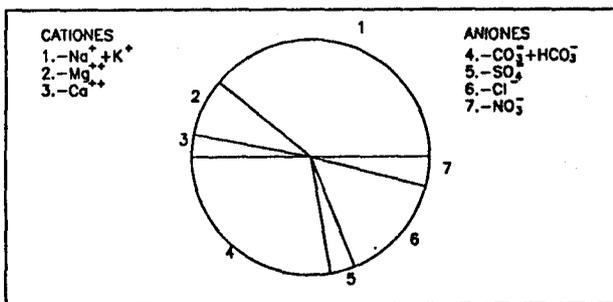
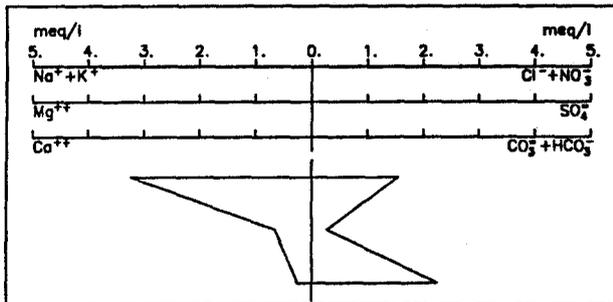
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	13.00	.27
Sodio	Na <sup>+</sup>	69.00	3.00	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	43.00	1.21
Potasio	K <sup>+</sup>	8.80	.23	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	5.00	.25	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	137.00	2.25
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	8.00	.66	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21.00	.34
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	397.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	45.54
pH	8.17
Residuo seco calc. (ppm)	208.95
Error analítico (‰)	1.70

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.40	Mg/Ca	2.64
Cl/(Na+K)	.38	Na/Ca	12.01
Cl/SO <sub>4</sub>	4.48	Na/K	13.32
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	8.99	SO <sub>4</sub> /Ca	1.08
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.47	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.30



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3444-4-0003

DENOMINACION : MANANTIAL MANCAFITE

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE MUESTREO :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

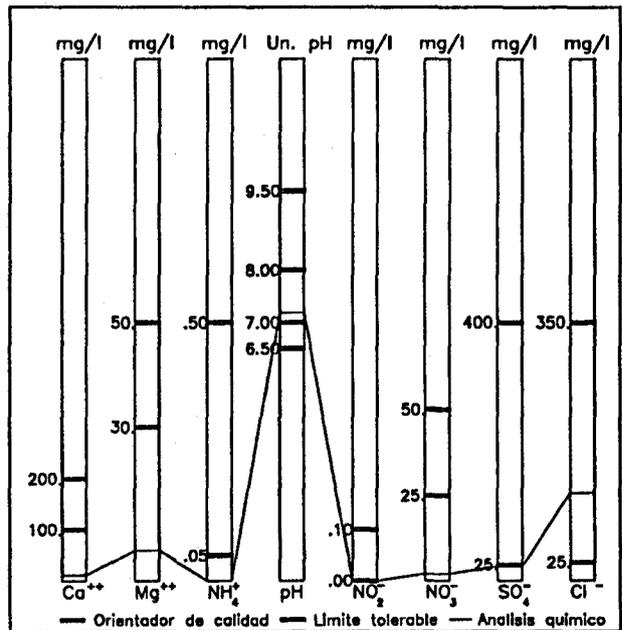
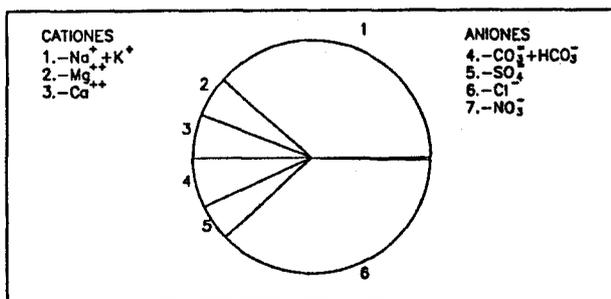
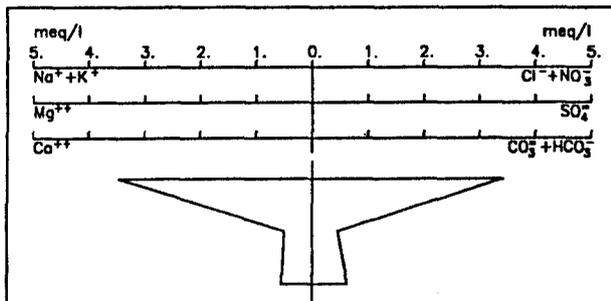
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	22.00	.46
Sodio	Na <sup>+</sup>	77.00	3.35	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	120.00	3.38
Potasio	K <sup>+</sup>	4.30	.11	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	11.00	.55	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	38.00	.62
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	6.00	.50	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	2.00	.03
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	490.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	52.28
pH	7.19
Residuo seco calc. (ppm)	257.89
Error analítico (‰)	.18

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.01	Mg/Ca	.90
Cl/(Na+K)	.98	Na/Ca	6.09
Cl/SO <sub>4</sub>	7.40	Na/K	30.43
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	1.13	SO <sub>4</sub> /Ca	.83
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.60	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.44



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0002

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : LAS CASITAS

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

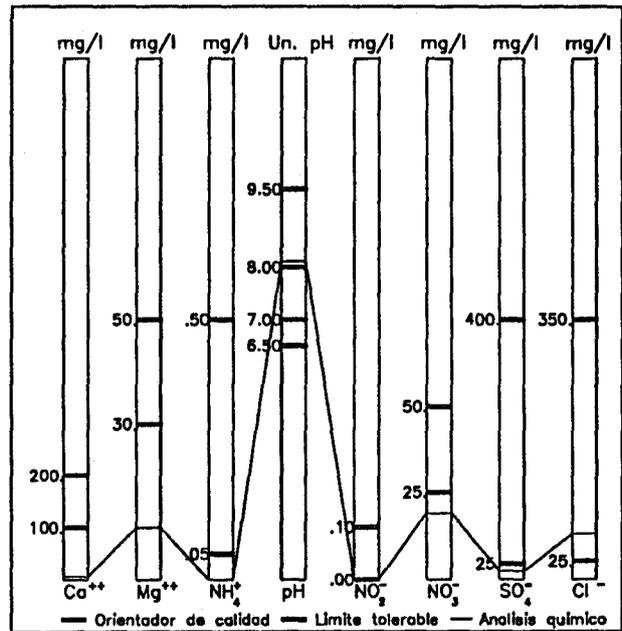
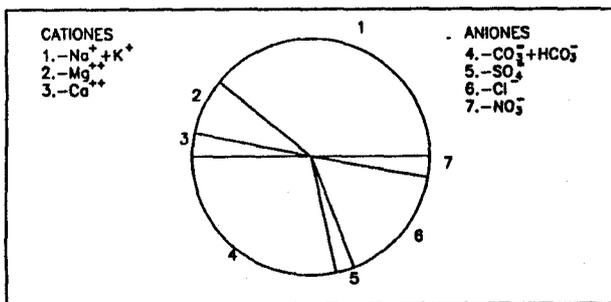
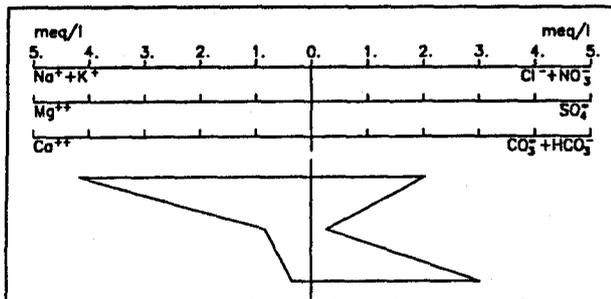
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	13.00	.27
Sodio	Na <sup>+</sup>	90.00	3.91	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	61.00	1.72
Potasio	K <sup>+</sup>	9.70	.25	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	7.00	.35	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	183.00	3.00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	10.00	.83	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19.00	.31
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	528.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	58.80
pH	8.11
Residuo seco calc. (ppm)	277.89
Error analítico (%)	.78

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.44	Mg/Ca	2.36
Cl/(Na+K)	.41	Na/Ca	11.19
Cl/SO <sub>4</sub>	6.36	Na/K	15.77
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	8.57	SO <sub>4</sub> /Ca	.77
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.55	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.23



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-6-0001

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : TAMADUSTE

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

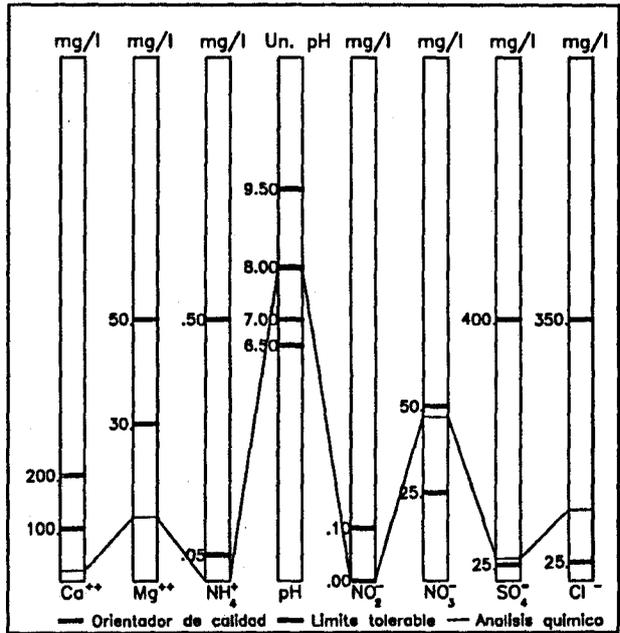
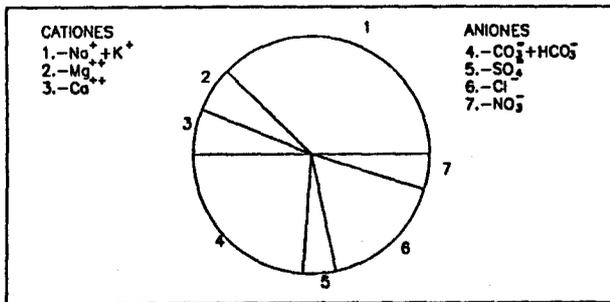
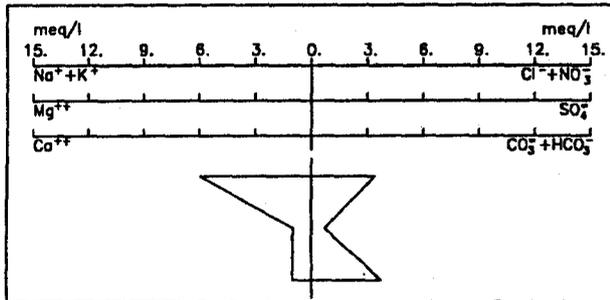
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	34.00	.71
Sodio	Na <sup>+</sup>	134.00	5.83	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	94.00	2.65
Potasio	K <sup>+</sup>	6.00	.15	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	20.00	1.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	229.00	3.76
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	12.00	.99	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	47.00	.76
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	774.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	99.56
pH	7.95
Residuo seco calc. (ppm)	407.37
Error analítico (‰)	1.31

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.45	Mg/Ca	.99
Cl/(Na+K)	.44	Na/Ca	5.83
Cl/SO <sub>4</sub>	3.75	Na/K	37.95
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	3.76	SO <sub>4</sub> /Ca	.71
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.89	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.36



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3543-5-0013 (S-13)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

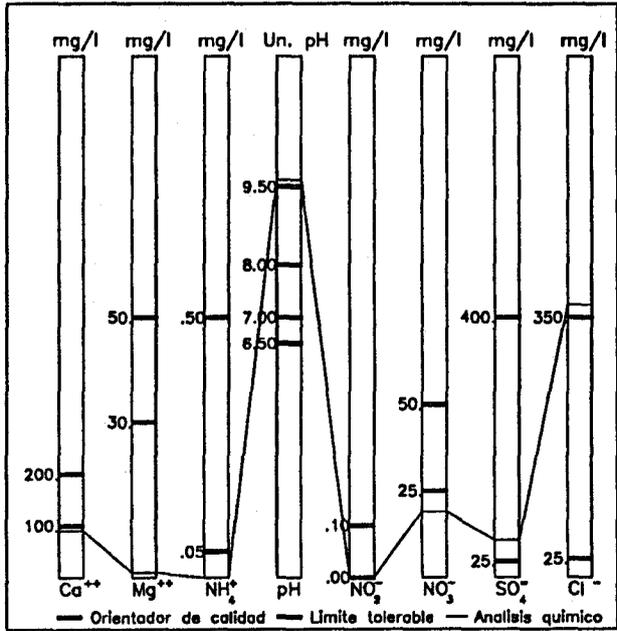
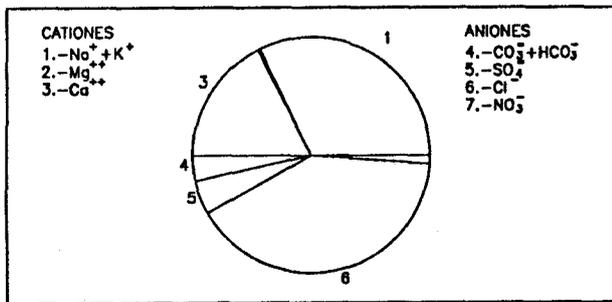
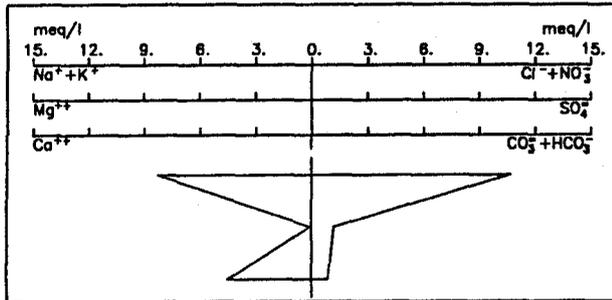
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	57.00	1.19
Sodio	Na <sup>+</sup>	172.00	7.48	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	367.00	10.35
Potasio	K <sup>+</sup>	30.00	.77	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19.00	.63
Calcio	Ca <sup>++</sup>	90.00	4.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15.00	.25
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	1.00	.08	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19.00	.31
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	1289.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	229.13
pH	9.63
Residuo seco calc. (ppm)	678.42
Error analítico (‰)	.88

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.38	Mg/Ca	.02
Cl/(Na+K)	1.25	Na/Ca	1.66
Cl/SO <sub>4</sub>	8.73	Na/K	9.74
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.20	SO <sub>4</sub> /Ca	.26
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.19	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.26



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0013 (S-11)

DENOMINACION : .

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE MUESTREO :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

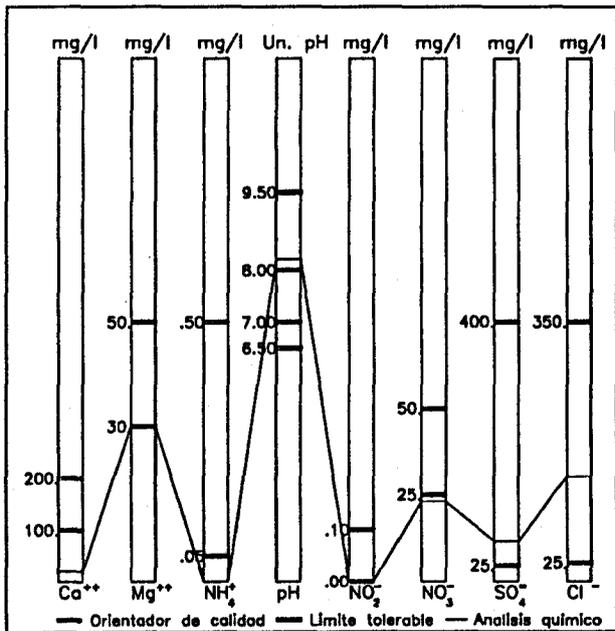
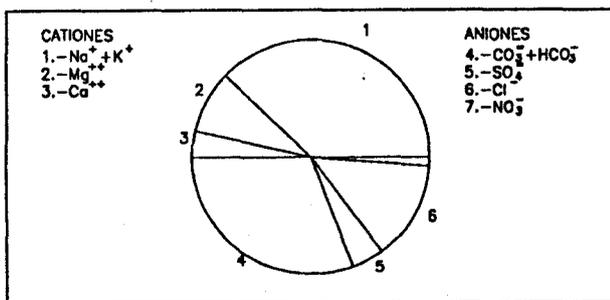
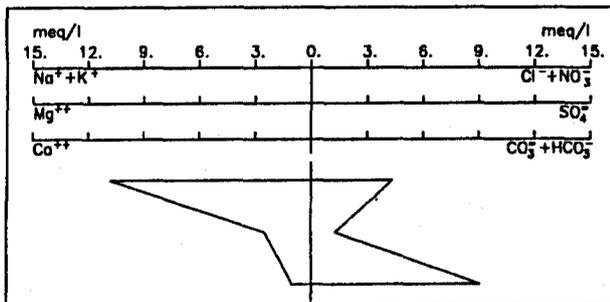
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	62.00	1.29
Sodio	Na <sup>+</sup>	212.00	9.22	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	141.00	3.98
Potasio	K <sup>+</sup>	62.00	1.59	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	4.00	.13
Calcio	Ca <sup>++</sup>	21.00	1.05	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	541.00	8.87
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	30.00	2.48	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	23.00	.37
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	1358.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	176.40
pH	8.21
Residuo seco calc. (ppm)	714.74
Error analítico (%)	2.10

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.43	Mg/Ca	2.36
Cl/(Na+K)	.37	Na/Ca	8.78
Cl/SO <sub>4</sub>	3.08	Na/K	5.81
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	8.58	SO <sub>4</sub> /Ca	1.23
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	2.55	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.37



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0022(L-1-P-6)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION :      FECHA DE ANALISIS : 28-09-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

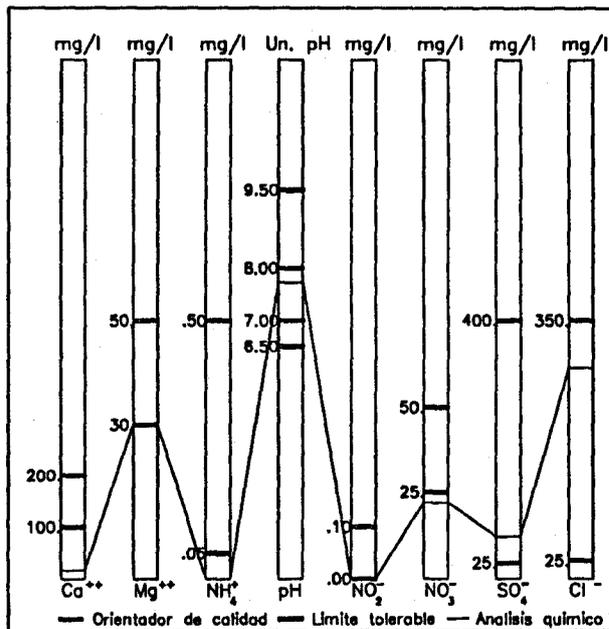
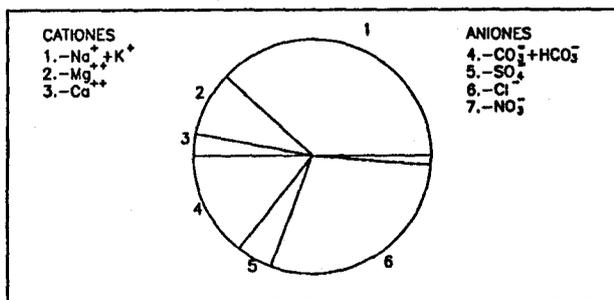
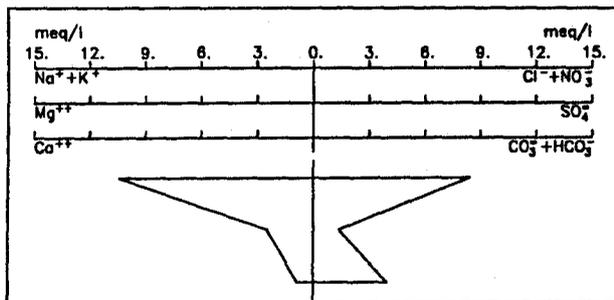
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	65.00	1.35
Sodio	Na <sup>+</sup>	208.00	9.05	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	286.00	8.07
Potasio	K <sup>+</sup>	53.00	1.36	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	17.00	.85	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	240.00	3.94
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	30.00	2.48	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.00	.35
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	1392.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	166.40
pH	7.73
Residuo seco calc. (ppm)	732.63
Error analítico (%)	.19

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.89	Mg/Ca	2.92
Cl/(Na+K)	.78	Na/Ca	10.64
Cl/SO <sub>4</sub>	5.97	Na/K	6.67
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.63	SO <sub>4</sub> /Ca	1.59
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.18	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.41



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0015 (S-16)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

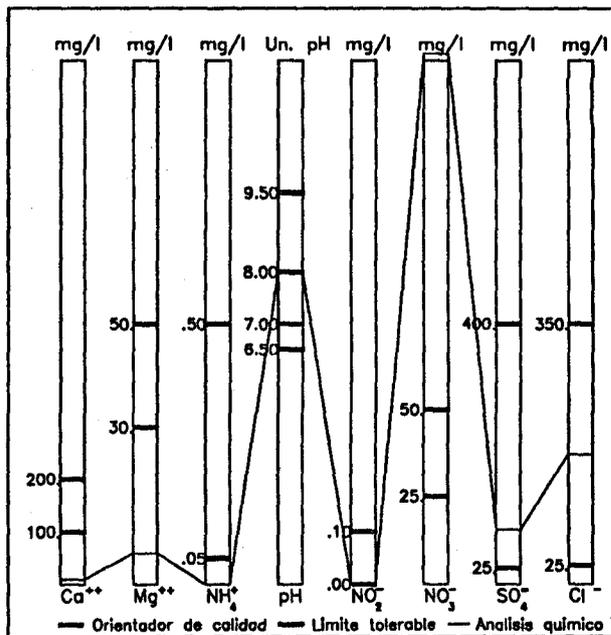
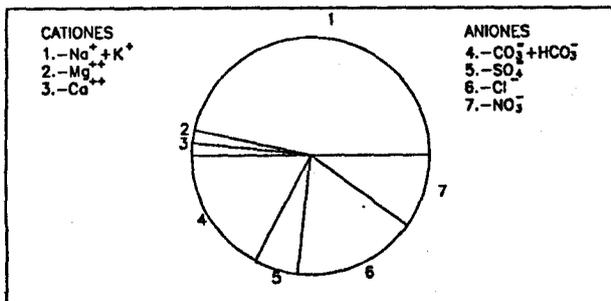
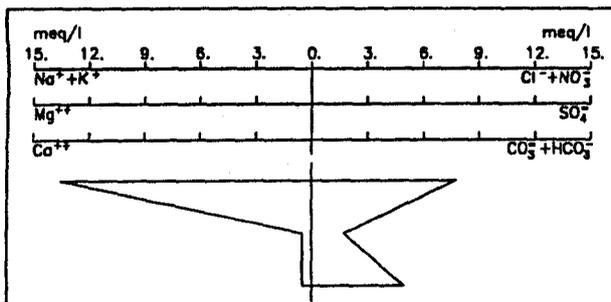
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	83.00	1.73
Sodio	Na <sup>+</sup>	240.00	10.44	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	173.00	4.88
Potasio	K <sup>+</sup>	118.00	3.02	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	10.00	.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	301.00	4.94
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	6.00	.50	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	178.00	2.87
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	1456.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	49.78
pH	7.98
Residuo seco calc. (ppm)	766.32
Error analítico (%)	.34

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.47	Mg/Ca	.99
Cl/(Na+K)	.36	Na/Ca	20.88
Cl/SO <sub>4</sub>	2.83	Na/K	3.46
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	9.87	SO <sub>4</sub> /Ca	3.45
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	4.96	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	1.73



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3544-1-0004

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : ICOTA

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

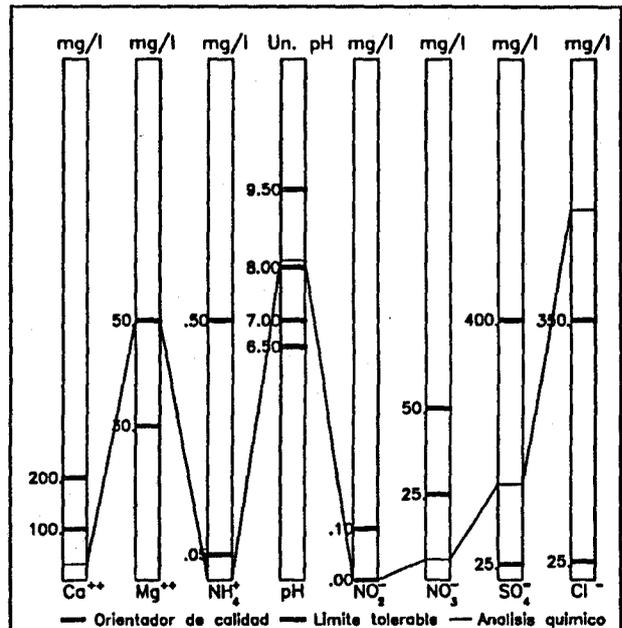
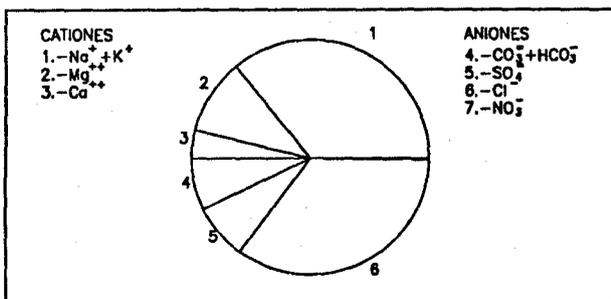
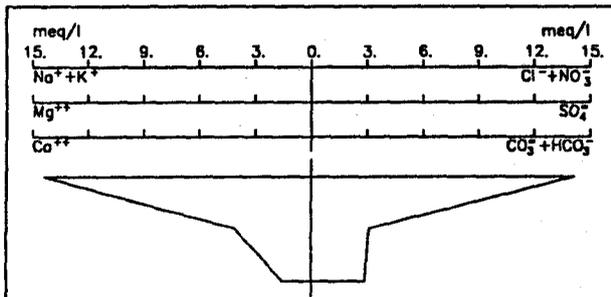
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	149.00	3.10
Sodio	Na <sup>+</sup>	310.00	13.48	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	498.00	14.04
Potasio	K <sup>+</sup>	33.00	.84	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	31.00	1.55	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	175.00	2.87
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	50.00	4.13	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.00	.10
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	1938.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	284.00
pH	8.13
Residuo seco calc. (ppm)	1020.00
Error analítico (‰)	.50

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.04	Mg/Ca	2.66
Cl/(Na+K)	.98	Na/Ca	8.70
Cl/SO <sub>4</sub>	4.53	Na/K	15.96
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	1.85	SO <sub>4</sub> /Ca	2.00
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.51	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.55



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0008(P-3-S-1)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

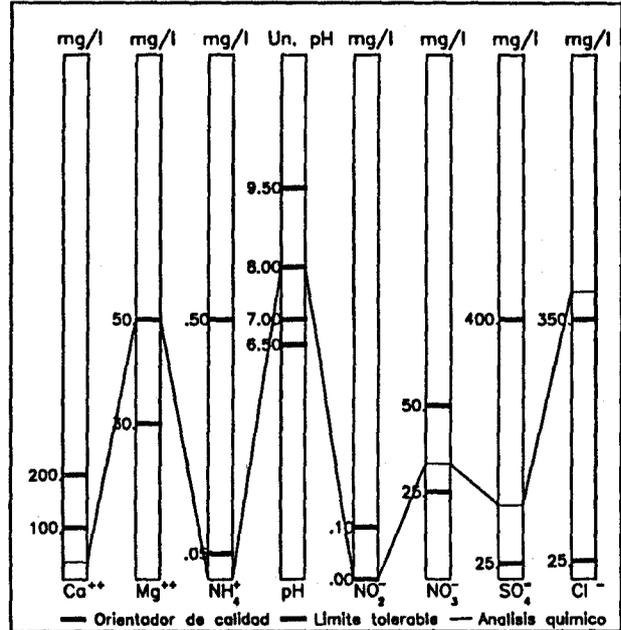
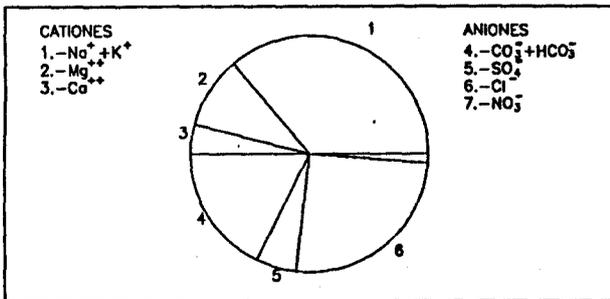
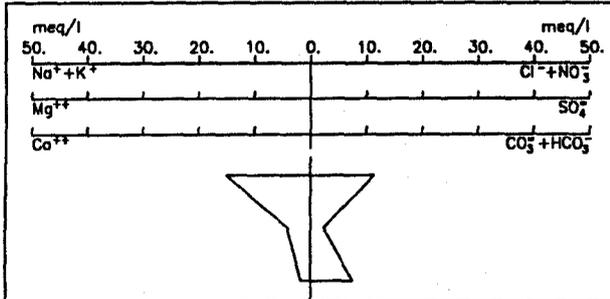
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	113.00	2.35
Sodio	Na <sup>+</sup>	310.00	13.48	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	388.00	10.94
Potasio	K <sup>+</sup>	62.00	1.59	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	34.00	1.70	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	458.00	7.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	50.00	4.13	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33.00	.53
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	2030.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	291.50
pH	7.99
Residuo seco calc. (ppm)	1068.42
Error analítico (%)	2.05

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.81	Mg/Ca	2.43
Cl/(Na+K)	.73	Na/Ca	7.93
Cl/SO <sub>4</sub>	4.66	Na/K	8.50
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.42	SO <sub>4</sub> /Ca	1.38
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.29	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.40



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0024(L-2-P-4)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

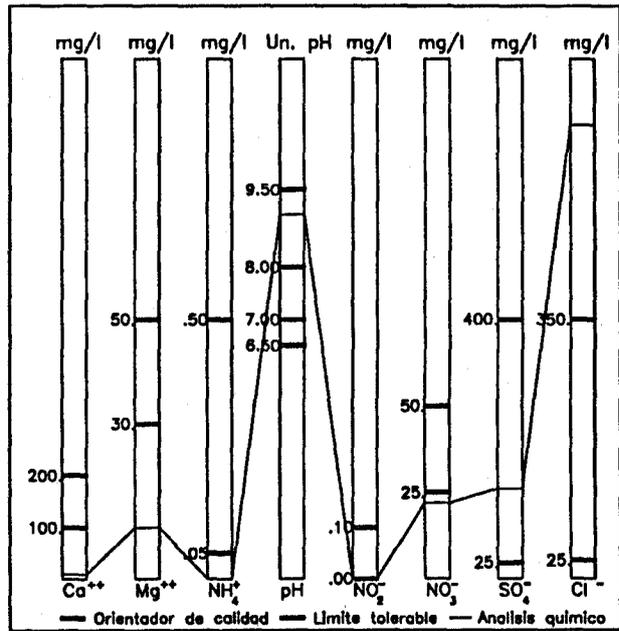
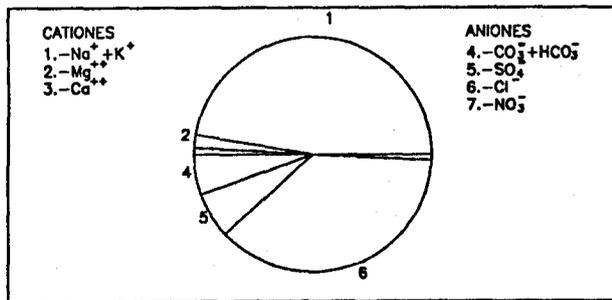
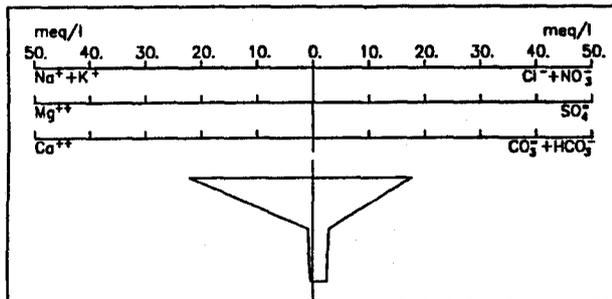
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	139.00	2.89
Sodio	Na <sup>+</sup>	455.00	19.79	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	612.00	17.26
Potasio	K <sup>+</sup>	88.00	2.25	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	11.00	.37
Calcio	Ca <sup>++</sup>	9.00	.45	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	130.00	2.13
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	10.00	.83	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.00	.35
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	2380.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	63.80
pH	9.01
Residuo seco calc. (ppm)	1252.63
Error analítico (‰)	1.38

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.87	Mg/Ca	1.84
Cl/(Na+K)	.78	Na/Ca	43.98
Cl/SO <sub>4</sub>	5.97	Na/K	8.79
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	5.55	SO <sub>4</sub> /Ca	6.42
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.96	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	2.27



OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0009(P-3-S-2)

DENOMINACION : .

FECHA DE MUESTREO :

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

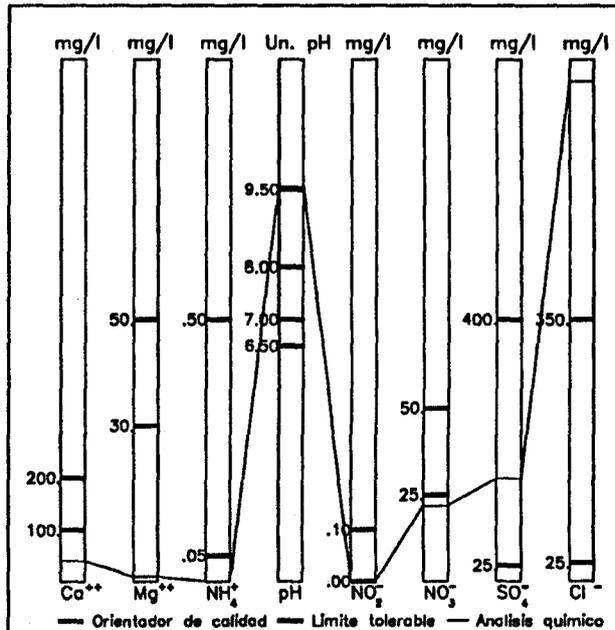
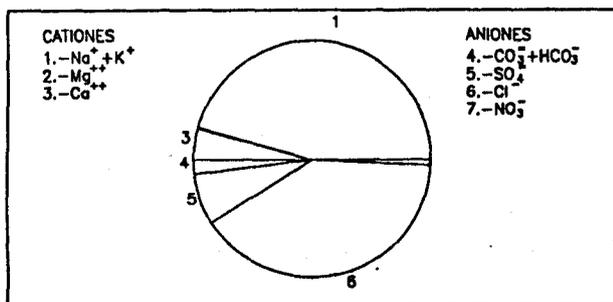
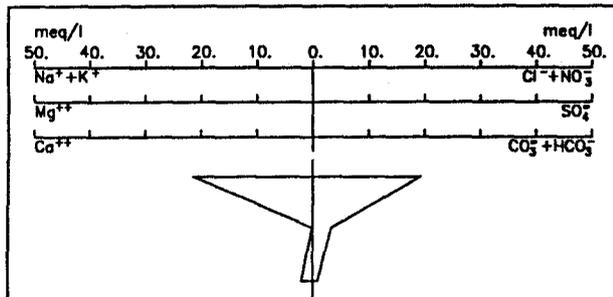
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	158.00	3.29
Sodio	Na <sup>+</sup>	440.00	19.14	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	671.00	18.92
Potasio	K <sup>+</sup>	86.00	2.20	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	19.00	.63
Calcio	Ca <sup>++</sup>	40.00	2.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15.00	.25
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	1.00	.08	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.00	.35
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	2410.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	104.13
pH	9.56
Residuo seco calc. (ppm)	1268.42
Error analítico (%)	.07

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.99	Mg/Ca	.04
Cl/(Na+K)	.89	Na/Ca	9.57
Cl/SO <sub>4</sub>	5.76	Na/K	8.69
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.44	SO <sub>4</sub> /Ca	1.64
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.42	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	1.58



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0021(L-1-P-5)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION : .      FECHA DE ANALISIS : 28-09-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

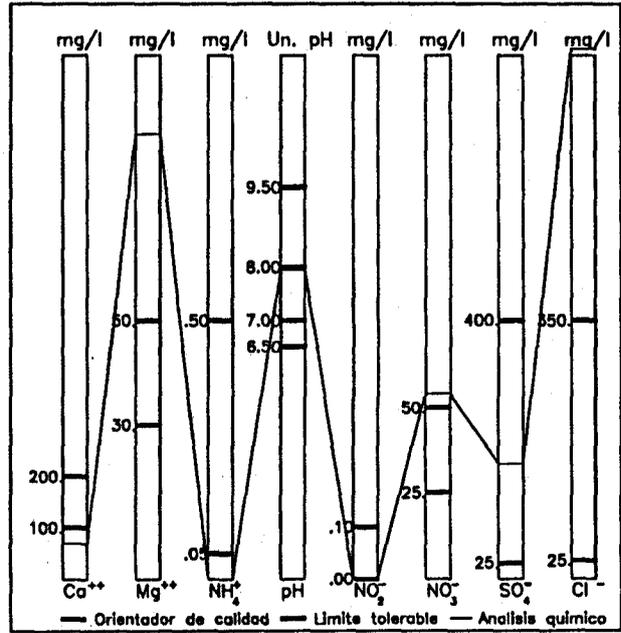
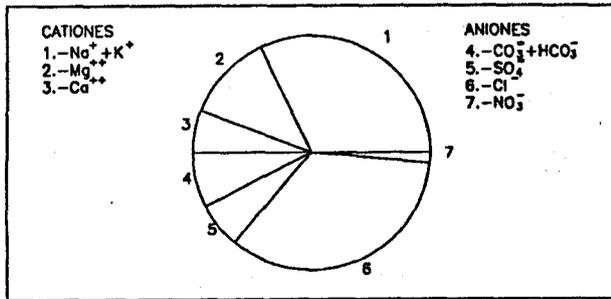
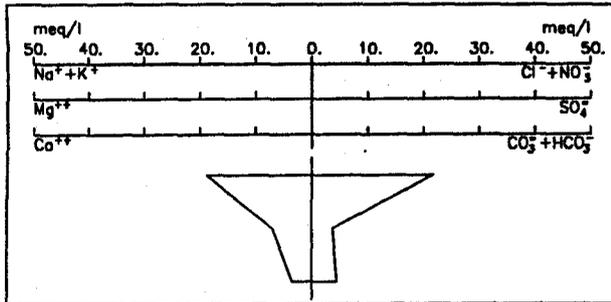
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	178.00	3.70
Sodio	Na <sup>+</sup>	380.00	16.53	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	738.00	20.81
Potasio	K <sup>+</sup>	88.00	2.25	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	70.00	3.50	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	275.00	4.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	85.00	7.02	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	54.00	.87
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	2880.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	526.05
pH	7.94
Residuo seco calc. (ppm)	1515.79
Error analítico (%)	1.99

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.26	Mg/Ca	2.01
Cl/(Na+K)	1.11	Na/Ca	4.72
Cl/SO <sub>4</sub>	5.62	Na/K	7.34
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	1.29	SO <sub>4</sub> /Ca	1.06
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.43	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.35



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3444-4-0006 (S-17)

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION :

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

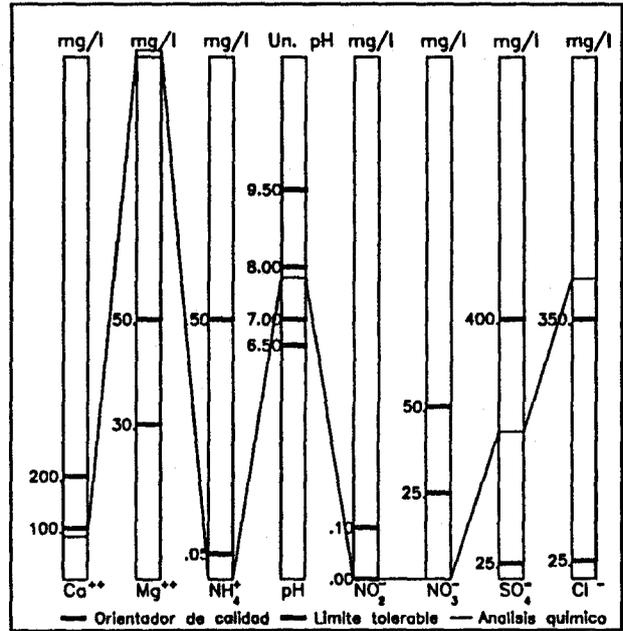
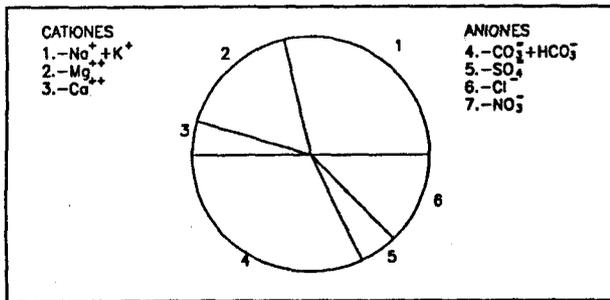
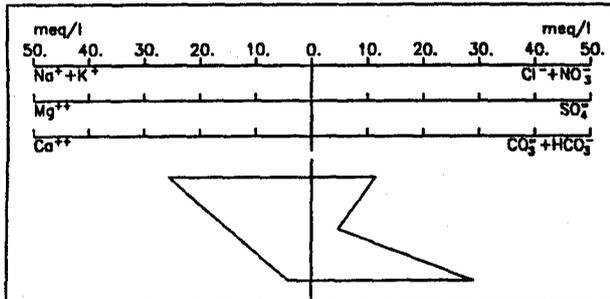
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	228.00	4.74
Sodio	Na <sup>+</sup>	540.00	23.49	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	404.00	11.39
Potasio	K <sup>+</sup>	82.00	2.10	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	84.00	4.20	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1761.00	28.88
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	180.00	14.87	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	3680.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	953.40
pH	7.79
Residuo seco calc. (ppm)	1936.84
Error analítico (‰)	.80

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.49	Mg/Ca	3.54
Cl/(Na+K)	.45	Na/Ca	5.59
Cl/SO <sub>4</sub>	2.40	Na/K	11.19
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	6.88	SO <sub>4</sub> /Ca	1.13
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	1.51	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.25



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0002

FECHA DE MUESTREO :

DENOMINACION : LOS LLANITOS

FECHA DE ANALISIS : 28-09-90

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

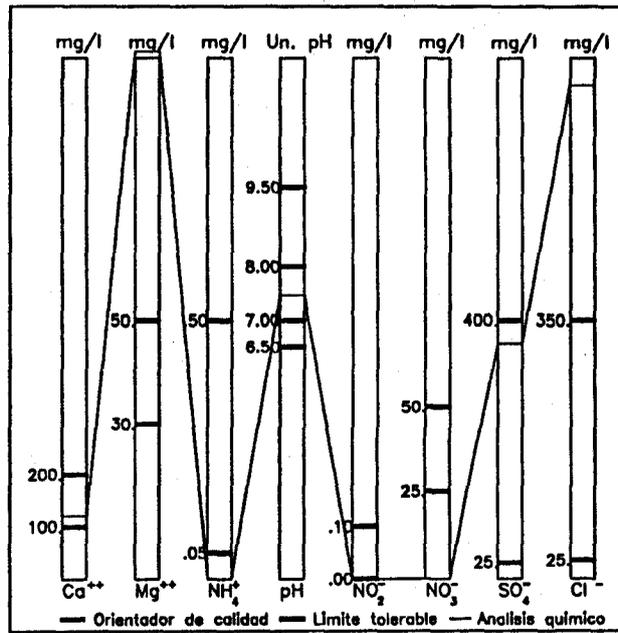
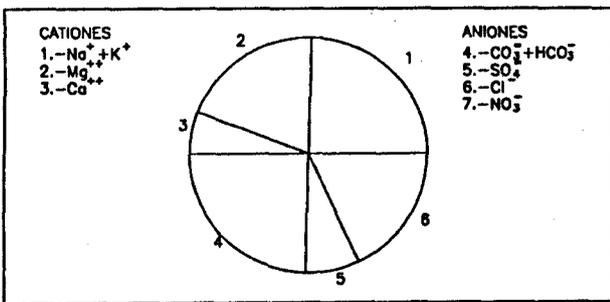
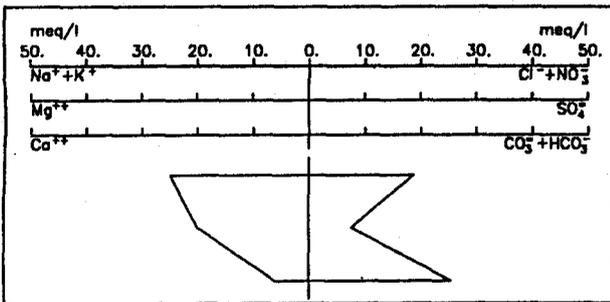
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	365.00	7.59
Sodio	Na <sup>+</sup>	530.00	23.06	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	663.00	18.70
Potasio	K <sup>+</sup>	70.00	1.79	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	.00	.00
Calcio	Ca <sup>++</sup>	120.00	6.00	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1548.00	25.39
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	240.00	19.82	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.00	.00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	4210.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	1291.20
pH	7.46
Residuo seco calc. (ppm)	2215.79
Error analítico (%)	1.96

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.81	Mg/Ca	3.30
Cl/(Na+K)	.75	Na/Ca	3.84
Cl/SO <sub>4</sub>	2.46	Na/K	12.87
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	4.23	SO <sub>4</sub> /Ca	1.27
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.98	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.29



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0018(L-1-P-2)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION : .      FECHA DE ANALISIS : 28-09-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

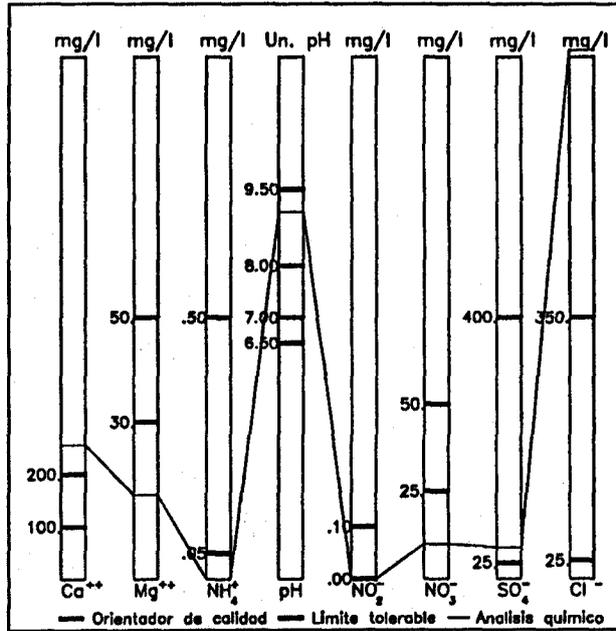
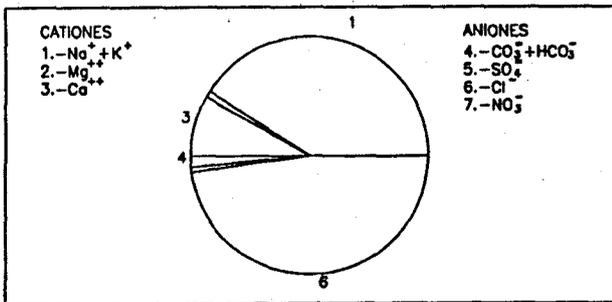
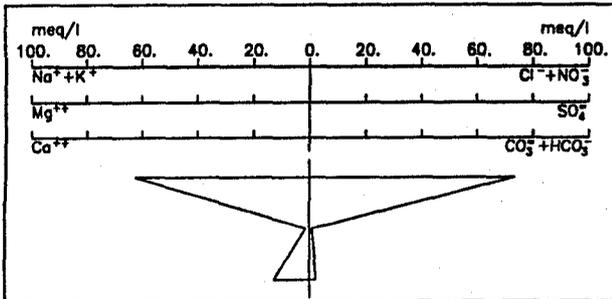
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	48.00	1.00
Sodio	Na <sup>+</sup>	1360.00	59.16	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	2590.00	73.04
Potasio	K <sup>+</sup>	132.00	3.38	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	11.00	.37
Calcio	Ca <sup>++</sup>	256.00	12.80	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	122.00	2.00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	16.00	1.32	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.00	.16
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	7190.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	706.08
pH	9.06
Residuo seco calc. (ppm)	3784.21
Error analítico (‰)	.13

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.23	Mg/Ca	.10
Cl/(Na+K)	1.17	Na/Ca	4.62
Cl/SO <sub>4</sub>	73.16	Na/K	17.51
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.18	SO <sub>4</sub> /Ca	.08
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.17	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.07



### OTRAS DETERMINACIONES :

# GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° : 3443-8-0017(L-1-P-1)      FECHA DE MUESTREO :  
 DENOMINACION :      FECHA DE ANALISIS : 28-09-90  
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

## HOJA DE ANALISIS

### RESULTADOS ANALITICOS :

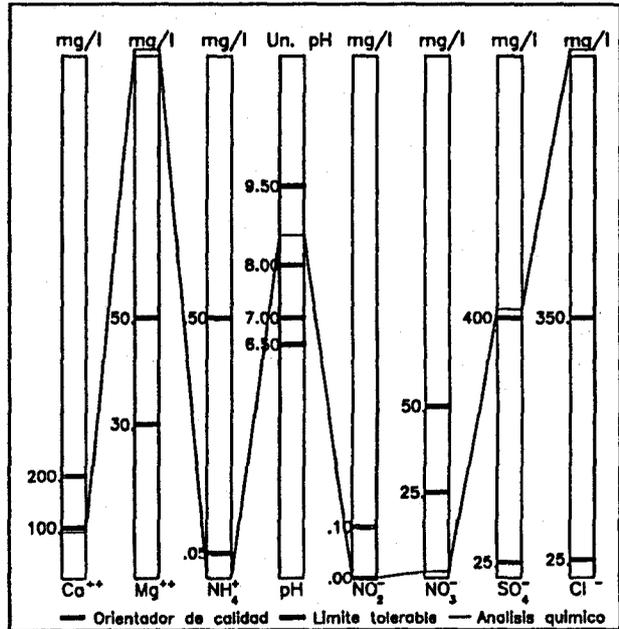
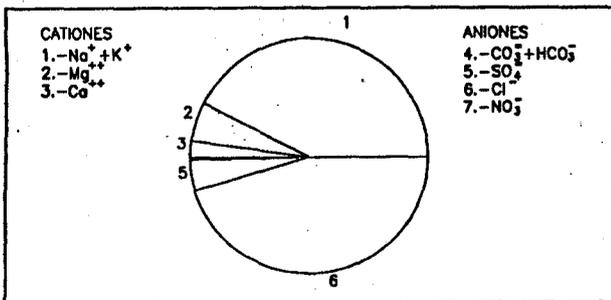
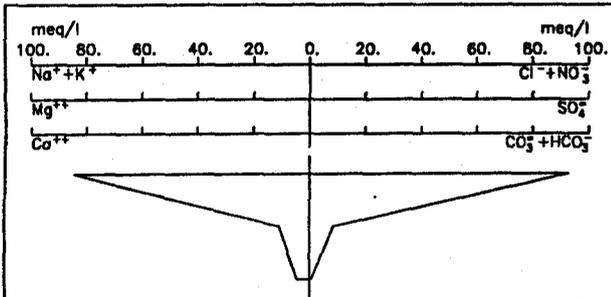
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li <sup>+</sup>	.00	.00	Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	413.00	8.59
Sodio	Na <sup>+</sup>	1880.00	81.78	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	3277.00	92.41
Potasio	K <sup>+</sup>	96.00	2.46	Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	4.00	.13
Calcio	Ca <sup>++</sup>	92.00	4.60	Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31.00	.51
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	130.00	10.74	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.00	.03
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.00	.00	Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	.00	.00

### ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	9270.
Dureza calculada (ppm CaCO <sub>3</sub> )	766.90
pH	8.56
Residuo seco calc. (ppm)	4878.95
Error analítico (‰)	2.09

### RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.13	Mg/Ca	2.33
Cl/(Na+K)	1.10	Na/Ca	17.78
Cl/SO <sub>4</sub>	10.76	Na/K	33.28
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/Ca	.14	SO <sub>4</sub> /Ca	1.87
(CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub> )/(Ca+Mg)	.04	SO <sub>4</sub> /(Ca+Mg)	.56



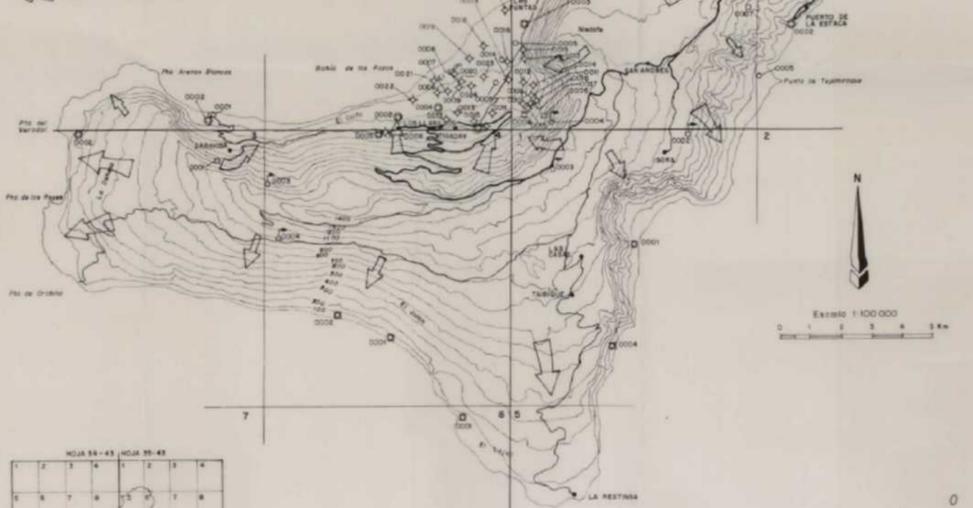
OTRAS DETERMINACIONES :

**PLANO**

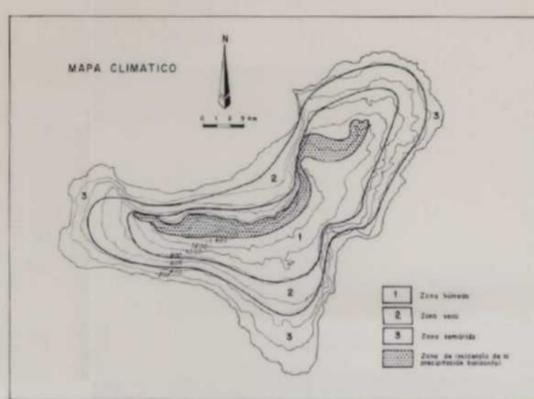
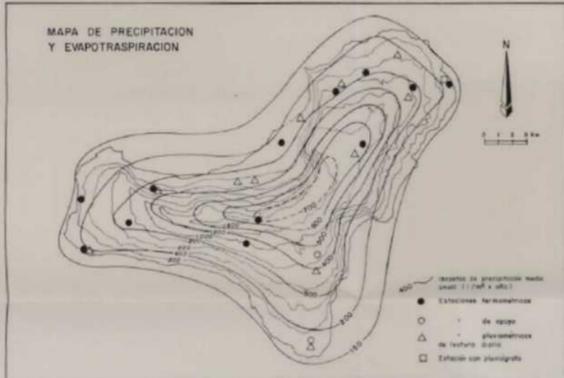
MAPA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y DIRECCIONES DE FLUJO

LEYENDA

- ◊ Sondeo
- Nacimiento
- Pozo
- Pozo con galería
- ◻ Galería con pozo
- Dirección del flujo subterráneo



ESQUEMA DE HOJAS E 1:50,000 Y SU DIVISION EN CUADROS DE LA ISLA DE EL HIERRO



LEYENDA

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS

- 6 Sedimentos actuales
- SERIE MODERNA
- 5 Laves de El Golfo
- 4 Conos de escoria
- 3 Laves jóvenes
- SERIE ANTIGUA
- 2 Basaltos de las series 54.2 y 54.3
- 1 Basaltos de la serie 54.1

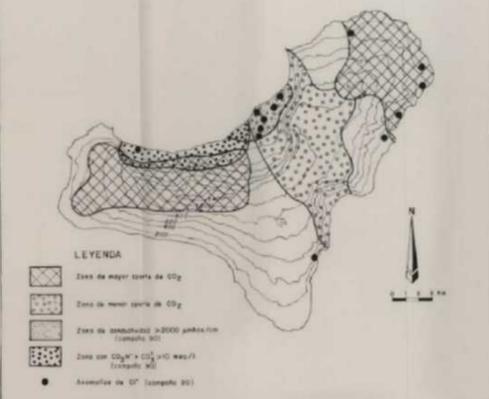
UNIDADES MORFOLOGICAS

- Cráter
- Centro de emisión en ciber
- Centro de emisión en El Golfo
- Límite de la depresión tectónica

SIMBOLOGIA ESTRUCTURAL

- Falla principal
- Falla secundaria
- Diques
- Fibra eruptiva

MAPA DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS HIDROQUIMICOS



LEYENDA

- Zona de mayor concentración de  $CO_2$
- Zona de menor concentración de  $CO_2$
- Zona de conductividad  $> 2000 \mu S/cm$  (escala 50)
- Zona con  $Ca^{2+} + Mg^{2+} > 10 meq/l$  (escala 50)
- Asociación de  $Cl^-$  (escala 50)

PLANO GEOLOGICO

Instituto Tecnológico Geomínero de España

PROYECTO	ACTUALIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA DE LA ISLA DEL HIERRO SISTEMA ACUIFERO 87	CLAVE	GA-6844
PLANOS	GEOLOGICO - HIDROGEOLOGICO - CLIMATICO - PLUVIOMETRICO E HIDROQUIMICO	PLANO N°	1
DIBUJADO	S. GUTIERREZ	FECHA	AGOSTO-1990
COMPROBADO	C. LUCENA	AUTOR	V. RUIZ
ESCALA			