

Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

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

**TOMO II. APLICACION DE LAS TECNICAS DE CONTROL DE LA ZONA NO
SATURADA PARA CALCULAR LOS CAUDALES DE INFILTRA-
CION EN LA ISLA DE EL HIERRO**



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

OCTUBRE -1990

2452.

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

TOMO II

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



PRESENTACION

El estudio que aquí se presenta, forma parte de otro de carácter más general que lleva por título: *"Proyecto para la actualización de la infraestructura hidrogeológica de la isla del Hierro (Sistema Acuífero 87)"*, desarrollado por el Instituto Tecnológico Geominero de España, y que realiza la Empresa GEOMECANICA Y AGUAS, S.A., en régimen de subcontratación.

La parte experimental del mismo se ha llevado a cabo en el período comprendido entre Junio y Noviembre de 1989.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. Precipitación horizontal. Consideraciones generales	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodología	4
1.4. Equipo de trabajo	4
2. METODOS DE CALCULO DE LA INFILTRACION	5
2.1. Métodos basados en la determinación de parámetros físicos	6
2.1.1. Fundamentos teóricos	7
2.1.2. Métodos de cálculo de la infiltración	10
2.1.2.1. Métodos basados en medidas del contenido en agua	10
2.1.2.2. Métodos que requieren medidas de gradientes hidráulicos	10
2.2. Métodos basados en la determinación de parámetros químicos: Balance de cloruros	11
2.3. Instrumentación necesaria	12
2.3.1. Medición de parámetros físicos	12
2.3.2. Caracterización de la composición química del agua en la zona no saturada. Lisímetros de vacío-presión	16
3. ZONA DE ESTUDIO	18
4. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	21
5. DESCRIPCION LITOLÓGICA	26
6. RESULTADOS OBTENIDOS	29
6.1. Medición de parámetros físicos	30
6.1.1. Granulometría	30
6.1.2. Contenido en agua	35

6.1.3.	Curvas de pF	35
6.1.4.	Tensiometría	36
6.2.	Medición de parámetros químicos	38
6.2.1.	Resultados analíticos	43
7.	CALCULO DE LA INFILTRACION	45
7.1.	Métodos basados en la determinación de parámetros físicos	46
7.1.1.	Métodos basados en medidas del contenido en agua	46
7.1.2.	Métodos basados que requieren medidas de los gradientes hidráulicos	48
7.2.	Métodos basados en la determinación de parámetros químicos	49
7.2.1.	Hipótesis de régimen permanente	51
7.2.2.	Hipótesis de régimen transitorio	51
7.3.	Determinación de la velocidad de infiltración	51
8.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	54
9.	RECOMENDACIONES	57

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Relación entre la conductividad hidráulica y el potencial mátrico para cuatro suelos (Wilson, 1982)	7
Figura 2.2. Curvas características del agua del suelo para distintos materiales (Wilson, 1981)	9
Figura 2.3. Esquema de un tensiómetro	13
Figura 2.4. Aspecto de un tensiómetro (izquierda) y de un lisímetro de vacío-presión (derecha)	14
Figura 2.5. Aspecto de un tensiómetro instalado en el campo	15
Figura 2.6. Esquema de un lisímetro de vacío-presión	17
Figura 2.7. Extracción de muestras de agua en la zona no saturada a) Creación de vacío b) Extracción del agua almacenada	17
Figura 3.1. Situación de la parcela experimental	20
Figura 4.1. Equipo de sondeo manual EIJKELKAMP utilizado en la instrumentación de la zona experimental	23
Figura 4.2. Croquis de situación de la zona experimental y disposición relativa de la instrumentación instalada en la misma	24
Figura 4.3. Aspecto que presenta la zona de estudio	25
Figura 5.1. Ejecución del sondeo S1 para la realización de la descripción litológica y toma de muestras de suelo	28
Figura 6.1. Curvas granulométricas	32
Figura 6.2. Variación en profundidad del porcentaje en que aparecen las distintas fracciones separadas en los análisis granulométricos llevados a cabo	34
Figura 7.1. Evolución en profundidad de la concentración de cloruros a) Muestreo realizado el 31.10.89 b) Muestreo realizado el 15.11.89 c) Muestreo realizado el 30.11.89	53

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5.1. Descripción litológica del sondeo S1	27
Tabla 6.1. Clasificación de los materiales atendiendo al diámetro de grano (U.S.D.A.)	30
Tabla 6.2. Proporción en que se encuentran las distintas fracciones separadas (en % en peso)	33
Tabla 6.3. Contenido de agua expresado en % referido a la masa de suelo seco	35
Tabla 6.4. Tensiometría (cbares). Junio a Noviembre 1989	37
Tabla 6.5. Precipitaciones recogidas en el pluviómetro situado en la zona de estudio	39
Tabla 6.6. Muestras tomadas en el período Junio-Noviembre 89 en El Hierro	40
Tabla 6.7. Presiones residuales medidas en los lisímetros, de forma previa a su muestreo, y volúmenes de agua almacenada en los mismos	42
Tabla 7.1. Contenidos de agua obtenidos a partir de las tensiometrías	47
Tabla 7.2. Valores de potencial total (cm)	48

ANEXOS

ANEXO 1: Granulometrías

ANEXO 2: Curvas de pF

ANEXO 3: Análisis químicos de muestras de agua

1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

Las aguas subterráneas constituyen un recurso importante, en especial en zonas en las que las precipitaciones son escasas. La utilización racional de las mismas requiere una evaluación adecuada de las reservas existentes, así como del volumen anual que representa la recarga. Esta última procede fundamentalmente de la lluvia, si bien existen otras aportaciones adicionales que en ocasiones suponen un porcentaje elevado respecto al volumen total de agua que se infiltra.

Desde hace algunos años existe una controversia sobre el papel que debe asignarse en Canarias a la denominada "precipitación horizontal", a la hora de evaluar la infiltración total de agua en las islas.

A este respecto se han realizado varios estudios en los últimos años, y se han desarrollado e instalado captanieveblas para estimar el volumen de agua aportado al terreno procedente de las nieblas, tan abundantes en estas islas.

En este estudio se aborda este problema desde otra perspectiva, centrada en el control de la zona no saturada.

Todo el agua que llega a los acuíferos ha de pasar necesariamente a través de la zona no saturada (porción de terreno comprendida entre la superficie del suelo y el nivel freático del acuífero más somero). Esta zona almacena y transmite el agua, que procedente de la superficie discurre hacia la zona saturada. Por tanto, si se establece un control adecuado en la zona no saturada se puede calcular la recarga.

Si se dispone además de un pluviómetro, se puede estudiar la proporción del agua que procede de la lluvia y la que procede de la niebla. La suma de ambas aportaciones nos dará la recarga total del acuífero o acuíferos existentes.

1.1. Precipitación Horizontal. Consideraciones generales

Los vientos alisios, que tienen su origen en el Anticiclón de las Azores, definen en gran medida el clima canario.

Existen dos capas de alisios superpuestos. Una, la más baja, de aire fresco y húmedo procedente del NE y la otra, encima de ella y separada por una superficie de discontinuidad e inversión de temperatura, con aire caliente y seco, procedente del NO.

La capa inferior presenta generalmente una potencia de 900 a 1600 m y en su parte superior, los movimientos de turbulencia y convección debidos al alisio provocan la formación de extensos bancos de nubes. El desarrollo de nubes en altura está impedido por la presencia de aire seco situado por encima de la superficie de inversión.

Es típico de las islas con altitudes superiores a esta superficie de inversión que las laderas norte estén la mayor parte del año cubiertas de nubes y las laderas sur tengan un cielo despejado. Este hecho incide en la pluviometría, mayor en las laderas norte, y naturalmente repercute en la vegetación, además de presentar otros condicionantes. En esta orientación, en altitudes comprendidas entre 0 y 500 m, las zonas costeras se encuentran bajo la influencia de los alisios con aire húmedo y fresco y cielo nuboso, pero percibiendo precipitación escasa o nula. En cambio, entre 900 y 1600 m se sitúa el "mar de nubes", más o menos duradero. Allí, el agua condensada y mantenida en suspensión por el aire es retenida por los accidentes del terreno y la vegetación, lo cual produce un aporte denominado "precipitación horizontal". La cantidad de esta precipitación viene definida por la renovación o circulación del aire y por la superficie de exposición.

En una experiencia realizada en 1969, a la cota 900 en la isla de Tenerife, se situó un pluviómetro bajo un eucalipto y otro al descubierto, a escasa distancia del anterior. La cantidad de agua recogida en un año por el primer pluviómetro fue tres veces superior a la del segundo.

Hay autores que opinan que en diversas zonas del archipiélago la pluviometría media, medida en zonas descubiertas, debería multiplicarse por valores superiores a cinco, con objeto de englobar de esta manera la precipitación horizontal.

En cualquier caso, este tipo de precipitación sólo afecta a las zonas orientadas al norte que son las de mayor pluviometría y su aporte es superior en las zonas con vegetación que en aquellas que no la tienen.

1.2. Objetivos

Con el desarrollo de este trabajo se pretende establecer una metodología de estudio para evaluar el porcentaje de la recarga total debida a las nieblas o "precipitación horizontal", mediante el control adecuado de la zona no saturada.

Este objetivo, de carácter general, engloba otros más concretos que servirán para la consecución de aquél. Entre éstos cabe citar:

- Análisis de los métodos de cálculo de la infiltración, basados en el estudio de la zona no saturada.
- Estudio de las técnicas de muestreo en la zona no saturada.

- Instalación de la instrumentación necesaria.
- Elaboración de recomendaciones tendentes a la realización de una 2ª fase de estudio, si los resultados obtenidos así lo aconsejasen.

1.3. Metodología

Para valorar la recarga procedente de la "precipitación horizontal" se han cubierto una serie de etapas, que incluyen:

Revisión bibliográfica de los métodos de cálculo de la infiltración mediante el estudio de la zona no saturada.

Elección de la zona experimental en la que llevar a cabo los ensayos programados.

Instrumentación de la zona elegida, con la instalación de los dispositivos de control necesarios y con la toma de muestras para análisis de suelos.

Realización de lecturas periódicas del instrumental instalado.

Muestreo y análisis periódicos de la solución intersticial, del agua de lluvia y del agua de condensación.

Elaboración de resultados, con la obtención de conclusiones y recomendaciones.

1.4. Equipo de trabajo

Durante el transcurso de esta experiencia han participado un gran número de profesionales, técnicos y auxiliares, pertenecientes al Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), y Geomecánica y Aguas, S.A.

Por parte del ITGE, cabe destacar la participación, como Director del Proyecto, de D. Emilio Lamonedá. Y, en Geomecánica y Aguas, S.A., la de: D. Cayetano Lucena, Dª Mª Teresa Maestro, D. Silvino Castaño, Dª Mª Dolores Mohedano, Dª Mª Dolores Corrales, Dª Milagros Torés, D. Simón Gutiérrez y D. Angel Casañas.

2. METODOS DE CALCULO DE LA INFILTRACION

2. METODOS DE CALCULO DE LA INFILTRACION

Existen dos tipos de métodos para el cálculo de la infiltración, que se apoyan en la determinación o medición de parámetros físicos o químicos en la zona no saturada. A continuación se describen algunos de estos métodos.

2.1. Métodos basados en la determinación de parámetros físicos

El estudio de la transmisión de líquidos en la zona no saturada tiene por objeto caracterizar el flujo durante su movimiento hacia el acuífero subyacente. El flujo se define como la cantidad de fluido que atraviesa una sección de área unidad en la unidad de tiempo, y cuantifica por tanto, el volumen de agua que alcanza la zona saturada.

En este proceso de transmisión de líquidos pueden distinguirse tres etapas: infiltración, percolación y recarga. Por medio de la infiltración el agua se introduce en el subsuelo; la percolación se refiere al movimiento a través de la zona no saturada y la recarga consiste en el movimiento del fluido que llega al acuífero.

Cuando la infiltración se produce en un suelo seco, la velocidad de penetración depende inicialmente de las fuerzas de succión. Después, cuando el terreno se va saturando y la profundidad aumenta, los potenciales de succión disminuyen y la gravedad es la fuerza predominante en el avance de los fluidos.

Los factores principales que afectan a la infiltrabilidad de un suelo son la textura y estructura del suelo y su contenido inicial de agua.

Por su parte la percolación depende de la permeabilidad de los terrenos de la zona no saturada, que a su vez está relacionada con la distribución del tamaño de grano y con el grado de clasificación de los materiales asociados. En terrenos sedimentarios la permeabilidad horizontal de los sedimentos del medio no saturado es generalmente mayor que la vertical. Por tanto, la presencia de capas impermeables (lentejones de arcillas), hace que el agua se mueva preferentemente en dirección horizontal.

De acuerdo con la Ley de Darcy, el flujo en la zona no saturada se puede expresar como:

$$J = K(\psi_m) \frac{d\psi_m}{dz}$$

donde :

- J = flujo
- $K(\psi_m)$ = conductividad hidráulica
- ψ_m = potencial mátrico

- ψ_h = potencial hidráulico ($\psi_m + \psi_z$)
 ψ_z = potencial gravitacional
 z = distancia vertical

La conductividad hidráulica o permeabilidad es función del potencial mátrico, y éste a su vez lo es del contenido en agua (θ). Se pueden obtener curvas de calibración a partir de muestras sólidas relacionando $K(\psi_m)$ y ψ_m . Estas curvas muestran que cuando el potencial mátrico aumenta negativamente, la permeabilidad disminuye (fig. 2.1).

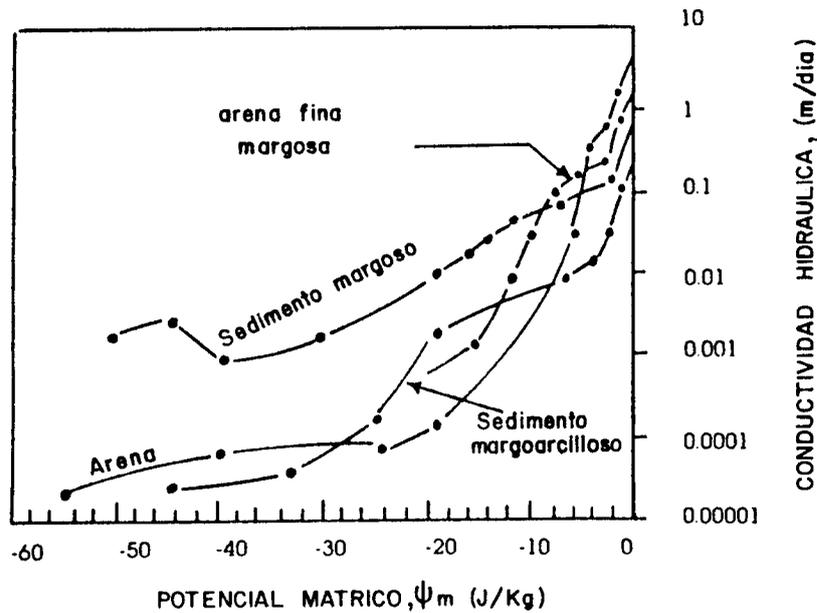


Fig. 2.1. Relación entre la conductividad hidráulica y el potencial mátrico para cuatro suelos (Wilson, 1982).

2.1.1. Fundamentos teóricos

En el medio no saturado la presión hidrostática es menor que la atmosférica. Si se toma esta última como referencia, la presión de la humedad del suelo es negativa.

El potencial total del agua en el suelo se compone de potenciales parciales debidos a los diferentes campos de fuerzas (acción de la gravedad, fuerzas mátricas debidas a la adsorción de la humedad en la fase sólida del suelo por atracción electrostática y capilaridad, presión hidrostática, posible presión osmótica y presión externa). En la zona no saturada sólo existe el potencial de gravedad y el potencial mátrico, capilar o de succión.

$$\psi_t = \psi_g + \psi_m = gz + \frac{P}{\rho}$$

donde:

- ψ_t = potencial total
- ψ_g = potencial de gravedad
- ψ_m = potencial mátrico
- g = aceleración de la gravedad
- z = elevación respecto a un nivel de referencia
- P = presión de la humedad del suelo
- ρ = densidad del agua

El potencial mátrico, también denominado succión (S), viene dado por $\psi_m = -\frac{P}{\rho \cdot g}$ y se expresa como altura de agua, generalmente en centímetros. Los valores de succión varían entre 0 en la zona saturada y 10^7 cm en muestras desecadas en estufa. Los valores de la succión se suelen expresar como pF (log de la succión en cm),

$$pF = \text{Log}_{10} \psi_m ; -\infty \leq pF \leq 7$$

La relación entre el contenido de agua y el potencial mátrico para un material dado viene descrita por una *curva característica*, obtenida a partir del análisis de la matriz sólida. En la figura 2.2 se han representado las curvas características de distintos materiales tipo. A medida que disminuye el contenido de agua de un material, el potencial mátrico aumenta negativamente.

Para un mismo material, se obtienen distintas curvas que varían si se determina de húmedo a seco o viceversa (fenómeno conocido como histéresis).

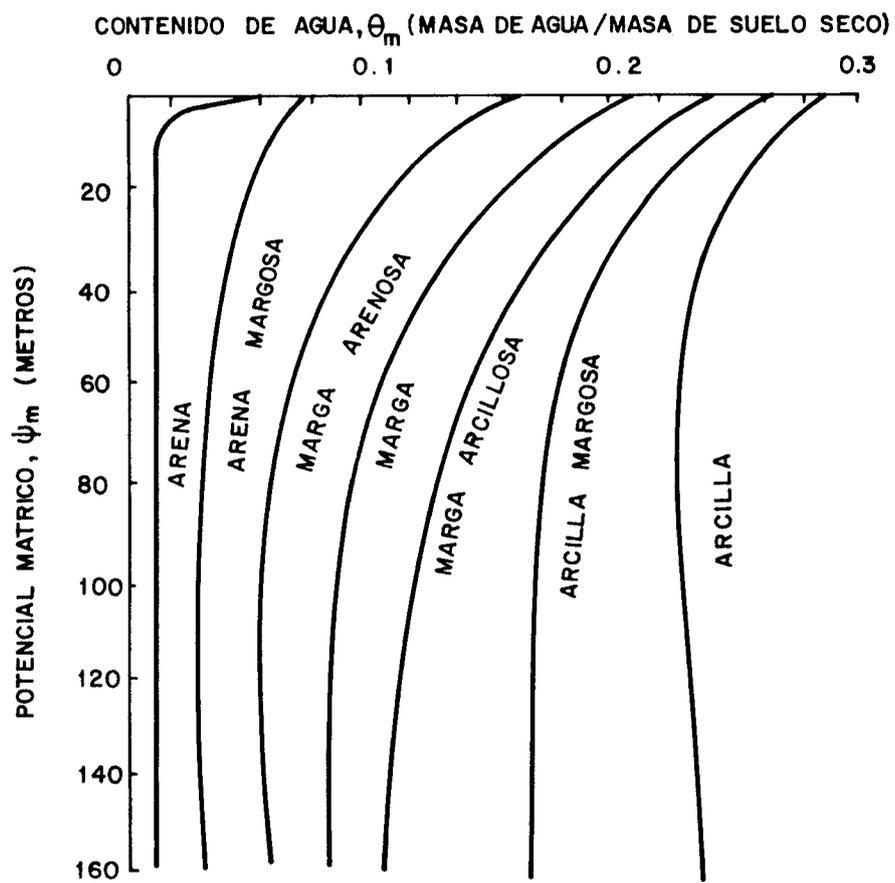


Fig. 2.2. Curvas características del agua del suelo para distintos materiales (Wilson, 1981).

2.1.2. Métodos de cálculo de la infiltración

Existen una serie de métodos clásicos para el cálculo de la infiltración que llevan consigo la resolución de la ecuación de balance global (Entradas - Salidas = Variación en el almacenamiento), algunos de los cuales tienen en cuenta la humedad del suelo aplicando Thornthwaite y Mather a una profundidad dada (p.e. zona radicular). Además se pueden emplear otros métodos que permiten cuantificar el flujo en la zona no saturada y se basan en la determinación de diversos parámetros físicos. A continuación se tratan algunos de éstos últimos.

2.1.2.1. Métodos basados en medidas del contenido en agua

El flujo se asocia con los cambios del contenido en agua a una profundidad dada dentro de la zona no saturada. La relación entre el flujo y humedad se expresa de la forma:

$$J = \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz$$

donde :

- J = flujo
- θ = contenido en agua
- z = profundidad
- t = tiempo

Este método es realmente un balance en el perfil del suelo con todos los términos iguales a cero, excepto el flujo y los cambios en el almacenamiento, que se miden con sonda de neutrones, tensiómetros, ..., etc.

2.1.2.2. Métodos que requieren medidas de los gradientes hidráulicos

Se basan en resolver la ecuación de Darcy para flujo no saturado:

$$J = K(\theta) \cdot i$$

donde :

- J = flujo
- $K(\theta)$ = conductividad hidráulica
- i = gradiente hidráulico

Los gradientes hidráulicos se miden instalando tensiómetros, bloques de resistencia eléctrica, ..., etc. Se necesitan curvas de calibración para relacionar las medidas de potencial mátrico con el contenido de agua, y éste último con la conductividad hidráulica no saturada.

Este método es más complejo que los citados anteriormente y los resultados se ven afectados por procesos de histéresis, sin embargo es muy preciso. Para su aplicación se plantea la ecuación de Darcy en elementos discretos de suelo a lo largo de su perfil, empleando para su resolución un modelo de flujo de fácil aplicación.

2.2. Métodos basados en la determinación de parámetros químicos: Balance de cloruros

Al igual que los métodos anteriores, se emplea para determinar el volumen de agua que se infiltra, basándose esta vez en la composición química del agua existente en la zona no saturada, extraída por medio de tomamuestras de vacío-presión.

El método consiste en la resolución de la ecuación de balance de cloruros planteada de la forma siguiente:

$$S = P Cl_p + R Cl_r + F - I Cl_x - C$$

donde,

S (mg)	= cambio en la masa de cloruro almacenada en el suelo
P (l)	= volumen de precipitación
Cl _p (mg/l)	= concentración de cloruros en el agua de lluvia
R (l)	= dotación de riego, en caso de existir
Cl _r (mg/l)	= concentración de cloruros en el agua de riego
F (mg)	= masa de cloruro aportada por otras fuentes (fertilizantes)
I (l)	= volumen de infiltración
Cl _x (mg/l)	= concentración de cloruros en el agua de la zona no saturada a una profundidad x (m)
C (mg)	= masa de cloruros consumida por el cultivo

En la ecuación anterior se considera que la escorrentía superficial es despreciable y por tanto no se incluye en la ecuación del balance, I es una incógnita y el resto de los parámetros son conocidos o se determinan como a continuación se indica.

• CAMBIO EN LA MASA DE CLORURO ALMACENADA EN EL SUELO (S)

Para el cálculo de esta componente es preciso realizar muestreos destructivos del suelo al comienzo y final del período de estudio, a lo largo del perfil del suelo.

- **VOLUMEN DE PRECIPITACION (P). CLORUROS APORTADOS POR LA LLUVIA (Cl_p)**

A partir de pluviómetros colocados en las zonas experimentales se miden tanto los volúmenes de lluvia, como la concentración en cloruros que presenta el agua recogida, mediante su análisis químico en laboratorio.

- **DOTACION DE RIEGO (R). CLORUROS APORTADOS POR EL RIEGO (Cl_r)**

Con los datos correspondientes a la dotación de riego aplicada y a la concentración de cloruros del agua de riego obtenida de su análisis se estiman estas componentes.

- **OTROS APORTES DE CLORUROS (F)**

El cloruro está presente en el abonado de fondo aportado a muchos cultivos en forma de cloruro potásico. A partir de la fórmula del abono y su dotación se obtiene una masa específica de cloruros.

- **CONCENTRACION DE CLORUROS EN EL AGUA DEL SUELO (Cl_x)**

La concentración de cloruros en el agua del suelo durante el período de estudio se puede determinar a partir de muestreos no destructivos realizados en la zona no saturada por medio de tomamuestras de succión o lisímetros de vacío-presión, situados a distintas profundidades, donde se plantean las ecuaciones de balance de cloruros.

- **MASA DE CLORUROS CONSUMIDA POR EL CULTIVO (C)**

Esta componente es despreciable frente al resto de componentes del balance y no suele determinarse.

2.3. Instrumentación necesaria

Para cuantificar el volumen que supone la recarga por medio de alguno de los métodos descritos, ya utilicen parámetros físicos o químicos en sus cálculos, se necesita un instrumental determinado que proporcione las medidas necesarias. En este apartado se considera el material que es necesario instalar para la aplicación de los métodos estudiados.

2.3.1. Medición de parámetros físicos

En los métodos citados que requieren datos de contenido en agua y de gradientes hidráulicos, se necesitan medidas de cambios en el almacenamiento y de potenciales de

succión. Para la determinación de estos parámetros se pueden utilizar, como en este trabajo, los tensiómetros, cuyas características y principios de funcionamiento se detallan seguidamente.

TENSIOMETROS

En la zona no saturada el agua está sometida a una presión negativa, menor que la presión atmosférica, denominada tensión capilar o de succión. Esta tensión es mayor cuanto menor sea el contenido de agua, toma valores muy pequeños en condiciones próximas a la saturación y llega a ser cero en la zona saturada.

Los tensiómetros son aparatos diseñados para medir la tensión del agua en el terreno. Un tensiómetro consta de una cápsula de cerámica porosa unida a un tubo de plástico rígido lleno de agua, conectado a su vez a un pequeño depósito y a un manómetro (Fig. 2.3 y 2.4).

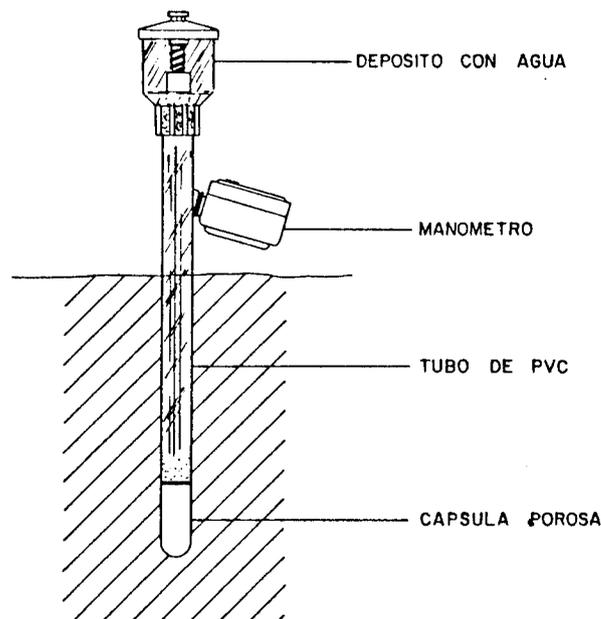


Fig. 2.3. Esquema de un tensiómetro



Fig. 2.4. Aspecto de un tensiómetro (izquierda) y de un lisímetro de vacío-presión (derecha)

Una vez instalado a la profundidad deseada, la succión del suelo alrededor de la cápsula provoca la salida de una cierta cantidad de agua, hasta que las presiones a ambos lados de las paredes de la cápsula se equilibran. En ese momento la lectura del manómetro indica la tensión capilar en ese punto (Fig. 2.5).

Las ventajas de los tensiómetros estriban en que proporcionan medidas continuas exactas y de coste reducido. Entre los inconvenientes que presentan, cabe destacar que;

- solo pueden instalarse a profundidades menores de 8,7 m
- son sensibles a cambios de temperatura
- los resultados se ven afectados por procesos de histéresis (varían si el terreno está en fase de humedecimiento o de secado)
- su campo de acción está limitado a presiones inferiores a 1 atm

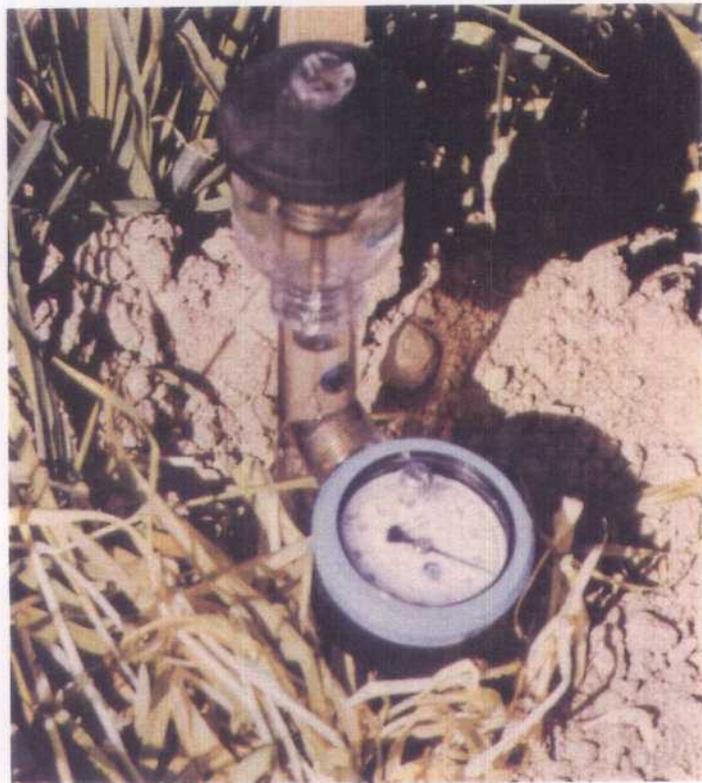


Fig. 2.5. Aspecto de un tensiómetro instalado en el campo

2.3.2. Caracterización de la composición química del agua en la zona no saturada. Lisímetros de vacío-presión

Los métodos para extraer el agua de la zona no saturada pueden ser dos tipos: destructivos y no destructivos. En los primeros, se obtienen muestras sólidas de las que se extrae la solución intersticial por diversos procedimientos (centrifugación, squeezing, desplazamiento por fluidos, ..., etc.). En los no destructivos, se obtienen muestras líquidas a partir de tomamuestras de tipo cerámico o lisímetros de succión (lisímetros de vacío, lisímetros de vacío-presión y lisímetros de vacío-alta presión).

A continuación se describen los lisímetros de vacío-presión utilizados en esta investigación.

LISIMETROS DE VACIO-PRESION

Se utilizan para caracterizar la calidad química del agua en la zona no saturada.

El mecanismo es semejante en funcionamiento a los tensiómetros. Constan de una cápsula porosa unida a un recipiente de plástico rígido comunicado con la superficie del suelo mediante dos tubos.

Cuando se instalan de forma adecuada, los poros de la cápsula constituyen una prolongación del espacio poroso del material que la rodea, con lo cual el agua intersticial del terreno está sometida a la misma presión que la contenida en los poros del tomamuestras. Si se provoca un vacío parcial en el interior se origina un gradiente de presión a ambos lados de las paredes de la cápsula que obliga a la solución del suelo a fluir hacia el interior de la misma.

Las principales limitaciones que presentan estriban en que, no son aptos para profundidades superiores a 16 m, y el, en general, reducido volumen de agua acumulado, que obliga a seleccionar los parámetros de análisis.

En los lisímetros utilizados se lleva a cabo la extracción de la muestra, una vez que se ha acumulado un volumen suficiente para su análisis, mediante una bomba manual. Las medidas de succión del terreno aportadas por los tensiómetros informan acerca del funcionamiento de los lisímetros, así como de la presión de vacío necesaria en los mismos para obtener muestras de agua.

Los lisímetros de vacío-presión (Fig. 2.4), tienen dos tubos, uno de los cuales llega hasta el fondo de la cápsula (Fig. 2.6). Para extraer el agua acumulada se introduce aire desde el tubo superficial y se recoge la solución por el profundo (Fig. 2.7). La presión del aire introducido ha de ser menor que la presión de burbujeo de la cápsula porosa. En los tomamuestras de

vacío-presión utilizados en este estudio las especificaciones de las cápsulas indican una presión de burbujeo de 2 bares, si la presión del aire aplicado es superior se puede perder parte de la muestra almacenada o incluso puede romperse la cápsula.

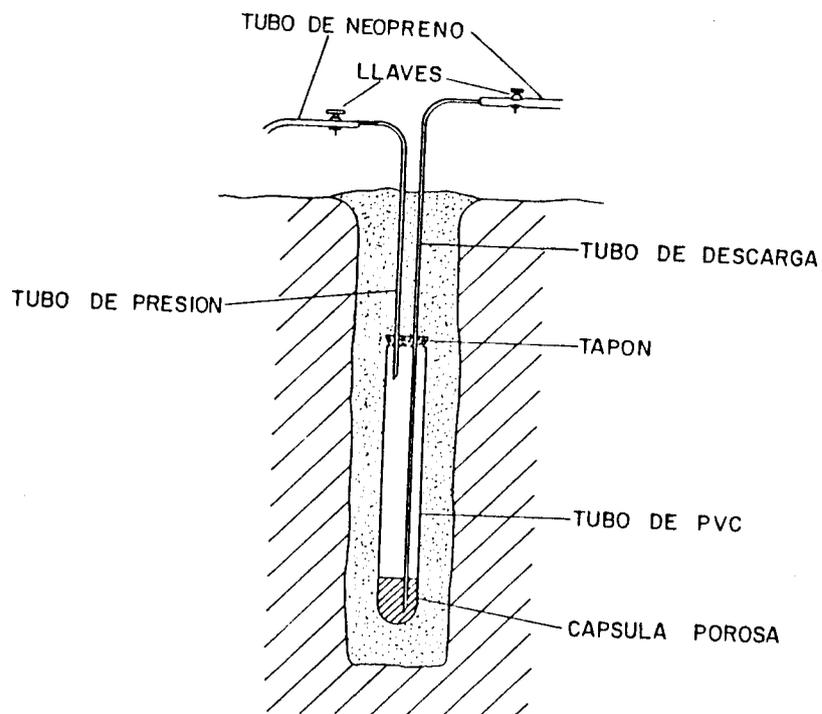


Fig. 2.6. Esquema de un lisímetro de vacío-presión

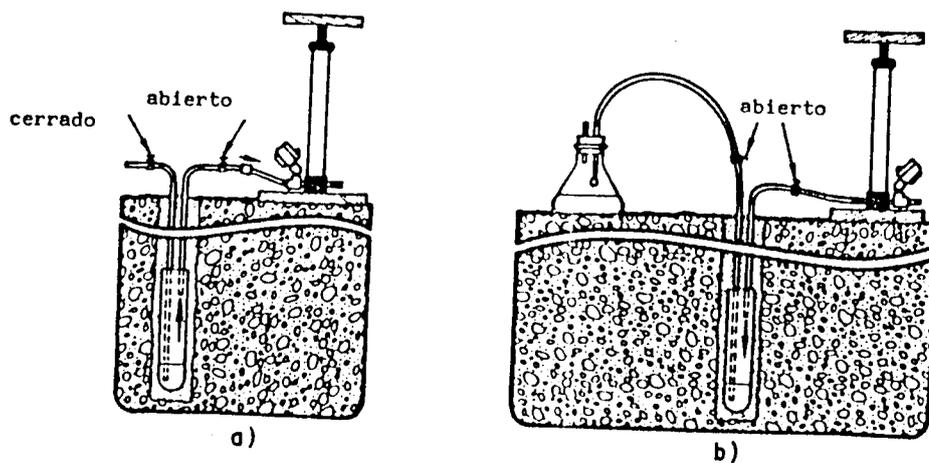


Fig. 2.7. Extracción de muestras de agua en la zona no saturada
a) Creación de vacío
b) Extracción del agua almacenada

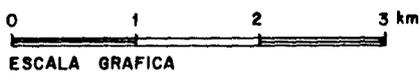
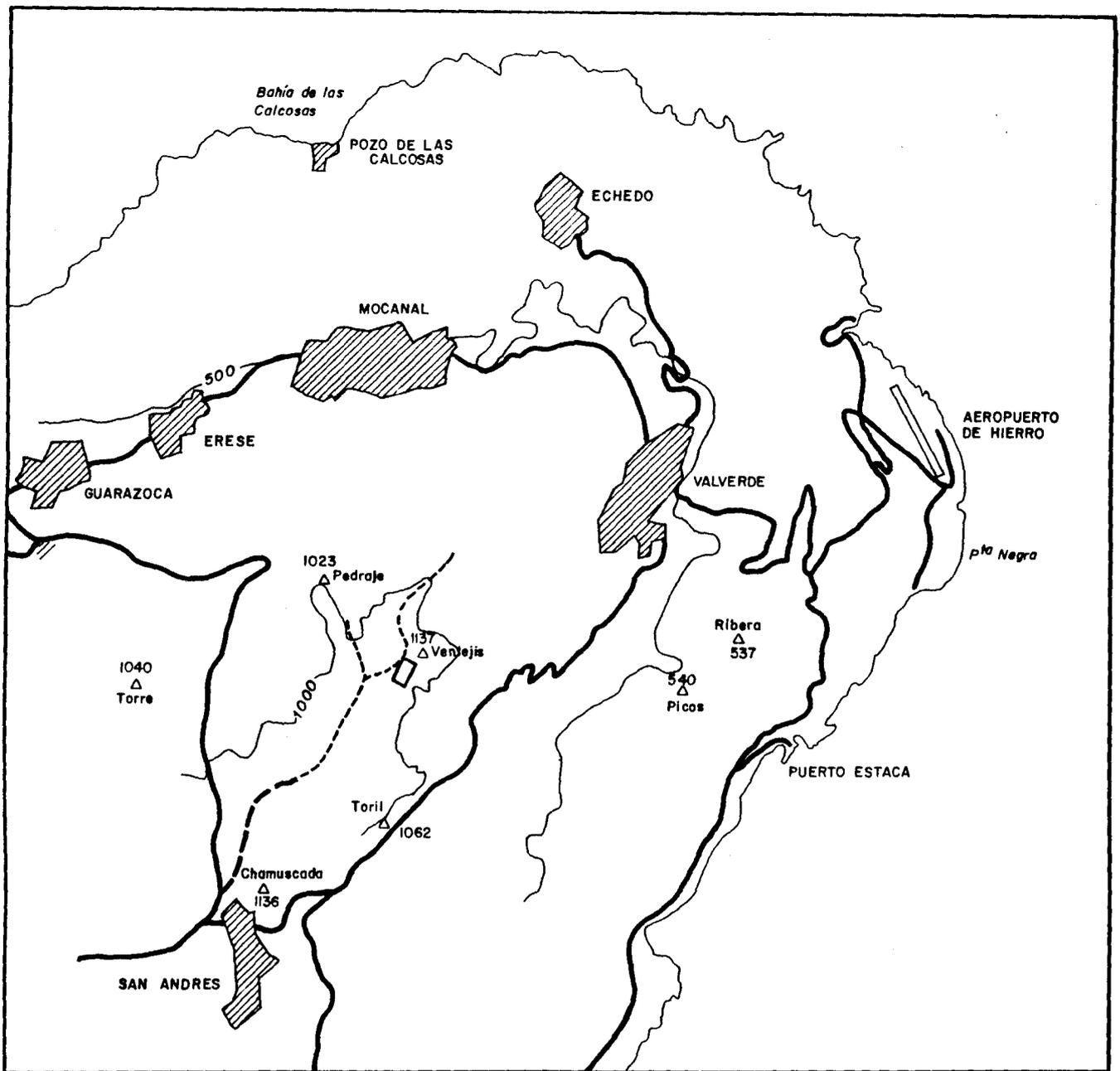
3. ZONA DE ESTUDIO

3. ZONA DE ESTUDIO

Para cuantificar la efectividad de la lluvia horizontal, se estudia aquí una parcela experimental situada en la isla del Hierro, en la que generalmente se forman nieblas espesas en el período comprendido entre Mayo y Septiembre de cada año.

La elección de la zona se realizó en colaboración con el Director del Proyecto, tras visitar algunos sectores preseleccionados con anterioridad. Una vez en ella, se decidió llevar a cabo la experiencia en un área libre de vegetación, para tener así una estimación del aporte que suponen las nieblas en los terrenos al descubierto, puesto que en aquellos que presentan arbolado, basta con recoger el agua de condensación.

La parcela experimental se encuentra en el término municipal de Valverde, dentro de la zona denominada Hoya de Los Reyes y situada en una de las vertientes noroccidentales de la isla, concretamente a unos 200 m al SO del vértice geodésico de Ventejís, con una altitud de 1100 m. En la figura 3.1. se observa la situación de la zona de estudio.



LEYENDA

- 500 Curva de nivel
- Carretera local
- Pista
- Camino
- Zona experimental



Fig. 3.1.— Situación de la parcela experimental

4. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

4. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

En la zona de estudio, el dispositivo experimental existente para la toma de datos y muestreo periódicos, consta de cuatro lisímetros de vacío-presión y de tres tensiómetros.

Para la instalación de éstos, se ha utilizado un equipo de sondeo manual para suelo EIJKELKAMP compuesto por diversas barreras (Edelman, Riverside, Stony y Gorge) con diámetros de 3, 4 y 7 cm (fig. 4.1).

Los lisímetros, denominados L1, L2, L3 y L4, se han instalado a profundidades de 0.50, 0.75, 1.0 y 1.25 m respectivamente, separados entre sí aproximadamente 1.5 m, según se observa en la figura 4.2.

Los tensiómetros denominados T1, T2 y T3 se situaron a 0.45, 0.60 y 0.90 m de profundidad respectivamente, separados entre sí una distancia de unos 1.5 m y a unos 1.5 m de los tomamuestras de vacío-presión (fig. 4.2).

La zona de estudio cuenta además con un pluviómetro, situado a escasos metros de los tensiómetros y lisímetros, y con un dispositivo para recoger el agua de condensación, instalado en un pinar próximo, consistente en un cuadrado de chapa de 0.5 m de lado que drena en su punto central hacia un bidón dispuesto para recoger el agua.

En la figura 4.3 se observa una vista general de la zona de estudio.

La instrumentación de la parcela experimental se llevó a cabo en Junio de 1989, a excepción del tensiómetro T3, que por problemas de suministro no se instaló hasta Octubre del mismo año.



Fig. 4.1. Equipo de sondeo manual EIJKELKAMP utilizado en la instrumentación de la zona experimental

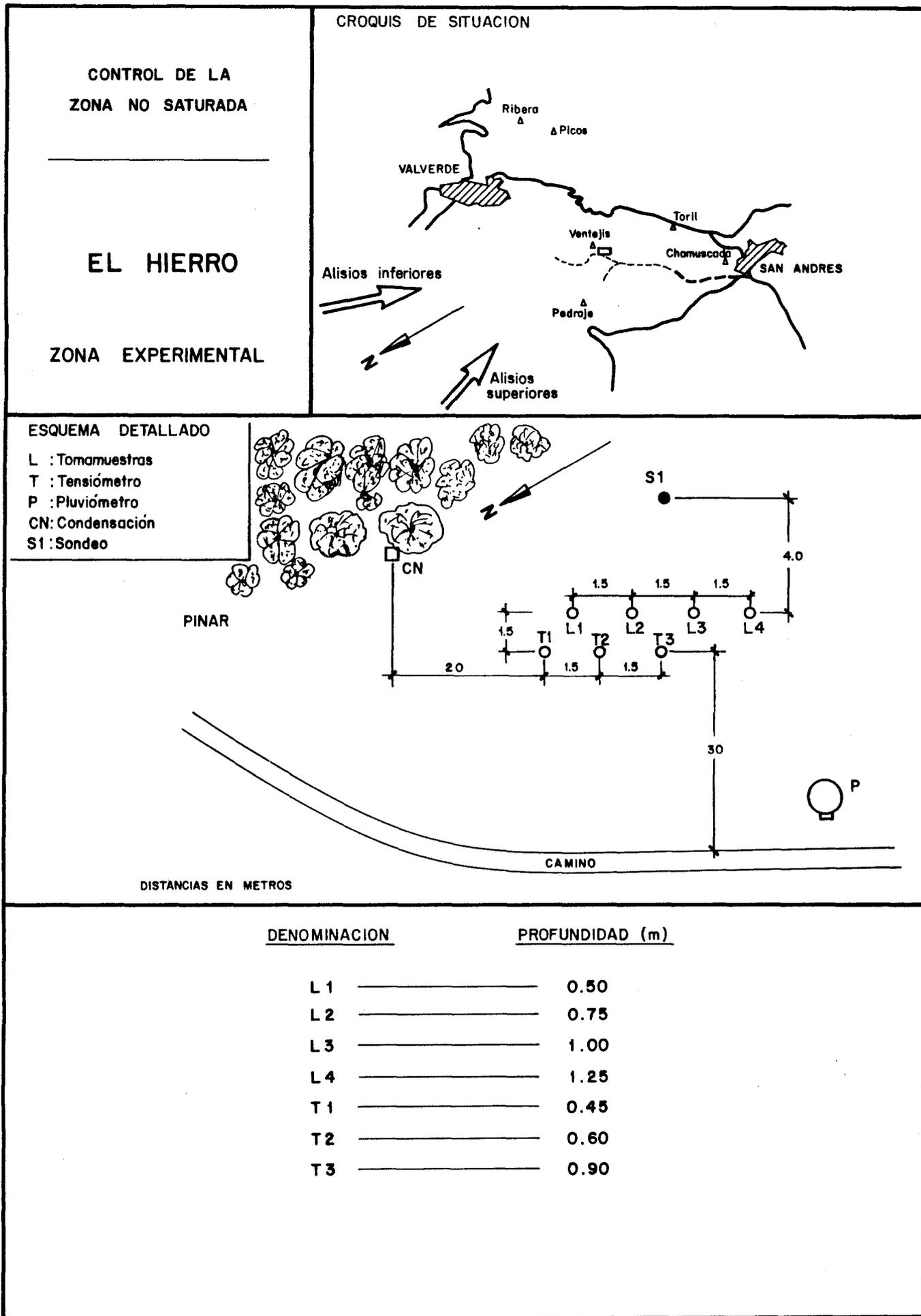


Fig. 4.2.- Croquis de situación de la zona experimental y disposición relativa de la instrumentación instalada en la misma



Fig. 4.3. Aspecto que presenta la zona de estudio

5. DESCRIPCION LITOLOGICA

5. DESCRIPCION LITOLOGICA

En la zona de estudio se realizaron una serie de sondeos (con el equipo de perforación manual citado en el capítulo 4), para la instalación de la instrumentación, y además se llevó a cabo otra perforación de 5.1 m de profundidad, con recuperación de fracciones de 20 centímetros.

El sondeo (denominado S1), se emplazó en la ladera noroeste de la Hoya de Los Reyes, ocupada por un apilamiento de piroclastos de tamaño fino, niveles procedentes de erupciones freatomagmáticas y coladas escoriáceas.

Durante la ejecución de este sondeo, se tomaron una serie de muestras para análisis granulométricos, determinación del contenido en humedad y obtención de curvas de pF (fig. 5.1). A partir de las observaciones de campo se realizó una descripción litológica, que se adjunta en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Descripción litológica del sondeo S1

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCION
0 - 0.2	Suelo vegetal de color pardo-rojizo con raíces de grama. Textura arenoso-limosa
0.2 - 0.3	Suelo de color pardo oscuro con escasas raíces, en el que no se observan restos de piroclastos. Textura arenoso-limosa
0.3 - 0.6	Suelo de color pardo oscuro. Textura arenoso-limosa
0.6 - 0.8	Restos de piroclastos de tonos amarillentos englobados en arcillas plásticas rojizas
0.8 - 1.6	Piroclastos muy alterados de tonos rojizos, ocre y negros
1.6 - 2.5	Piroclastos muy alterados predominantemente rojizos, con piroxenos sin alterar
2.5 - 3.5	Piroclastos con grado de alteración menor y tonos marrones
3.5 - 4.5	Piroclastos muy deleznales, de tonos ocre, negro y rojizo, en los que hay una práctica ausencia de matriz
4.5 - 5.1	Piroclastos con escasa alteración

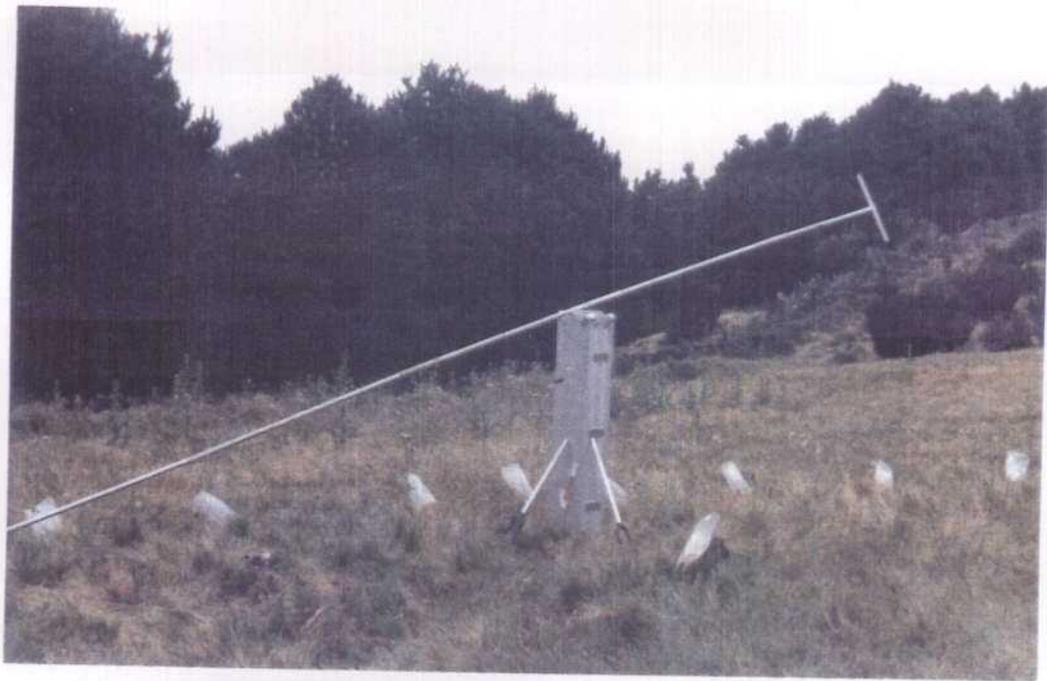


Fig. 5.1. Ejecución del sondeo S1 para la realización de la descripción litológica y toma de muestras de suelo

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Se analizan aquí, los resultados obtenidos para evaluar los parámetros necesarios en el cálculo de la infiltración, según los métodos descritos en el capítulo 2, o bien aquellos que ayudan a comprender el medio físico y el comportamiento de la instrumentación utilizada.

6.1. Medición de parámetros físicos

6.1.1. Granulometría

Durante la ejecución del sondeo S1 se tomaron diez muestras de suelo (denominadas M1 a M10), para la realización de análisis granulométricos y determinación del contenido en humedad.

Las profundidades muestreadas oscilan entre 0.4 y 5.1 m.

La determinación de la granulometría se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Edificación que la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias tiene en Las Palmas de Gran Canaria, mediante tamizado, separando las distintas fracciones hasta un tamaño de partícula de 0.08 mm. Los resultados obtenidos se adjuntan en el Anexo 1.

La clasificación de los materiales que componen las muestras se ha realizado tomando como base la del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S.D.A), que figura en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Clasificación de los materiales atendiendo al diámetro de grano (U.S.D.A)

Denominación	Diámetro de grano
Grava gruesa	> 20 mm
Grava media	20 - 10 mm
Grava fina	10 - 2 mm
Arena gruesa	2 - 0.5 mm
Arena media	0.5 - 0.25 mm
Arena fina	0.25 - 0.1 mm
Arena muy fina	0.1 - 0.05 mm
Limo	0.05 - 0.002 mm
Arcilla	< 0.002 mm

Dado que los tamices utilizados no separan fracciones inferiores a 0.08 mm, la proporción de muestra que presenta un diámetro de grano menor de 0.08 mm se engloba aquí en el grupo limo + arcilla.

En la figura 6.1 se recogen las curvas granulométricas obtenidas para cada una de las muestras analizadas. En general se observa una gran homogeneidad en los resultados, que refleja un material poco seleccionado en el que hay un predominio de los materiales con diámetro de grano menor de 0.08 mm; es decir, de aquellos englobados en el término limo + arcilla. Esta fracción representa entre el 46 y 68% del total; los valores máximo y mínimo corresponden a las muestras M1 y M9 respectivamente (tabla 6.2).

Las arenas muy finas suponen entre el 2 y el 6% del total, las arenas finas entre el 8 y el 20%, observándose en éstas últimas un aumento gradual a medida que aumenta la profundidad muestreada, al igual que en el caso de las arenas de grano medio (0.25-0.5 mm de diámetro) que representan entre el 7 y el 12% de las muestras analizadas.

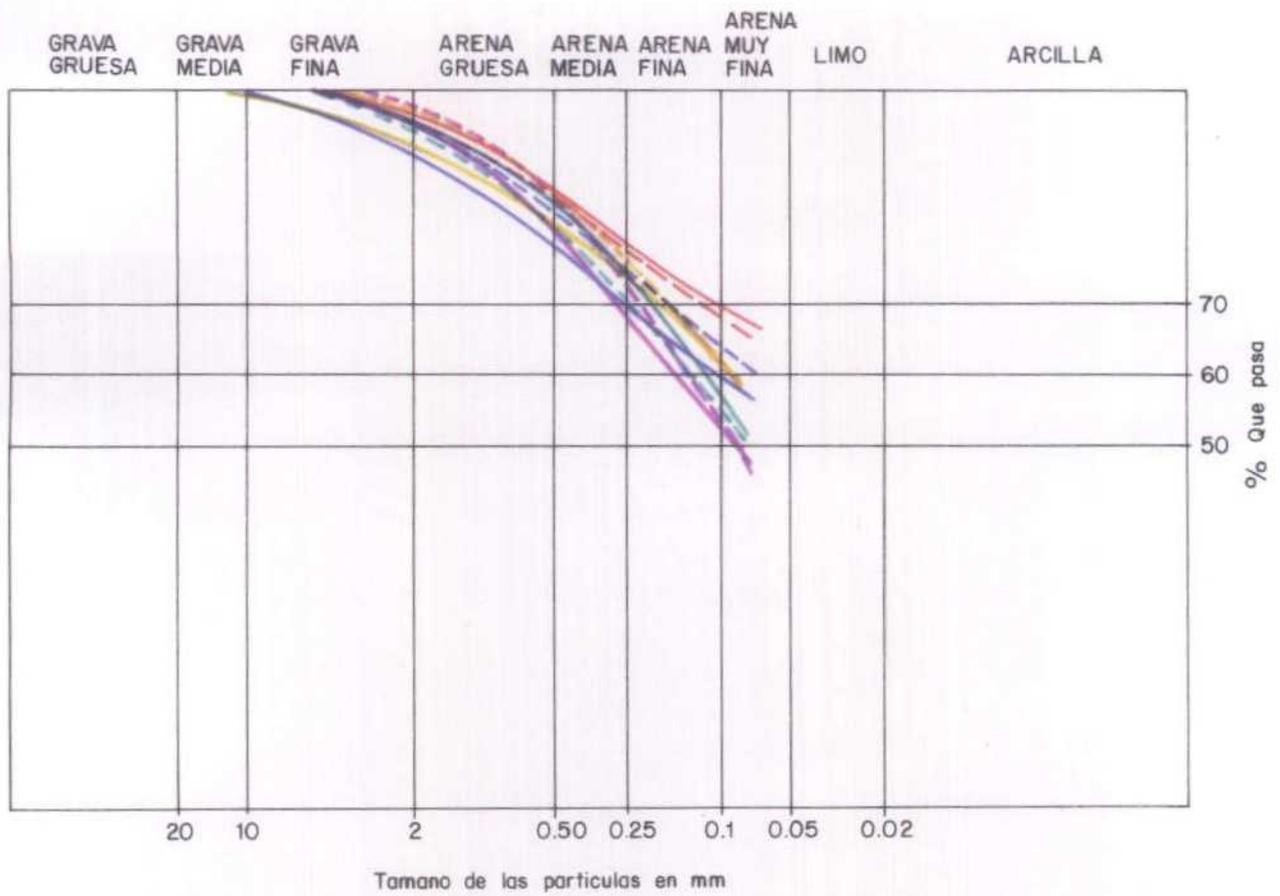
Por su parte, las arenas gruesas se encuentran en porcentajes comprendidos entre el 10 y 16%, y las gravas finas entre el 2 y 8% del total.

Sólo existe una muestra, la denominada M5, tomada a una profundidad de 2.5-2.7 m, en la que se presentan gravas medias en un porcentaje del 2%.

En la figura 6.2 se ha representado la variación en profundidad de los porcentajes en que aparecen las distintas fracciones separadas.

En esta figura se observa una disminución del contenido en finos, concretamente de la fracción denominada limo + arcilla, a medida que aumenta la profundidad de muestreo, y, un aumento del contenido en arena fina, en el mismo sentido.

Por tanto, se aprecia como, partiendo de un suelo vegetal, con gran proporción de materiales con diámetro de grano inferior a 0.08 mm, se pasa a materiales donde el grado de alteración disminuye progresivamente, disminuyendo con él la proporción de materiales finos presentes.



- M1
- - M2
- M3
- - M4
- M5
- - M6
- M7
- - M8
- M9
- - M10

Fig. 6.1.— Curvas granulométricas

Tabla 6.2. Proporción en que se encuentran las distintas fracciones separadas (en % en peso)

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA MEDIA	GRAVA FINA	ARENA GRUESA	ARENA MEDIA	ARENA FINA	ARENA MUY FINA	LIMO + ARCILLA
M1	0.4 - 0.6	0	4	10	8	8	2	68
M2	1.0 - 1.1	0	5	10	7	10	2	66
M3	1.4 - 1.5	0	8	14	8	10	2	58
M4	1.9 - 2.1	0	5	12	8	11	4	60
M5	2.5 - 2.7	2	6	11	7	13	3	58
M6	3.0 - 3.2	0	3	11	10	14	6	56
M7	3.5 - 3.7	0	3	12	10	16	5	54
M8	4.0 - 4.2	0	5	12	12	15	6	50
M9	4.5 - 4.7	0	4	16	12	16	6	46
M10	4.9 - 5.1	0	2	14	12	20	4	48

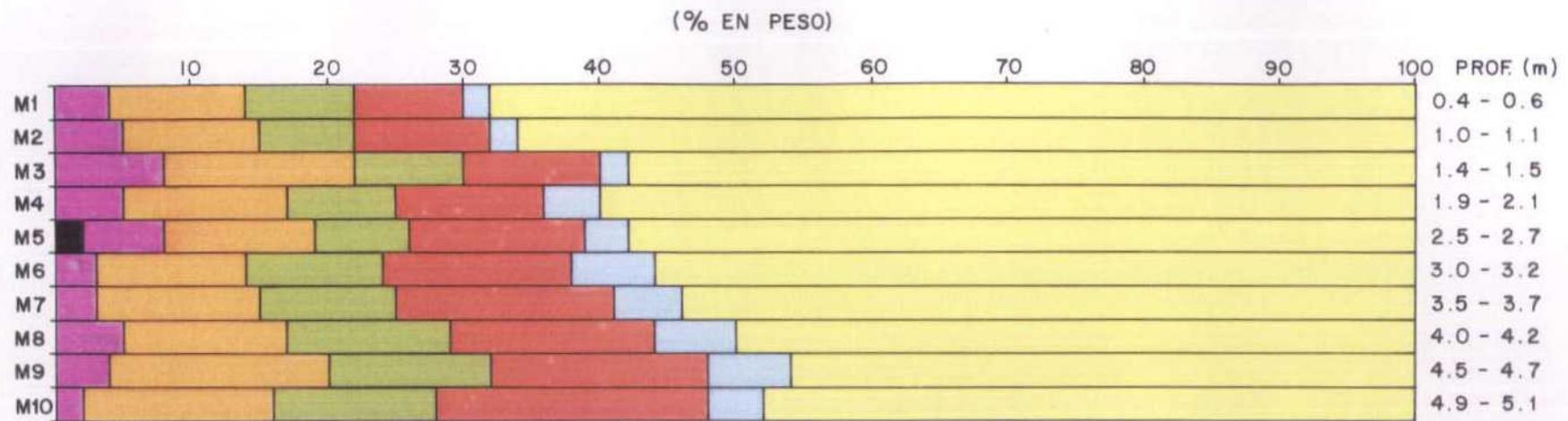


Fig. 6.2.— Variación en profundidad del porcentaje en que aparecen las distintas fracciones separadas en los análisis granulométricos llevados a cabo

6.1.2. Contenido en agua

Para determinar el grado de humedad que presentan las muestras tomadas a profundidades comprendidas entre 0.4 y 5.1 m, se han analizado las denominadas M1 a M10, mediante secado en estufa.

La determinación del contenido en agua se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Edificación de la Consejería de Obras Públicas, Viviendas y Aguas del Gobierno de Canarias.

Una vez seleccionada una cantidad representativa de suelo húmedo, se ha determinado el contenido de agua en las muestras ensayadas, expresado en % referido a la masa de suelo seco. Los resultados obtenidos se adjuntan en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Contenido de agua expresado en % referido a la masa de suelo seco

IDENTIFICACION	PROFUNDIDAD (m)	HUMEDAD (%)
M1	0.40 - 0.60	45.6
M2	1.00 - 1.10	45.4
M3	1.40 - 1.50	48.0
M4	1.90 - 2.10	53.9
M5	2.50 - 2.70	57.5
M6	3.00 - 3.20	58.1
M7	3.50 - 3.70	58.5
M8	4.00 - 4.20	55.5
M9	4.50 - 4.70	53.9
M10	4.90 - 5.10	52.9

El grado de humedad obtenido oscila entre el 45.4 y 58.5%, con valores mínimos en los tramos con profundidades menores de 1.1 m y máximos en las muestras M6 y M7, procedentes de profundidades comprendidas entre 3 y 3.7 m.

6.1.3. Curvas de pF

Se han obtenido las curvas de pF en tres muestras, A, B y C, extraídas durante la realización del sondeo S1, a profundidades respectivas de 0-0.45 m, 0.45-0.70 m y 0.70-0.95 m. La determinación de las mismas se ha realizado en el Servicio Agrícola que la Caja Insular de Ahorros de Canarias tiene en Las Palmas de Gran Canaria.

Estas curvas se adjuntan en el Anexo 2.

De la observación de las mismas destaca el que se alcance el punto de marchitez con una humedad muy alta (30.9 a 36.7%). Este punto corresponde al grado de humedad del suelo que rodea a la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla.

A las tres profundidades muestreadas, la capacidad de campo o grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravífica, se sitúa en torno al 47%.

En el suelo al que pertenecen estas curvas de pF, el agua disponible por las plantas (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez) es pequeña, y está comprendida, en el caso más favorable (0-0.45 m), entre el 30.9 y el 47.2%.

Del mismo modo, se observa que la porosidad de las muestras analizadas es muy alta, del 70 al 77%, y disminuye con la profundidad, como cabe esperar en un suelo homogéneo como el que se describe en el capítulo 5.

6.1.4. Tensiometría

Los procedimientos más exactos para medir la humedad del suelo son los de laboratorio, siempre que las muestras se extraigan y transporten con las debidas precauciones para conservar íntegra su humedad.

En la práctica, es útil y rápido determinar la humedad del suelo "in situ" y para ello se emplean diversos métodos y aparatos, que deben ser previamente calibrados con medidas de laboratorio.

En el transcurso de esta investigación se han utilizado los tensiómetros, como se indica en el apartado 2.3.1. Entre los inconvenientes que presenta este tipo de instrumentación se cita su campo de acción, limitado a menos de una atmósfera de presión (1033 cm de succión).

Las lecturas de los tensiómetros se han realizado generalmente con una periodicidad semanal.

Se han realizado medidas desde el 9 de Junio de 1989 hasta el 30 de Noviembre del mismo año. Los datos obtenidos figuran en la tabla 6.4. En la mayor parte de los casos, cuando se iba a efectuar la lectura, el nivel del agua estaba por debajo del manómetro. Este hecho se ha indicado en la tabla como "Nivel bajo", lo que implica que la lectura es incorrecta y no sirve para obtener a partir de ella valores de humedad del terreno.

En los casos en que la lectura es correcta se ha situado un asterisco junto al valor medido.

Tabla 6.4. Tenslometría (cbares). Junio a Noviembre 1989

		T1 (0.45 m)	T2 (0.60 m)	T3 (0.90 m)
JUNIO	9 - 6 - 89	70 *	66 *	
	16 - 6 - 89	70 *	68 *	
	21 - 6 - 89	0 Nivel bajo	60 *	
	30 - 6 - 89	0 Nivel bajo	40 Nivel bajo	
JULIO	7 - 7 - 89	0 Nivel bajo	38 Nivel bajo	
	14 - 7 - 89	10 Nivel bajo	40 Nivel bajo	
	22 - 7 - 89	0 Nivel bajo	35 Nivel bajo	
	30 - 7 - 89	15 Nivel bajo	30 Nivel bajo	
AGOSTO	6 - 8 - 89	32 Nivel bajo	38 Nivel bajo	
	13 - 8 - 89	0 Nivel bajo	36 Nivel bajo	
	23 - 8 - 89	0 Nivel bajo	35 Nivel bajo	
SEPTIEMBRE	1 - 9 - 89	0 Nivel bajo	32 Nivel bajo	
	8 - 9 - 89	0 Nivel bajo	38 Nivel bajo	
	16 - 9 - 89	0 Nivel bajo	36 Nivel bajo	
	23 - 9 - 89	0 Nivel bajo	30 Nivel bajo	
OCTUBRE	1 - 10 - 89	25 Nivel bajo	40 Nivel bajo	
	10 - 10 - 89	22 Nivel bajo	40 Nivel bajo	10 Nivel bajo
	16 - 10 - 89	28 Nivel bajo	40 Nivel bajo	12 Nivel bajo
	24 - 10 - 89	20 *	55 *	10 Nivel bajo
	31 - 10 - 89	20 *	24 *	12 Nivel bajo
NOVIEMBRE	8 - 11 - 89	23 *	25 *	12 Nivel bajo
	15 - 11 - 89	10 *	10 *	13 Nivel bajo
	30 - 11 - 89	12 *	12 *	10 Nivel bajo

Merece la pena recordar aquí que el tensiómetro T3 no se instaló hasta el mes de Octubre, de ahí que no se disponga de lecturas entre Junio y Septiembre.

Si se observan las curvas de pF que figuran en el Anexo 2, dado que los tensiómetros pueden medir sólo hasta 1033 cm de succión, en los materiales estudiados se requieren humedades superiores al 42-43% para obtener medidas correctas con estos dispositivos.

El comportamiento de los tensiómetros instalados refleja unas humedades inferiores al 42% y/o unas succiones elevadas en la mayor parte del período de estudio, lo que exige un aumento en la frecuencia de medición de estos aparatos; especialmente en años anómalos en precipitaciones horizontales como 1989, cuando la humedad del terreno es inferior a la habitual.

En la tabla 6.4. se observan dos períodos con lecturas correctas, uno seguidamente a la instalación de los tensiómetros T1 y T2, y el otro en los meses de Octubre y Noviembre, cuando la humedad del terreno aumenta como consecuencia de las lluvias producidas en ese intervalo de tiempo (tabla 6.5).

El primero de los períodos citados no sirve para los propósitos de este trabajo, puesto que responde a una alteración creada al introducir la instrumentación, y no a las condiciones de humedad existentes de forma natural.

En el caso del tensiómetro más profundo, el T3, se observa que no ha transcurrido un intervalo de tiempo suficiente, para que se establezca el equilibrio entre éste y el medio en que se sitúa.

6.2. Medición de parámetros químicos

Para conocer la composición química del agua en la zona no saturada se utilizan en este proyecto los lisímetros de vacío-presión.

El muestreo de éstos se ha realizado con una periodicidad quincenal.

La relación de muestras de agua obtenidas de los lisímetros, así como del pluviómetro y del dispositivo para recoger agua de condensación se adjunta en la tabla 6.6. El número total de muestras obtenidas a partir de la instrumentación instalada es de 37, correspondiendo 28 de ellas a la zona no saturada, 6 al agua de condensación, y el resto (3) al agua de lluvia o a la suma del agua de condensación y lluvia.

No se pudo muestrear el lisímetro L2 el 1 de Septiembre, ya que en esa fecha carecía de las pinzas que mantienen el vacío.

Tabla 6.5. Precipitaciones recogidas en el pluviómetro situado en la zona de estudio

MES	DIA	PRECIPITACION (mm)	TOTAL
JUNIO			0
JULIO			0
AGOSTO	7 - 8 - 89	2.8	4.3
	27 - 8 - 89	1.5	
SEPTIEMBRE	1 - 9 - 89	4.0	9.2
	15 - 9 - 89	4.6	
	29 - 9 - 89	0.6	
OCTUBRE	4 - 10 - 89	29.1	142.2
	7 - 10 - 89	4.8	
	14 - 10 - 89	21.1	
	15 - 10 - 89	5.6	
	17 - 10 - 89	9.6	
	23 - 10 - 89	39.5	
	24 - 10 - 89	1.8	
	25 - 10 - 89	20.0	
	26 - 10 - 89	10.2	
	27 - 10 - 89	0.5	
NOVIEMBRE	10 - 11 - 89	7.6	328.0
	12 - 11 - 89	69.1	
	13 - 11 - 89	42.0	
	14 - 11 - 89	6.0	
	15 - 11 - 89	9.5	
	17 - 11 - 89	5.8	
	27 - 11 - 89 (?)	188	
DICIEMBRE	2 - 12 - 89	6.2	205.6
	5 - 12 - 89	47.8	
	7 - 12 - 89	26.0	
	8 - 12 - 89	4.2	
	9 - 12 - 89	19.5	
	10 - 12 - 89	5.1	
	17 - 12 - 89	17.8	
	25 - 12 - 89	18.0	
	27 - 12 - 89	36.4	
	28 - 12 - 89	24.6	

Tabla 6.6. Muestras tomadas en el período Junio-Noviembre 89 en El Hierro

FECHA MUESTREO	AGUA CONDENSACION	AGUA CONDENSACION Y LLUVIA	LLUVIA	L1 (0.50 m)	L2 (0.75 m)	L3 (1 m)	L4 (1.25 m)
JUNIO 16 - 6 - 89 30 - 6 - 89	SI				SI	SI SI	SI SI
JULIO 14 - 7 - 89 21 - 7 - 89 30 - 7 - 89	SI				SI SI	SI SI	SI
AGOSTO 13 - 8 - 89						SI	SI
SEPTIEMBRE 1 - 9 - 89 16 - 9 - 89 24 - 9 - 89	SI SI					SI	SI SI SI
OCTUBRE 1 - 10 - 89 5 - 10 - 89 16 - 10 - 89 24 - 10 - 89 31 - 10 - 89	SI SI	SI SI	SI	SI		SI	SI SI
NOVIEMBRE 15 - 11 - 89 30 - 11 - 89				SI SI	SI SI	SI SI	SI SI

De forma previa a la extracción del agua almacenada en los lisímetros, se ha medido la presión residual existente en los mismos, para poder comprobar su funcionamiento. En la tabla 6.7 se recogen estos valores, al igual que los referentes al volumen de agua almacenada en los lisímetros de vacío-presión.

Se observa que, en el caso del lisímetro más superficial, situado a 0.5 m de profundidad, no se extraen muestras en los meses de verano. A esto contribuye sin duda, el que durante 1989 las nieblas han sido muy escasas, y la humedad del terreno muy limitada. Sólo se obtienen muestras en el período siguiente a las lluvias producidas a partir de Octubre, que provocan un aumento en la humedad existente en el horizonte muestreado. El número total de muestras recogidas de este tomamuestras es de 3.

El comportamiento del tomamuestras situado a 0.75 m, denominado L2, es muy similar al anterior; si bien en este caso se mantiene, sin apenas variación, el vacío aplicado durante el período comprendido entre muestreos sucesivos.

El lisímetro L2 almacena agua no sólo en Noviembre, también lo hace en Junio y Julio. El número total de muestras almacenadas en L2 es de 4.

Como en el caso de los tensiómetros, hay que despreciar las muestras de Junio de cara a la interpretación de los resultados obtenidos, debido a su poca representatividad.

A medida que aumenta la profundidad en que se sitúan los lisímetros, aumenta también el número de veces en que se extrae agua de los mismos en los muestreos realizados. Así, en el L3, situado a 1 m de profundidad, el número de muestras recogidas es de 9.

Los meses en los que se obtienen los mayores volúmenes corresponden a Junio (seguidamente a la instalación de este tomamuestras), y Noviembre, mes en que como en L1 y L2 se extrae un volumen superior a 500 ml.

La cantidad del agua obtenida en L3 disminuye de Junio hasta Agosto y es cero en Septiembre y primera quincena de Octubre. Este hecho hace pensar que, los muestreos realizados en los tres primeros meses recogen el agua introducida con la instalación del tomamuestras y, por tanto carece de sentido la interpretación de los resultados correspondientes a estos muestreos.

El lisímetro L4, situado a 1.25 m de profundidad almacena agua durante todo el período de estudio. Como en el caso anterior, se observa una disminución del volumen recogido en los primeros meses, que aquí va desde su instalación en el terreno hasta el mes de Octubre. A partir de ese momento, en las dos muestras restantes, se produce un aumento de la cantidad de agua evacuada de esta profundidad. Por tanto, los únicos valores a tener en cuenta en la interpretación de los resultados, son los correspondientes al mes de Noviembre.

Tabla 6.7. Presiones residuales medidas en los lismetros, de forma previa a su muestreo, y volúmenes de agua almacenados en los mismos

	L1			L2			L3			L4		
	V (c.c)	PR (mcar)	ANALISIS									
JUNIO												
16 - 6 - 89	0	65		192	62	SI	262	59	SI	240	58	SI
30 - 6 - 89	0	20		0	66		110	64	SI	158	62	SI
JULIO												
14 - 7 - 89	0	0		20	66	SI	70	65	SI	130	64	SI
30 - 7 - 89	0	0		0	62		50	60	SI	128	58	SI
AGOSTO												
13 - 8 - 89	0	0		0	68		38	68	SI	116	66	SI
1 - 9 - 89	0	0		0	Sin Pinzas		26	66	SI	120	62	SI
SEPTIEMBRE												
16 - 9 - 89	0	0		0	69		0	70		100	68	SI
1 - 10 - 89	0	0		0	68		0	66		80	62	SI
OCTUBRE												
16 - 10 - 89	0	0		0	66		0	68		78	62	SI
31 - 10 - 89	52	60	SI	0	69		10	68	SI	64	67	SI
NOVIEMBRE												
15 - 11 - 89	> 500	0	SI	> 500	0	SI	> 500	0	SI	135	60	SI
30 - 11 - 89	> 500	0	SI	> 500	0	SI	> 500	0.5	SI	475	44	SI

6.2.1. Resultados analíticos

Se han analizado 37 muestras de agua procedentes de la instrumentación instalada en la zona de estudio. De ellas 28 corresponden a la zona no saturada y el resto a aguas de lluvia y/o condensación.

Los análisis químicos de las muestras de agua se han llevado a cabo en el Laboratorio que GEOMECANICA Y AGUAS, S.A., tiene en Madrid. En ellas se han determinado, los siguientes parámetros: volúmenes, conductividad, pH, nitritos, nitratos, amonio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, litio, sodio, potasio, calcio y magnesio.

Dado que en muchos casos la cantidad de agua disponible no permite la realización de un análisis completo, se han clasificado los distintos iones siguiendo un orden de prioridad, que sitúa en primer lugar a los cloruros.

Los resultados analíticos de las muestras se adjuntan en el Anexo 3.

Todas las aguas analizadas son cloruradas sódicas, excepto el agua de condensación del 16 de Junio que es clorurada-sulfatada y la extraídas del lisímetro L4 el 16 de Octubre, que es clorurada-bicarbonatada.

Las conductividades medidas son bajas y oscilan entre 93 y 331 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En las muestras procedentes del agua de condensación, se observa que la salinidad que presentan es mayor en los primeros meses, cuando las precipitaciones (en este caso horizontales) son menores y la evaporación mayor.

Los cloruros se encuentran en concentraciones relativamente bajas, comprendidas entre 16 y 69 mg/l. Los valores medidos son, en general, mayores en las aguas de condensación y/o lluvia que en las procedentes de la zona no saturada, donde los fenómenos de evaporación están más atenuados. Dentro de estas últimas, los valores mínimos se obtienen para las muestras procedentes del lisímetro más profundo, situado a 1.25 m.

En cuanto al resto de los aniones, los sulfatos siguen a los cloruros en importancia, con valores situados entre 0 y 32 mg/l. Los bicarbonatos se encuentran en concentraciones bajas, con un máximo de 22 mg/l en la muestra L4 del 16 de Octubre.

Los nitratos varían entre 0 y 20 mg/l. Los valores más altos se registran en el tomamuestras L4, y pueden proceder de la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo. La concentración más baja se obtiene para una muestra que representa al agua de condensación y lluvia de finales de Octubre.

En el caso de los cationes, el número de resultados de que se dispone es mucho menor, debido al orden de prioridad seguido en la realización de los análisis que se ha mencionado anteriormente.

En los datos existentes, el sodio presenta un margen de variación que oscila entre 11 y 41 mg/l. El resto de los cationes se encuentra en concentraciones bajas, destacando el calcio, que en algún caso llega a alcanzar una concentración de 8 mg/l.

El magnesio oscila entre 1 y 6 mg/l, correspondiente éste último valor al agua de condensación recogida el 21 de Julio.

7. CALCULO DE LA INFILTRACION

7. CALCULO DE LA INFILTRACION

Para el cálculo de la infiltración se utilizan los datos obtenidos de la instrumentación instalada en la zona experimental, especialmente, los proporcionados por los tensiómetros y lisímetros de vacío-presión, siguiendo las directrices expuestas en el capítulo 2.

7.1. Métodos basados en la determinación de parámetros físicos

Se determina aquí la infiltración por los métodos citados en el apartado 2.1.2, que se apoyan en las medidas de tensiometría.

7.1.1. Métodos basados en medidas del contenido en agua

El flujo se asocia con los cambios del contenidos en agua a una profundidad dada.

La relación entre flujo y contenido de agua viene dada por la expresión:

$$J = \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \quad (1)$$

donde:

- J = flujo
- θ = contenido en agua
- Z = profundidad
- t = tiempo

Se resuelve la ecuación con los datos proporcionados por los tensiómetros T1 y T2, situados a unas profundidades de 0.45 y 0.60 m respectivamente.

No se consideran los aportados por el tensiómetro T3, al no haberse alcanzado el equilibrio entre éste y el medio en que se sitúa.

Los valores de contenido en agua se determinan a partir de las curvas de pF (Anexo 2), transformando los valores de potencial total (ψ_h) aportados por los tensiómetros en pF ($pF = -\log \psi_h$, ψ_h se expresa en cm). Los resultados obtenidos se adjuntan en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Contenidos de agua obtenidos a partir de las tensiometrías

Fecha	T1				T2			
	ψ_h (cbar)	ψ_h (cm)	pF	θ (%)	ψ_h (cbar)	ψ_h (cm)	pF	θ (%)
24-10-89	20	- 206.6	2.21	55	55	- 568.1	2.70	45
31-10-89	20	- 206.6	2.21	55	24	- 247.9	2.27	50
8-11-89	23	- 237.6	2.28	53	25	- 258.2	2.29	49
15-11-89	10	- 103.3	1.76	63	10	- 103.3	1.64	56
30-11-89	12	- 123.9	1.89	61.5	12	- 123.9	1.80	54.5

Para el cálculo de la infiltración a partir de los valores del tensiómetro T1, se plantea la ecuación a una profundidad de 0.45 m, durante un período de observación de 30 días (comprendidos entre el 15 de Octubre y el 15 de Noviembre), suponiendo que inicialmente existe en el terreno un contenido de agua igual al del punto de marchitez. La variación del contenido en agua para el período considerado es del 32%.

Sustituyendo estos valores en la ecuación (1) se obtiene:

$$J = \frac{0.32 \times 0.45m}{30días} = 0.0048 \text{ m/día} = 4.8 \text{ mm/día}$$

La infiltración a lo largo del período de estudio es por tanto de 144 mm. Teniendo en cuenta que la precipitación entre el 15 de Octubre y el 15 de Noviembre es de 221.4 mm, el valor obtenido de 144 mm supone un 65% de la precipitación total.

En el caso del tensiómetro T2, la ecuación se plantea a una profundidad de 0.60 m. En este caso la variación del contenido en agua es de 23.6%.

Sustituyendo en la ecuación se obtiene:

$$J = \frac{0.236 \times 0.60m}{30días} = 0.005 \text{ m/día} = 5 \text{ mm/día}$$

La infiltración calculada a partir de este tensiómetro es de 150 mm, que supone un 68% de la precipitación recogida en el mismo período.

Este valor es semejante al obtenido a partir del tensiómetro T1, no obstante, es un valor aproximado sujeto a revisión, ya que el tiempo de funcionamiento correcto de los tensiómetros

es muy corto y, no se dispone de medidas del volumen de agua de condensación a lo largo del mismo. Por tanto, se ha estimado la infiltración debida a la lluvia, en una zona al descubierto, y no la procedente de la precipitación horizontal.

7.1.2. Métodos basados que requieren medidas de los gradientes hidráulicos

Se basan en resolver la ecuación de Darcy para flujo no saturado:

$$J = K(\theta) \cdot i \quad (2)$$

donde:

J = flujo

$K(\theta)$ = conductividad hidráulica en función del contenido de agua

i = gradiente hidráulico

Los gradientes hidráulicos se determinan a partir de las tensiometrías y, puesto que no se dispone en este trabajo de datos experimentales referentes a la conductividad hidráulica no saturada, se ha estimado este parámetro por el método de Van Genuchten, a partir de las curvas de pF.

El gradiente hidráulico se calcula considerando la variación del potencial total (ψ_h) con respecto a la variación de la profundidad (Z). En la tabla 7.2 se recogen los valores de ψ_h (cm).

Tabla 7.2. Valores de potencial total (cm)

Fecha	T1 (0.45 m)	T2 (0.60 m)	$\Delta\psi_h$ (cm)
	ψ_h (cm)	ψ_h (cm)	
24-10-89	- 206.6	- 568.1	361.5
31-10-89	- 206.6	- 247.9	41.3
8-11-89	- 237.6	- 258.2	20.6
15-11-89	- 103.3	- 103.3	0
30-11-89	- 123.9	- 123.9	0

De la observación de la tabla 7.2 se desprende que, el flujo es descendente en el período comprendido entre el 24 de Octubre y 8 de Noviembre, puesto que el potencial es mayor a 0.45 m de profundidad que a 0.60 m. A partir de esa fecha no se aprecia variación alguna entre los potenciales medidos a las profundidades mencionadas .

Debido al amplio margen de variación obtenido para la diferencia de potencial, en los cálculos que siguen se toman los valores correspondientes a la situación existente el día 8 de Noviembre, para poder así comparar los resultados con los del apartado 7.1.1.

$$i_8 = \frac{\Delta h_8}{\Delta Z} = \frac{20.6 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 1.4$$

En el método de Van Genuchten, para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada en función del contenido en agua, $K(\theta)$, se determinan una serie de parámetros, partiendo del análisis gráfico de las curvas de pF. El valor que se obtiene es función del contenido en agua, y viene expresado como:

$$K(\theta) = \theta^{5.53} \text{ cm/día}$$

de donde,

$$K(\theta)_8 = 0.53^{5.53} = 2.98 \times 10^{-2} \text{ cm/día}$$

Sustituyendo los valores obtenidos para la conductividad hidráulica no saturada y los correspondientes a los gradientes hidráulicos en la ecuación (2):

$$J = 2.98 \times 10^{-2} \times 1.4 = 4.17 \times 10^{-2} \text{ cm/día}$$

Los valores obtenidos para los dos casos son semejantes. Tomando el valor de $J = 4.17 \times 10^{-2} \text{ cm/día} = 0.417 \text{ mm/día}$ y suponiendo que esta situación ha permanecido constante a lo largo del período considerado en el apartado 7.1.1, la infiltración producida entre el 15 de Octubre y el 15 de Noviembre es de 12.51 mm (6% de la precipitación total).

Este método arroja valores considerablemente inferiores al anterior. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la conductividad hidráulica tiene aquí un peso importante en el cálculo de la infiltración y no se han llevado a cabo medidas experimentales de este parámetro, sino que se ha estimado por el método de Van Genuchten.

7.2. Métodos basados en la determinación de parámetros químicos

La ecuación de balance de cloruros viene dada por la expresión:

$$S = P Cl_p + R Cl_R + F - I Cl_x - C$$

donde, como se indica en el capítulo 2,

- S (mg) = cambio en la masa de cloruro almacenada en el suelo
- P (l) = volumen de precipitación
- Cl_p (mg/l) = concentración de cloruros en el agua de lluvia

$R (l)$	= dotación de riego, en caso de existir
$Cl_R (mg/l)$	= concentración de cloruros en el agua de riego
$F (mg)$	= masa de cloruro aportada por otras fuentes (fertilizantes)
$I (l)$	= volumen de infiltración
$Cl_x (mg/l)$	= concentración de cloruros en el agua de la zona no saturada a una profundidad x (m)
$C (mg)$	= masa de cloruros consumida por el cultivo

Aquí no se consideran los términos correspondientes a la dotación de riego (R), ya que en la zona experimental no se producen aportaciones de este tipo los referentes a otras fuentes (término F) puesto que no se aplican fertilizantes, ni aquellos que consideran la masa de cloruros consumida por la vegetación (C), por los motivos expuestos en el citado capítulo.

Puesto que no se dispone de datos relativos al cambio en la masa de cloruros almacenada en el suelo (S), se consideran dos hipótesis de trabajo. La primera supone que el suelo se encuentra en régimen permanente y el término S es una componente nula y, la segunda, que el suelo actúa como fuente de cloruros (el valor de S es un cierto porcentaje de la masa de cloruros que migra hacia el acuífero).

Así pues, la ecuación de balance de cloruros queda de la forma:

$$S = S Cl_p - I Cl_x$$

Antes de proceder a resolver la ecuación anterior, es preciso hacer una serie de consideraciones:

El período de estudio es anómalo en cuanto a presencia de precipitaciones horizontales se refiere, y los datos obtenidos de agua de condensación y de tomamuestras de vacío-presión son escasos y de difícil comparación, al proceder los primeros de una zona cubierta por la vegetación, y los segundos de una zona al descubierto. Esto impide realizar una valoración fundamentada del volumen de infiltración que suponen las nieblas. No obstante, y sabiendo que los resultados que se obtengan constituyen una primera aproximación, sujeta a revisión, se realizan aquí los cálculos pertinentes.

A la hora de elegir los valores de concentraciones de cloruros del agua de lluvia (o condensación en este caso) y de la zona no saturada, nos enfrentamos a una dificultad adicional, puesto que se pretende determinar, a partir de la ecuación de balance de cloruros, el volumen de infiltración debida exclusivamente al agua de condensación. Además, hay que considerar que la concentración de cloruros no puede disminuir desde el agua de condensación que se infiltra, hasta la que se recoge en la zona no saturada. El cloruro es un ión conservativo que no precipita, ni está sujeto a retención por el terreno.

En base a las consideraciones anteriores, se plantea la ecuación de balance, con los datos correspondientes al agua de condensación recogida el 24 de Octubre (que realmente se almacena entre los días 17 y 24 del mes citado) y, la extraída del lisímetro L1 en el muestreo del 31 del mismo mes, para las dos hipótesis mencionadas.

7.2.1. Hipótesis de régimen permanente

$$I \cdot Cl_{L1} = P \cdot Cl_p$$

$$Cl_{L1} = 42 \text{ mg/l}$$

$$P = 50.9 \text{ mm (volumen almacenado entre los días 17 y 24 de Octubre)}$$

$$Cl_p = 34 \text{ mg/l}$$

De donde $I = 41.2 \text{ l/m}^2$, o lo que es lo mismo $I = 41.2 \text{ mm}$. Esta infiltración supone un 81% del total de agua condensada, porcentaje extremadamente alto.

7.2.2. Hipótesis de régimen transitorio

Considerando que la masa de cloruro liberada por el suelo representa un 20% de la masa de cloruro lixiviada (dato puramente teórico tomado de un estudio realizado en otro tipo de suelo cultivado), el volumen de infiltración resulta ser:

$$I = 51.5 \text{ mm}$$

resultado absurdo, puesto que en este caso no se puede infiltrar un volumen de agua superior a la que se condensa (50.9 mm).

Los resultados obtenidos con las premisas de partida llevan a rechazar la hipótesis de régimen transitorio.

No obstante, como se indicaba anteriormente, estos valores de infiltración hay que tomarlos con las oportunas reservas, hasta que se contrasten con otros procedentes de un seguimiento más amplio.

7.3. Determinación de la velocidad de infiltración

A pesar de que el período de estudio es insuficiente y no se puede determinar en rigor la velocidad de infiltración, se hace aquí una primera estimación de este parámetro.

Con los datos disponibles, y admitiendo la hipótesis considerada en el apartado 7.2.1, según la cual los cloruros existentes en la zona no saturada proceden únicamente del agua de infiltración, se puede calcular la velocidad con que se infiltra el agua en estos materiales.

El cloruro es un ion conservativo, que no está sometido a procesos de óxido-reducción, intercambio iónico, ni precipitación en las condiciones de presión y temperatura existentes en el medio natural. Así pues, se estima que este ion migra a igual velocidad que el agua.

En la figura 7.1 se representa la variación en profundidad de la concentración de cloruros, para el período comprendido entre el 31 de Octubre y el 30 de Noviembre de 1989.

Las figuras 7.1.a, 7.1.b y 7.1.c, corresponden a los muestreos realizados el 31 de Octubre, 15 de Noviembre y 30 de Noviembre, respectivamente.

En la figura 7.1.a se observa la existencia de un frente de cloruros situado a una profundidad de 0.5 m. Este frente se desplaza con el agua infiltrada hasta una profundidad de 1 m en el transcurso de 15 días (Fig. 7.1.b).

La figura 7.1.c refleja la existencia de otro frente de avance, cuyo movimiento en profundidad no ha podido detectarse al carecer de muestreos posteriores al 30 de Noviembre.

Con los datos obtenidos de los dos primeros gráficos y considerando flujo pistón, la velocidad de infiltración determinada es de 12.5 m/año.

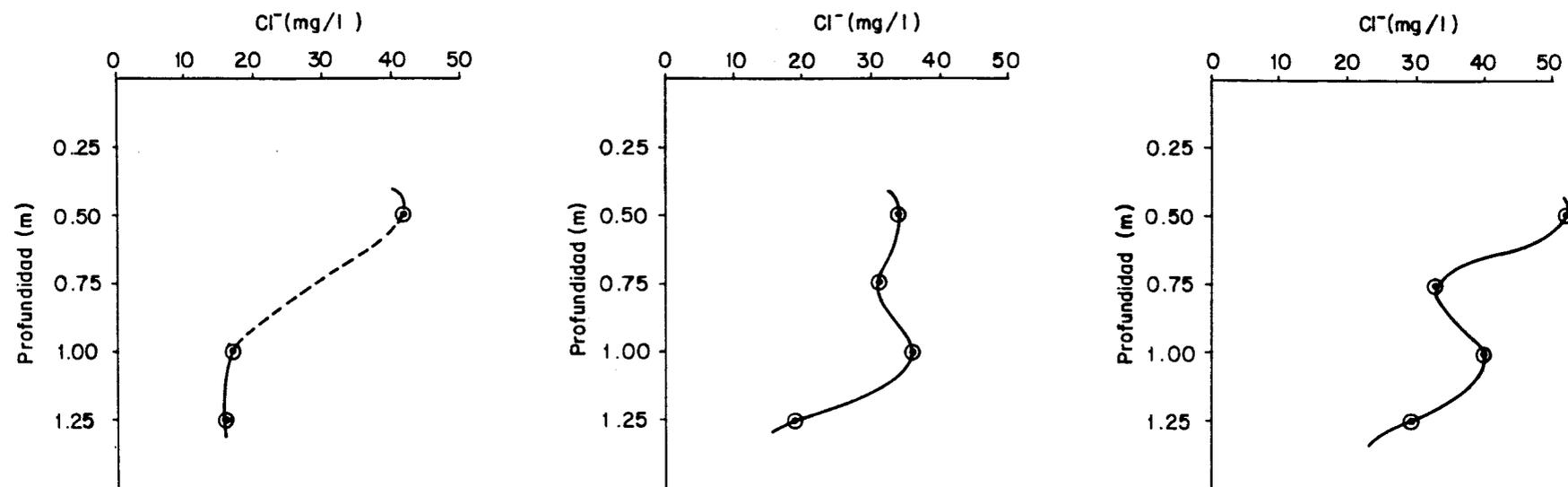


Fig. 7.1.- Evolución en profundidad de la concentración de cloruros
 a) Muestreo realizado el 31-10-89
 b) Muestreo realizado el 15-11-89
 c) Muestreo realizado el 30-11-89

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este proyecto se consideran dos tipos de métodos para el cálculo de la infiltración, que se basan en el control de la zona no saturada.

Con objeto de cuantificar la infiltración debida a la precipitación horizontal, se ha instrumentado una parcela experimental en la isla del Hierro, provista de un dispositivo para recoger agua de condensación, un pluviómetro y varios tensiómetros y lisímetros de vacío-presión.

En la zona de estudio se realizaron varios sondeos, con equipo de perforación manual, que han permitido la toma de una serie de muestras de suelo, para análisis granulométrico, de contenido en humedad y obtención de curvas de pF.

En el análisis granulométrico se observa que existe una disminución del contenido en finos, concretamente de la fracción denominada limo + arcilla, a medida que aumenta la profundidad. Esta disminución va acompañada de un aumento del contenido en arena fina en el mismo sentido. Este hecho revela una disminución del grado de alteración de los materiales presentes, con el aumento de la profundidad de muestreo.

El grado de humedad obtenido en las muestras analizadas oscila entre el 45 y 58%, con valores mínimos en los tramos más someros.

De la observación de las curvas de pF obtenidas, destaca el que se alcance el punto de marchitez con una humedad muy alta (31 a 37%). El agua disponible por las plantas es pequeña y está comprendida entre el 31 y 47%. Estas curvas arrojan valores muy altos de porosidad (70 a 77%), observándose una disminución de este parámetro en profundidad.

El comportamiento de los tensiómetros instalados refleja unas condiciones de humedad inferiores al 42% y unas succiones elevadas que recomiendan un aumento en la frecuencia de medición de estos aparatos.

A medida que aumenta la profundidad en que se sitúan los lisímetros de vacío-presión, aumenta también el número de veces en que se extrae agua de los mismos. Los muestreos en los que se obtienen los volúmenes mayores corresponden al mes de Noviembre.

Todas las aguas analizadas son cloruradas sódicas, a excepción de 2 muestras, que pertenecen una al agua de condensación y otra al lisímetro L4.

Las conductividades medidas son bajas y oscilan entre 93 y 331 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las concentraciones de cloruros medidas son, en general mayores en las aguas de condensación y lluvia que en las procedentes de la zona no saturada, donde los fenómenos de evaporación están más atenuados. Los valores mínimos se obtienen para las muestras procedentes del tomamuestras más profundo.

La infiltración calculada a partir de los parámetros físicos da valores diferentes dependiendo del método utilizado, y oscila entre 12.5 y 150 mm. La infiltración mayor se obtiene de los métodos basados en medidas del contenido en agua.

En lo que respecta a la determinación de la infiltración por el método del balance de cloruros, el período de estudio es anómalo en precipitaciones horizontales y consecuentemente, los datos obtenidos de agua de condensación y de tomamuestras de vacío-presión son escasos y de difícil comparación, máxime cuando proceden los primeros de una zona cubierta por la vegetación, y los segundos de una zona al descubierto.

El valor obtenido por este método y considerando régimen permanente es de 41 mm, valor que ha de tomarse con las debidas reservas, ya que se ha calculado en un caso en el que la aplicación de este método es discutible.

A partir de la evolución en profundidad de la concentración de cloruros y considerando flujo pistón, se calcula una velocidad de infiltración de 12.5 m/año.

9. RECOMENDACIONES

9. RECOMENDACIONES

El tema abordado en este proyecto es de gran interés, no sólo por los resultados que se obtienen, sino porque se trata de un estudio novedoso basado en el control de la zona no saturada. De ahí que sea preciso realizar una segunda fase de este estudio, que lo complete y resuelva los problemas encontrados en el transcurso de esta investigación.

Las recomendaciones que cabe hacer, tendentes a solventar las dificultades encontradas, son las siguientes:

- Aumentar el período de medición, con una duración total no inferior a 18 meses, que compense los intervalos necesarios para alcanzar las condiciones de equilibrio entre la instrumentación instalada y el medio donde se sitúa y, para suplir los problemas ocasionados por la escasez de nieblas, en caso de no producirse éstas.
- Aumentar la frecuencia en la lectura de los tensiómetros. Las medidas han de ser diarias, ya que en este tipo de materiales, se precisan unos contenidos de humedad relativamente altos, para el funcionamiento correcto de los tensiómetros.
- Aumentar el número de tomamuestras de vacío-presión y el de tensiómetros, para poder realizar con ello una mejor caracterización de la zona no saturada.
- Recoger muestras de agua de condensación con mayor frecuencia, en los casos en que sea posible.
- Instrumentar otra parcela, situada ésta bajo una zona cubierta por la vegetación, para comparar así los volúmenes de infiltración obtenidos en una zona cubierta por la vegetación, frente a otra situada al descubierto.
- Situar las parcelas experimentales, si es posible, en una zona de mejor acceso, de cara a facilitar la realización de las lecturas diarias de la instrumentación instalada en las mismas.

ANEXOS

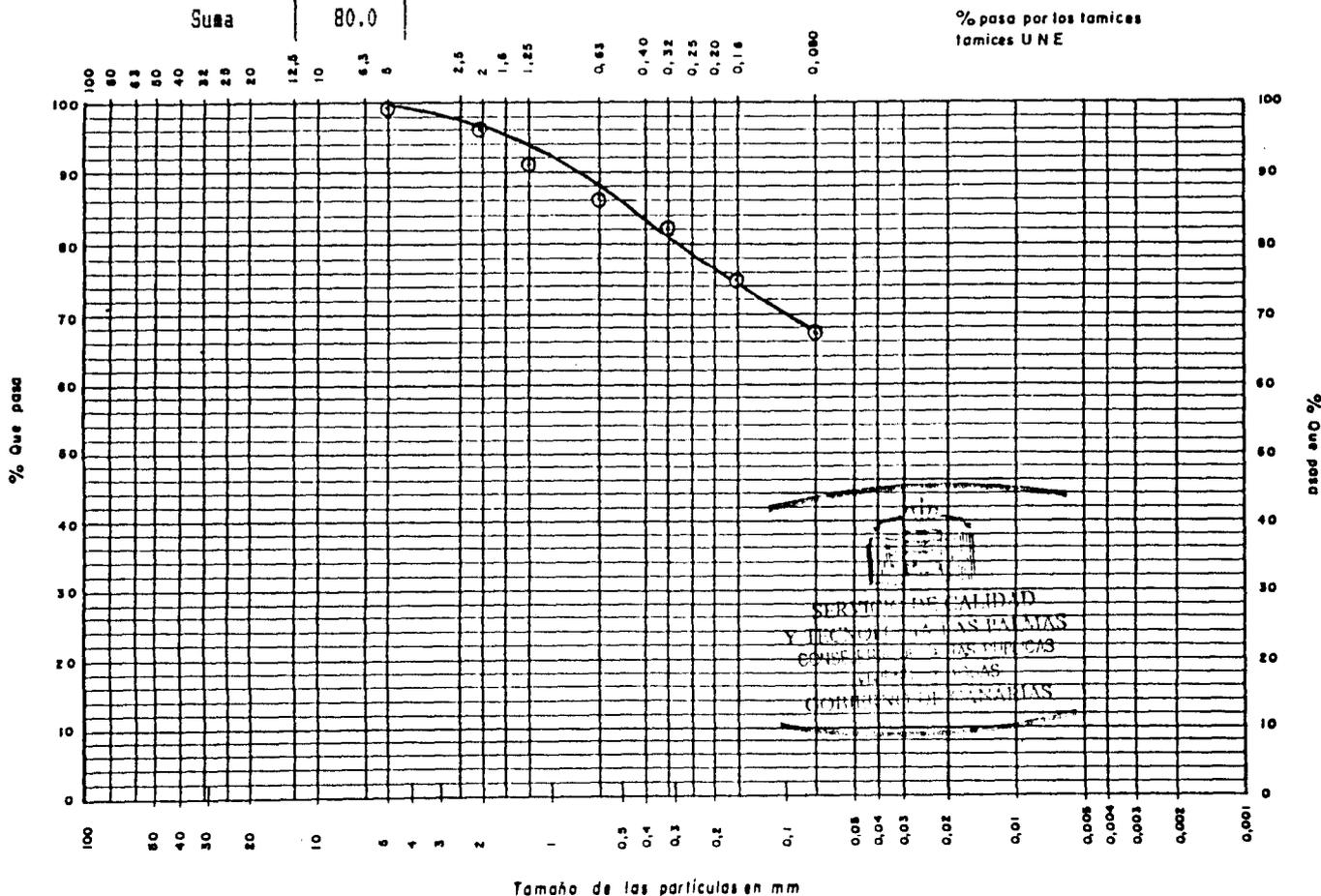
ANEXO 1
Granulometrías

GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

Sondeo/Pozo/Calicata:
 Muestra num. : M-1
 Profundidad (m) : 0.40/0.60

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	1.0	1.25	1.25	98.75
2	2.5	3.13	4.38	95.62
1.25	3.9	4.88	9.26	90.74
0.63	3.6	4.50	13.76	86.24
0.32	3.4	4.25	18.01	81.99
0.16	5.9	7.37	25.38	74.62
0.08	5.9	7.37	32.75	67.25
Fondo	53.8	67.25	100	0
Suma	80.0			

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	4.38	28.37	67.25



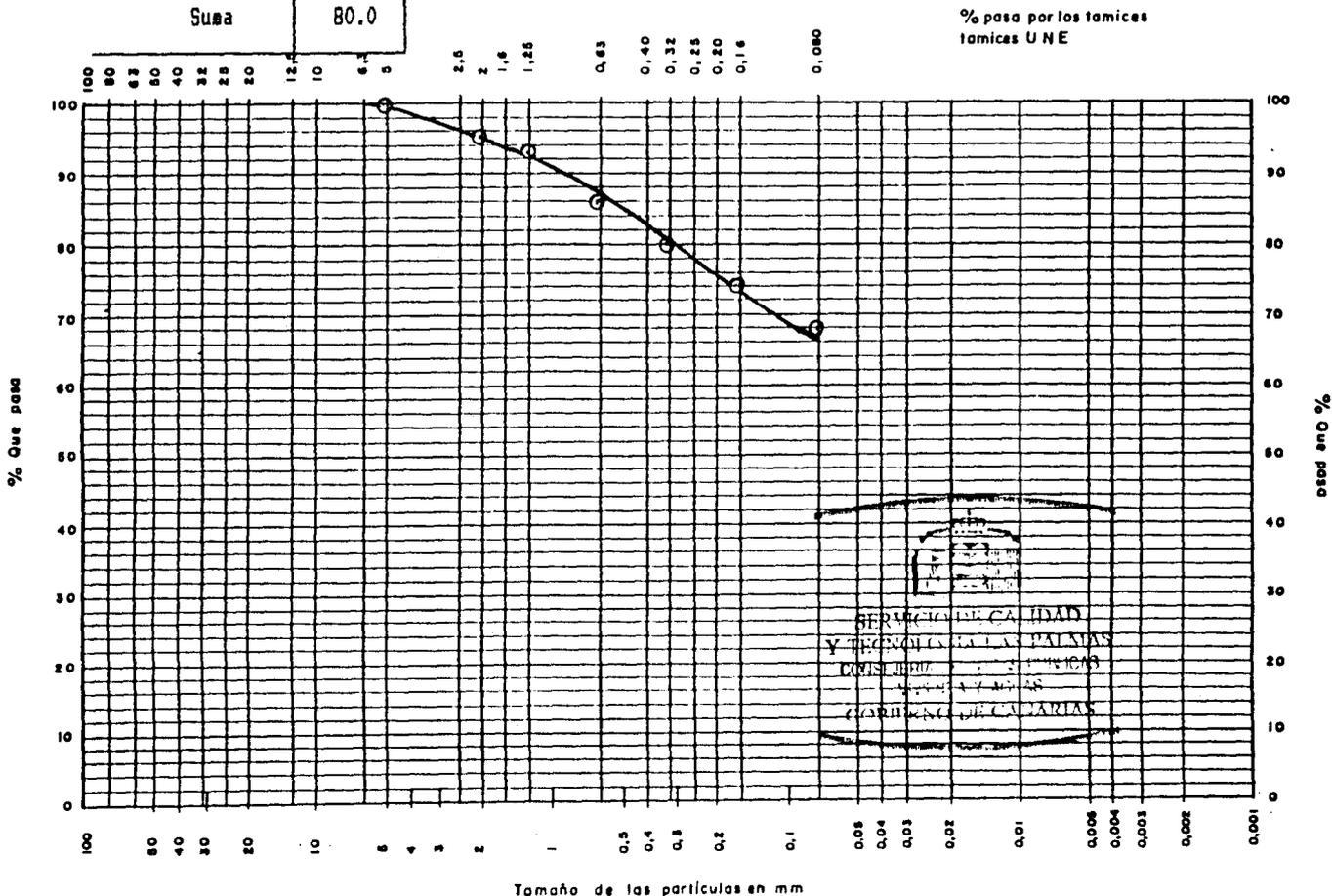
referencia MS-131/89-GC pag. n.º 5

GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.4	0.50	0.50	99.50
2	1.9	2.37	2.87	97.13
1.25	3.6	4.50	7.37	92.63
0.63	5.0	6.25	13.62	86.38
0.32	5.1	5.38	20.00	80.00
0.16	4.6	5.75	25.75	74.25
0.08	5.2	6.50	32.25	67.75
Fondo	54.2	67.75	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Fozo/Calicata:
Muestra num. : M-2
Profundidad (m) :

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIN + ARC
% PESO	2.37	29.88	67.75

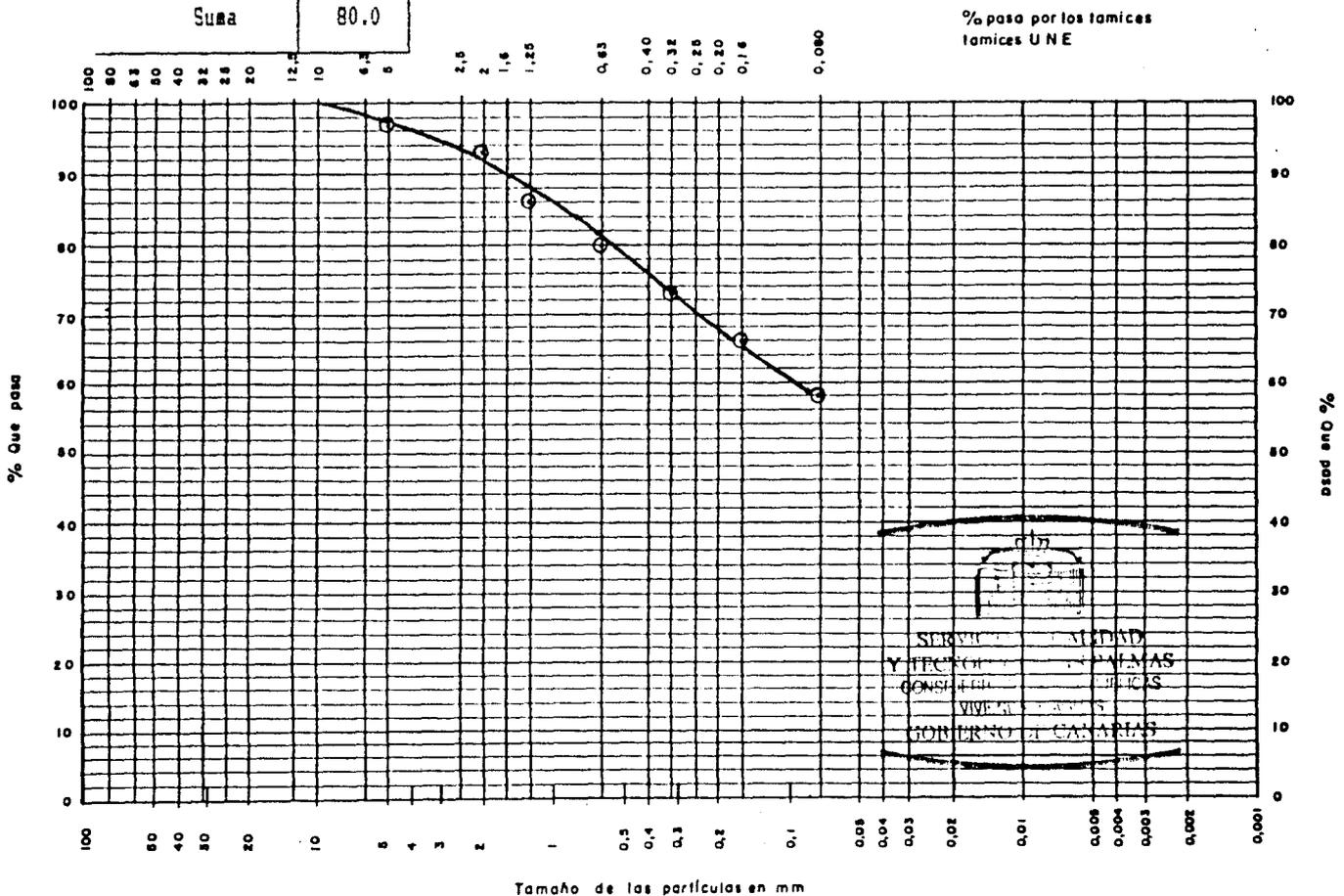


GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	2.4	3.00	3.00	97.00
2	3.5	4.38	7.38	92.62
1.25	5.2	6.50	13.88	86.12
0.63	5.1	6.38	20.26	79.74
0.32	5.2	6.50	26.76	73.24
0.16	5.7	7.12	33.88	66.12
0.08	6.6	8.25	42.13	57.87
Fondo	46.3	57.87	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Pozo/Calicata:
 Muestra núm. : M-3
 Profundidad (m) :

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIN + ARC
% PESO	7.38	34.75	57.87



SERVICIO DE CALIDAD Y TECNOLOGIA DE LA EDIFICACION Y OBRAS PUBLICAS

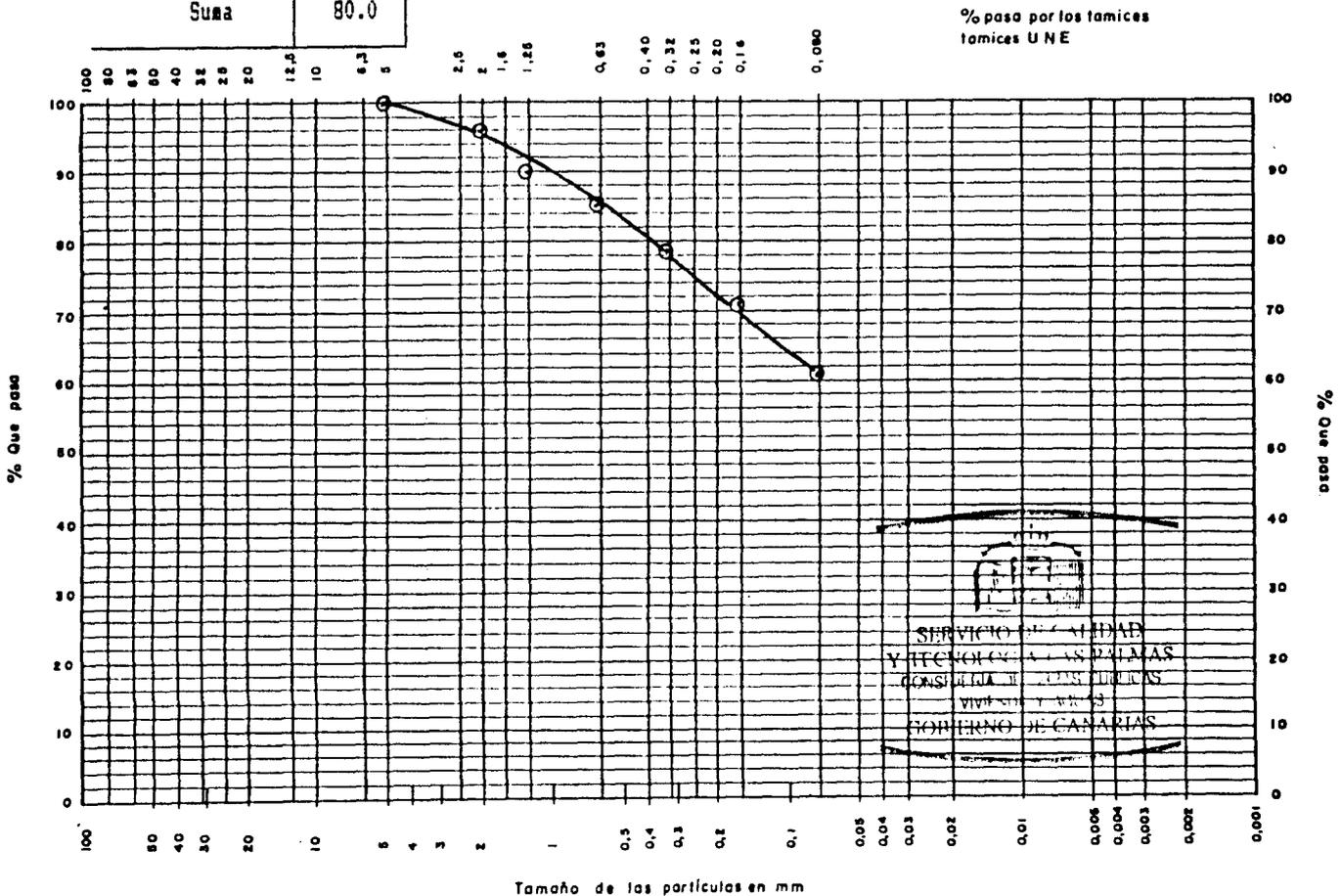
referencia MS-131/89-GC pag. n.º 7

GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.4	0.50	0.50	99.50
2	3.2	4.00	4.50	95.50
1.25	4.2	5.25	9.75	90.25
0.63	4.3	5.38	15.13	84.87
0.32	5.1	6.38	21.51	78.49
0.16	6.1	7.62	29.13	70.87
0.08	7.4	9.25	38.38	61.62
Fondo	49.3	61.62	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Pozo/Calicata:
Muestra núm. : M-4
Profundidad (m) :

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIN + ARC
% PESO	4.50	33.88	61.62



referencia MS-131/89-GC pag. n.º 8

GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

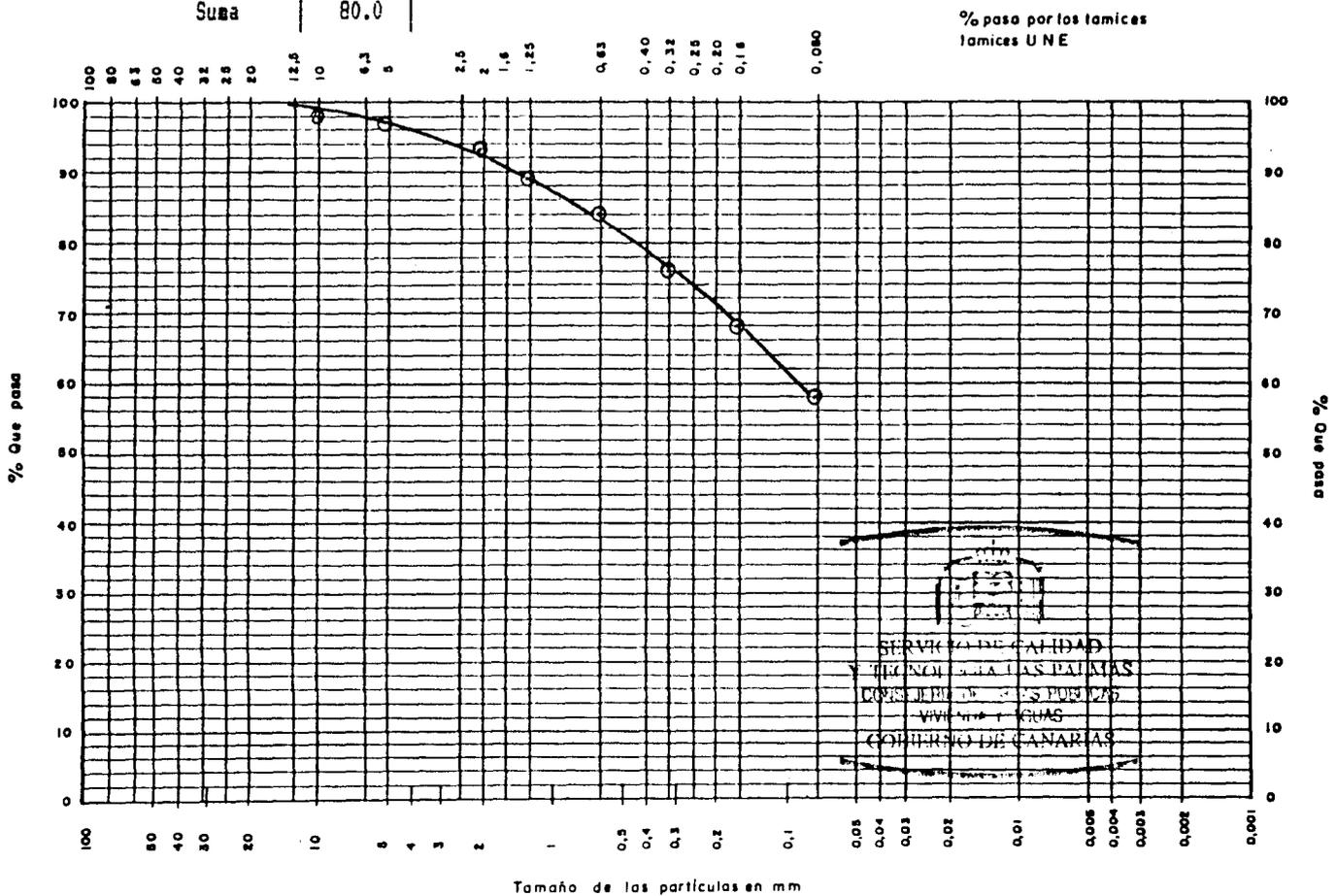
TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10	1.7	2.13	2.13	97.87
5	0.9	1.13	3.26	96.74
2	2.7	3.38	6.64	93.36
1.25	3.6	4.50	11.14	88.86
0.63	4.2	5.25	16.39	83.61
0.32	5.7	7.12	23.51	76.49
0.16	6.9	8.62	32.13	67.87
0.08	7.9	9.87	42.00	58.00
Fondo	46.4	58.00	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Fozo/Calicata:

Muestra núm. : M-5

Profundidad (m) : 2.50/2.70

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	6.64	35.36	58.00



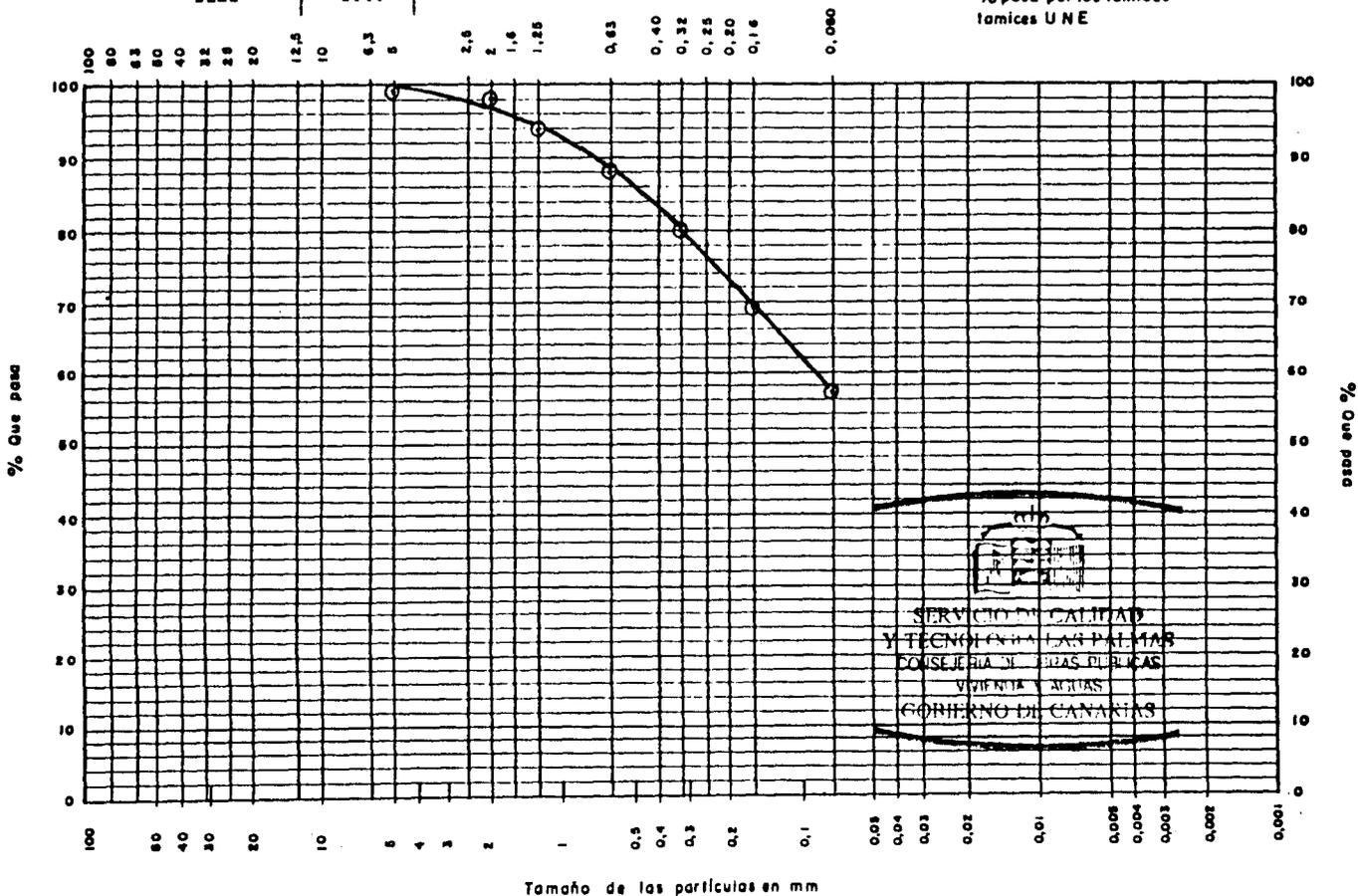
GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			X PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.9	1.12	1.12	98.88
2	1.1	1.38	2.50	97.50
1.25	2.7	3.38	5.88	94.12
0.63	4.7	5.88	11.76	88.24
0.32	7.0	8.75	20.50	79.50
0.16	8.7	10.87	31.38	68.62
0.08	9.7	12.12	43.50	56.50
Fondo	45.2	56.50	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Pozo/Calicata:
 Muestra núm. : N-6
 Profundidad (m) : 3.00/3.20

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	2.50	41	56.50

% pasa por los tamices
tamices UNE



GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.2	0.25	0.25	99.75
2	1.2	1.50	1.75	98.25
1.25	3.0	3.75	5.50	94.50
0.63	5.4	6.75	12.25	87.75
0.32	7.5	9.38	21.63	78.37
0.16	9.0	11.25	32.88	67.12
0.08	10.3	12.87	45.75	54.25
Fondo	43.4	54.25	100	0
Suma	80.0			

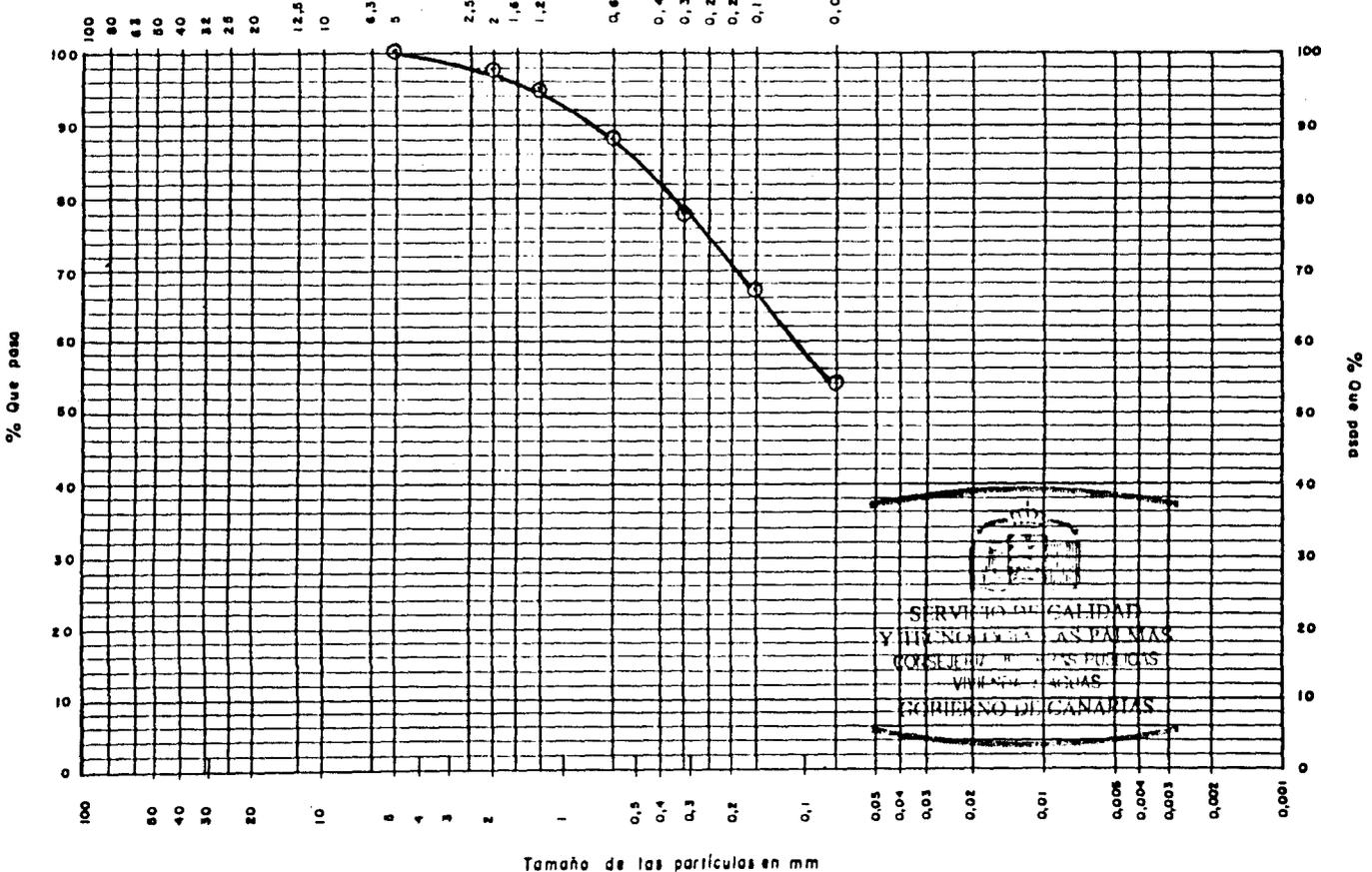
Sondeo/Fozo/Caicata:

Muestra núm. : M-7

Profundidad (m) : 3.50/3.70

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	1.75	44	54.25

% pasa por los tamices
tamices UNE



referencia MS-131/89-GC pag. n.º 11

GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

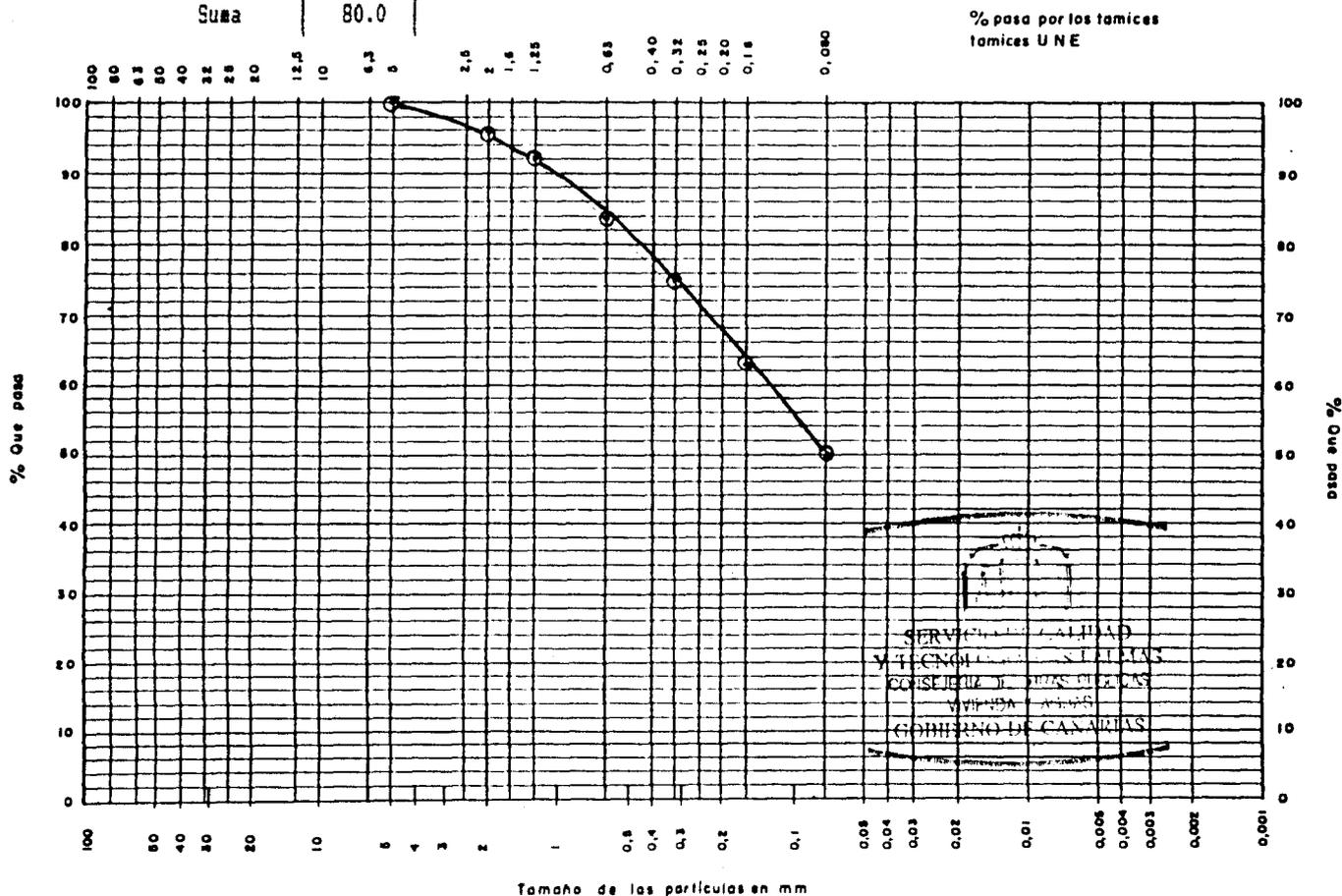
TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.8	1.00	1.00	99.00
2	2.5	3.13	4.13	95.87
1.25	3.3	4.13	8.26	91.74
0.63	5.9	7.37	15.63	84.37
0.32	7.8	9.75	25.38	74.62
0.16	9.0	11.25	36.63	63.37
0.08	10.8	13.50	50.13	49.87
Fondo	39.9	49.87	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Pozo/Calicata:

Muestra núm. : M-8

Profundidad (m) : 4.00/4.20

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	4.13	46	49.87



GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

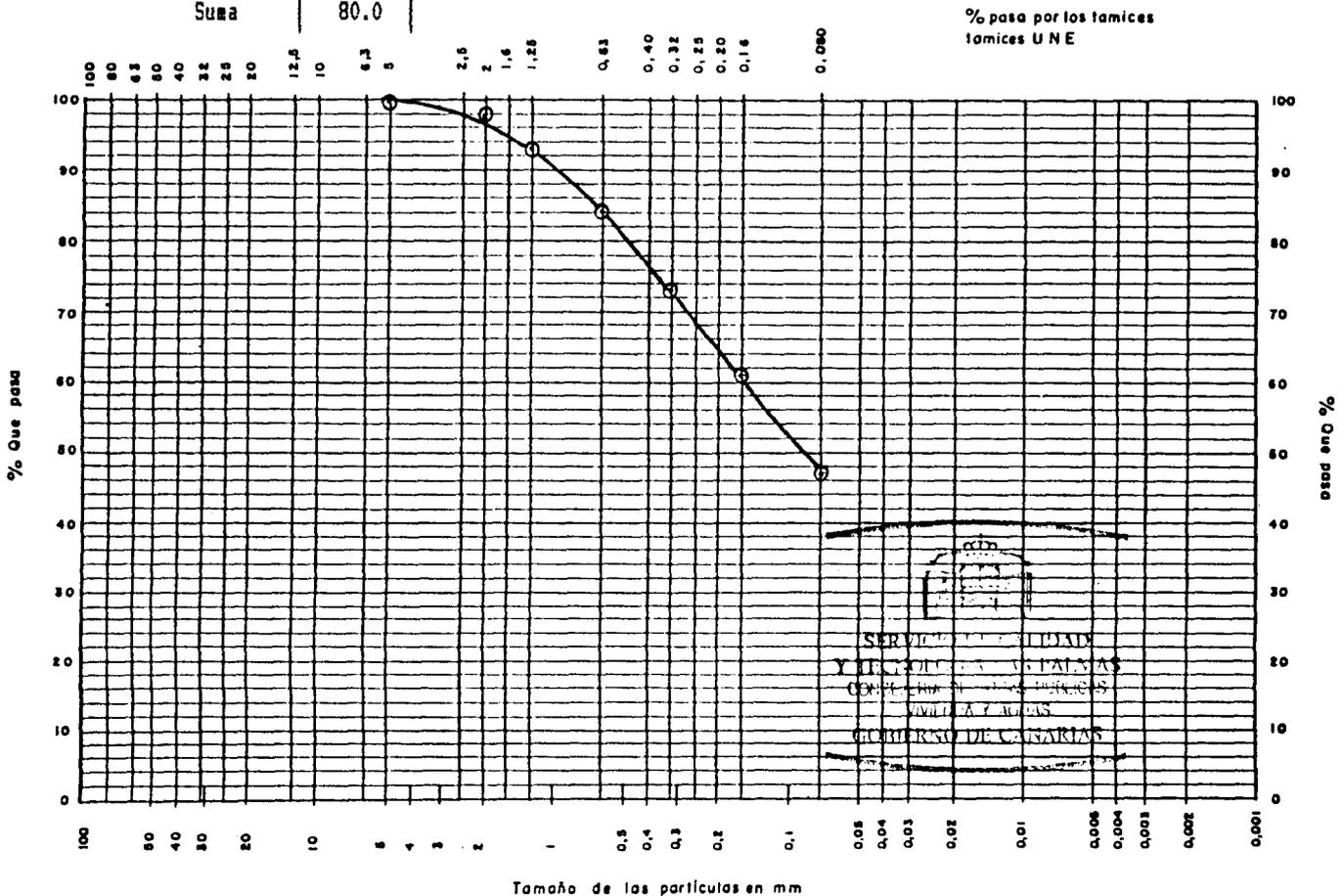
TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.3	0.38	0.38	99.62
2	1.5	1.88	2.26	97.74
1.25	3.9	4.87	7.13	92.87
0.63	7.0	8.75	15.88	84.12
0.32	8.8	11.00	26.88	73.12
0.16	9.9	12.37	39.25	60.75
0.08	11.2	14.00	53.25	46.75
Fondo	37.4	46.75	100	0
Suma	80.0			

Sondeo/Fozo/Calicata:

Muestra núm. : M-9

Profundidad (m) : 4.50/4.70

TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	2.26	50.99	46.75

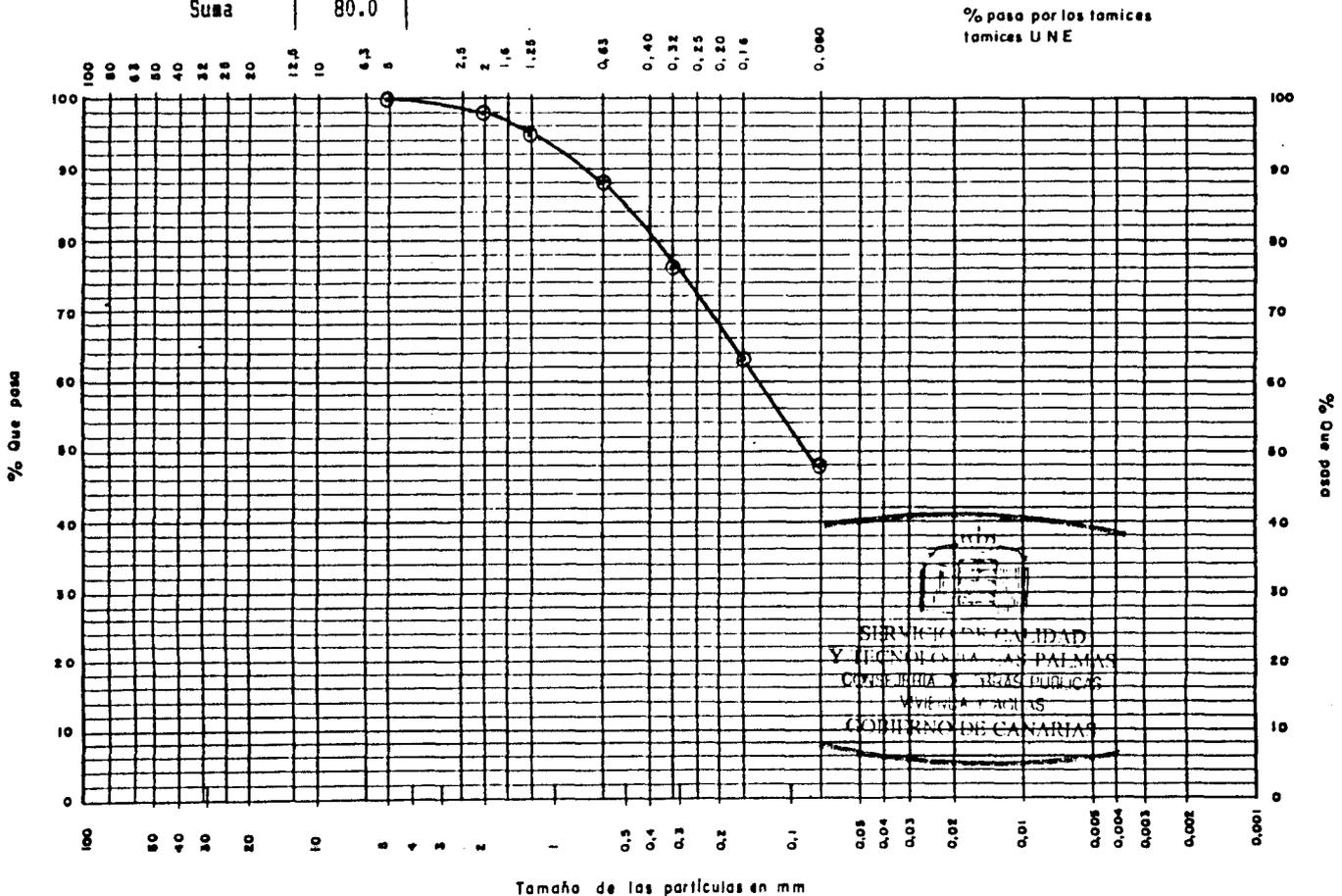


GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 7376-75)

Sondeo/Fozo/Calicata:
 Muestra n.º : M-10
 Profundidad (m) : 4.90/5.10

TAMIZ/CEDAZO UNE 7050	RETENIDO ENTRE TAMICES			% PASA ACUM.
	gr.	%	ACUM.	
40				
20				
10				
5	0.5	0.63	0.63	99.37
2	1.2	1.50	2.13	97.87
1.25	2.5	3.13	5.26	94.74
0.63	5.8	7.25	12.51	87.49
0.32	9.0	11.25	23.76	76.24
0.16	10.9	13.62	37.38	62.62
0.08	11.9	14.87	52.25	47.75
Fondo	38.2	47.75	100	0
Suma	80.0			

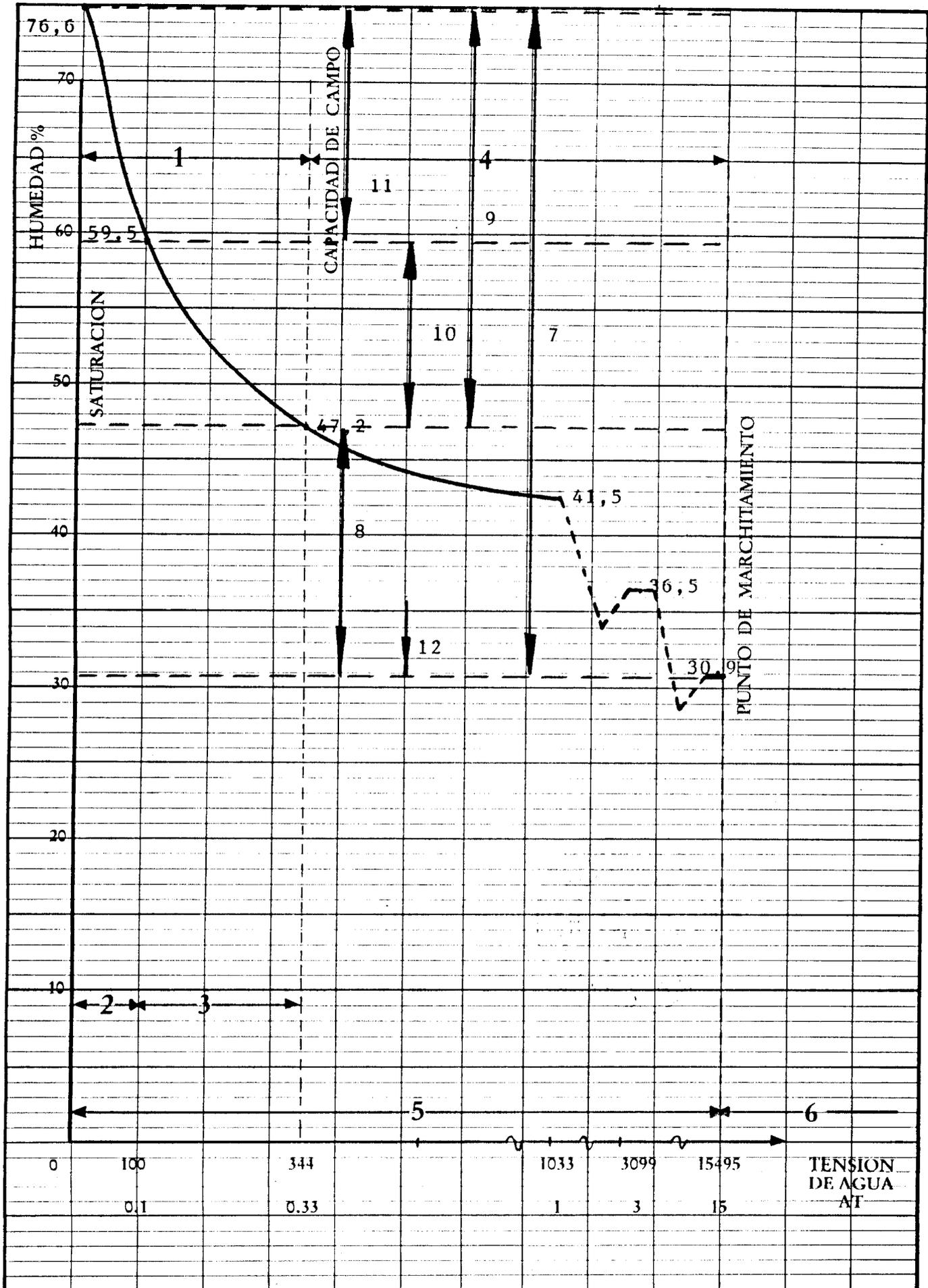
TIPO	GRAVAS	ARENAS	LIM + ARC
% PESO	2.13	50.12	47.75



ANEXO 2
Curvas de pF



n/r.: 1-37-24-D



GEOMECANICA Y AGUAS
Ref.: A (0 - +5)

- 1 poros de drenaje
- 2 poros de drenaje rápido
- 3 poros de drenaje lento
- 4 poros que retienen el agua
- 5 poros de uso
- 6 poros que no se usan

CURVA DE pF

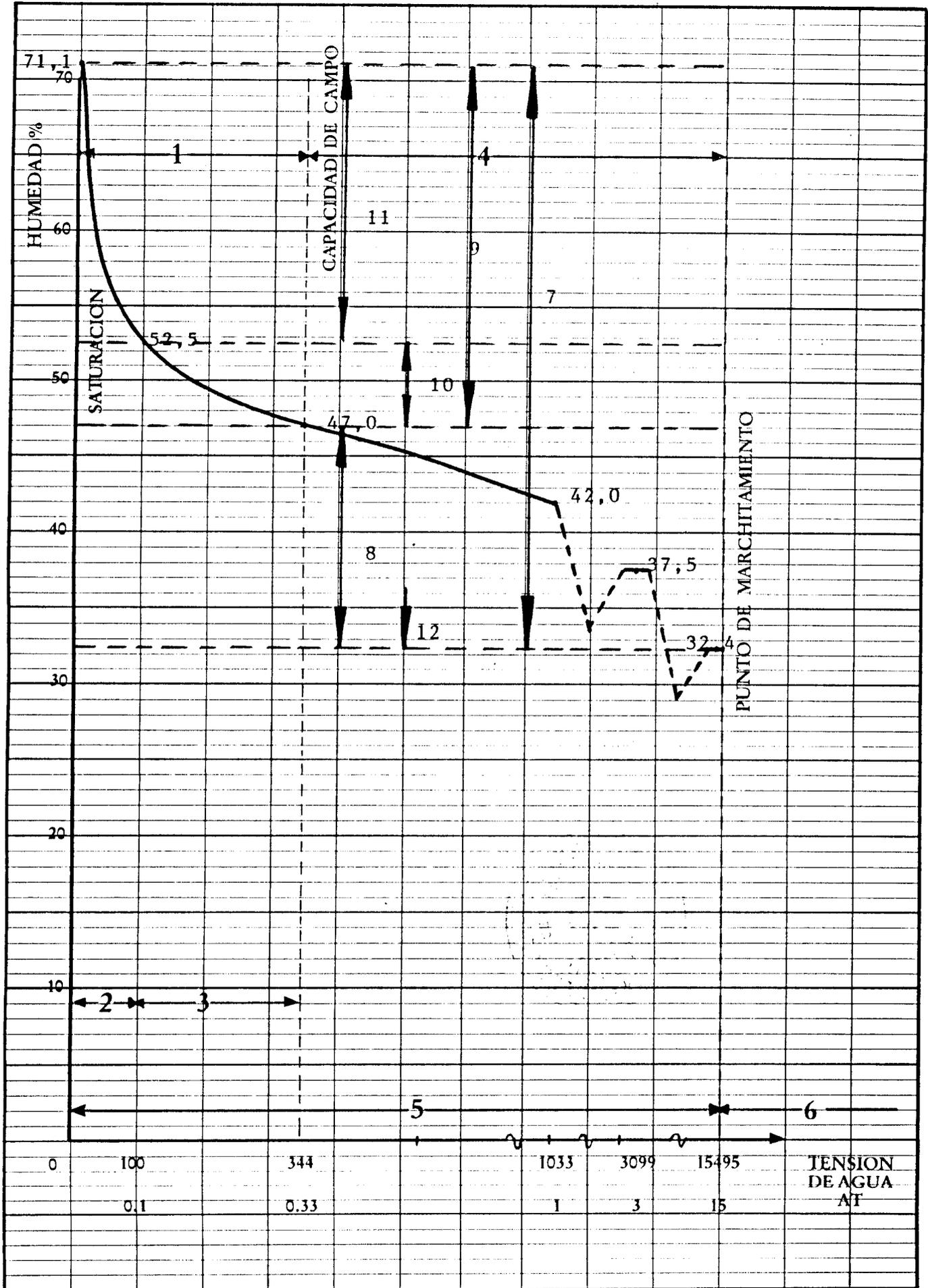
- 7 v. de poros de uso
- 8 v. de poros que retienen el agua
- 9 v. de poros de drenaje
- 10 v. de poros de drenaje lento
- 11 v. de poros de drenaje rápido
- 12 v. de poros que no se usan



n/r.: 2-38-24-D

27 de Mayo, 1969

GEOMECÁNICA Y AGUAS
Ref.: B (45-70)



- 1 poros de drenaje
- 2 poros de drenaje rápido
- 3 poros de drenaje lento
- 4 poros que retienen el agua
- 5 poros de uso
- 6 poros que no se usan

CURVA DE ρF

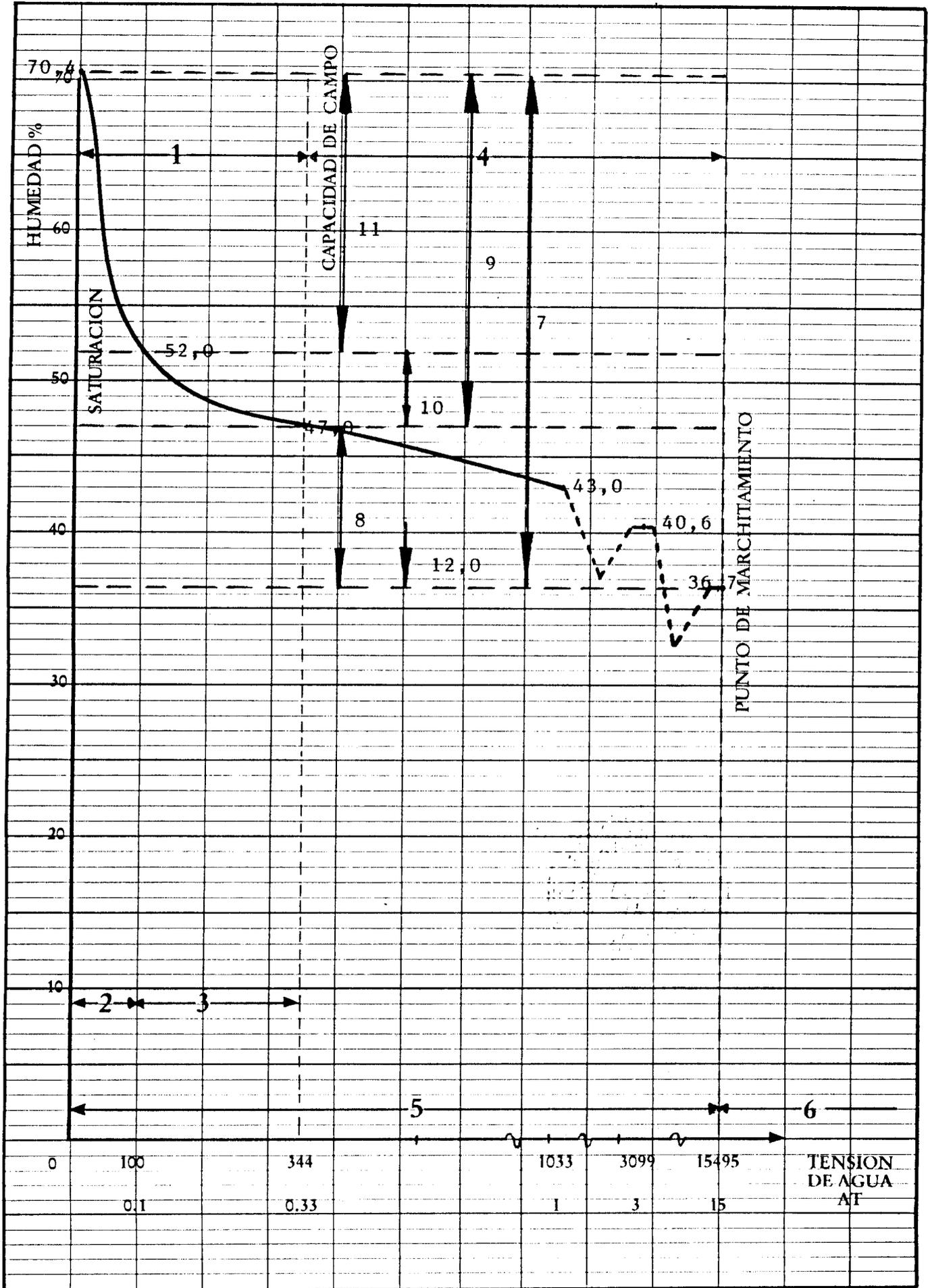
- 7 v. de poros de uso
- 8 v. de poros que retienen el agua
- 9 v. de poros de drenaje
- 10 v. de poros de drenaje lento
- 11 v. de poros de drenaje rápido
- 12 v. de poros que no se usan



n/r.: 3-39-24-D

1 OCT 1989

GEOMECÁNICA Y AGUAS
Ref. -C (70 - 95)



- 1 poros de drenaje
- 2 poros de drenaje rápido
- 3 poros de drenaje lento
- 4 poros que retienen el agua
- 5 poros de uso
- 6 poros que no se usan

CURVA DE ψ F

- 7 v. de poros de uso
- 8 v. de poros que retienen el agua
- 9 v. de poros de drenaje
- 10 v. de poros de drenaje lento
- 11 v. de poros de drenaje rápido
- 12 v. de poros que no se usan

ANEXO 3

Análisis Químicos de Muestras de Agua

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :
 DENOMINACION : AGUA DE CONDENSACION FECHA DE MUESTREO : 16-06-89
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A. FECHA DE ANALISIS : 25-07-89

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

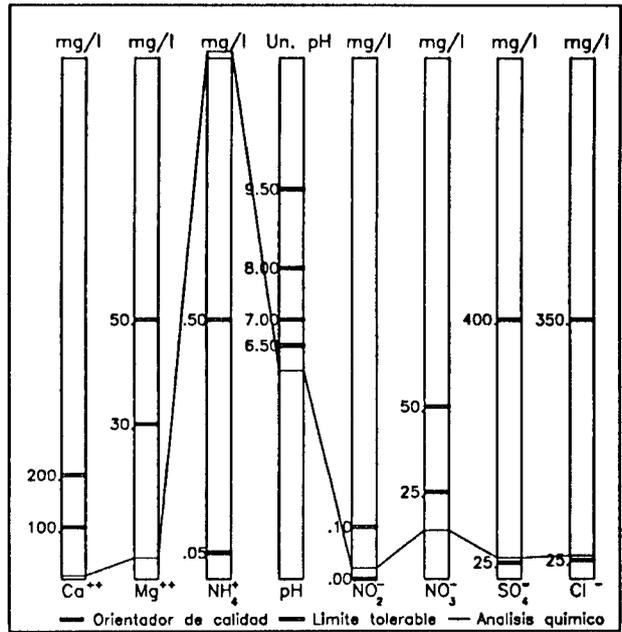
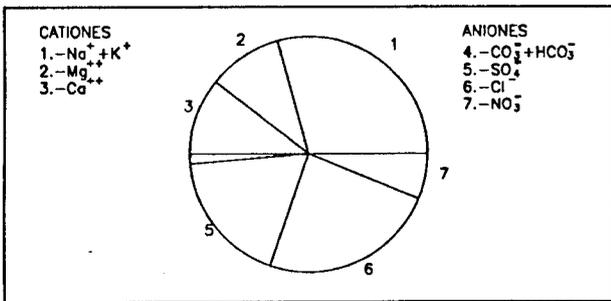
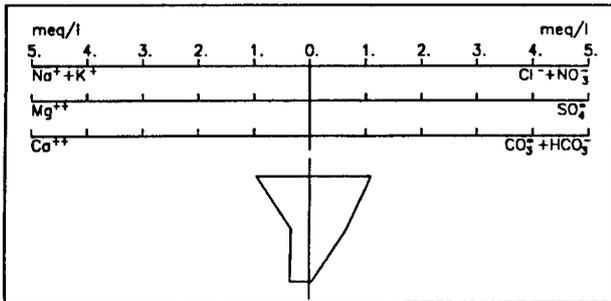
CATIONES			ANIONES				
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	32.00	.67
Sodio	Na ⁺	20.00	.87	Cloruros	Cl ⁻	31.00	.87
Potasio	K ⁺	3.50	.09	Carbonatos	CO ₃ ⁻	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	7.00	.35	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	3.00	.05
Magnesio	Mg ⁺⁺	4.00	.33	Nitratos	NO ₃ ⁻	14.00	.23
Amonio	NH ₄ ⁺	2.40	.13	Nitritos	NO ₂ ⁻	.02	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	223.
Dureza calculada (ppm CaCO ₃)	34.02
pH	6.02
Residuo seco calc. (ppm)	117.37
Error analítico (%)	2.31

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.00	Mg/Ca	.94
Cl/(Na+K)	.91	Na/Ca	2.49
Cl/SO ₄	1.31	Na/K	9.71
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	.14	SO ₄ /Ca	1.90
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.07	SO ₄ /(Ca+Mg)	.98



OTRAS DETERMINACIONES :

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 16-06-89

DENOMINACION : L3

FECHA DE ANALISIS : 25-07-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

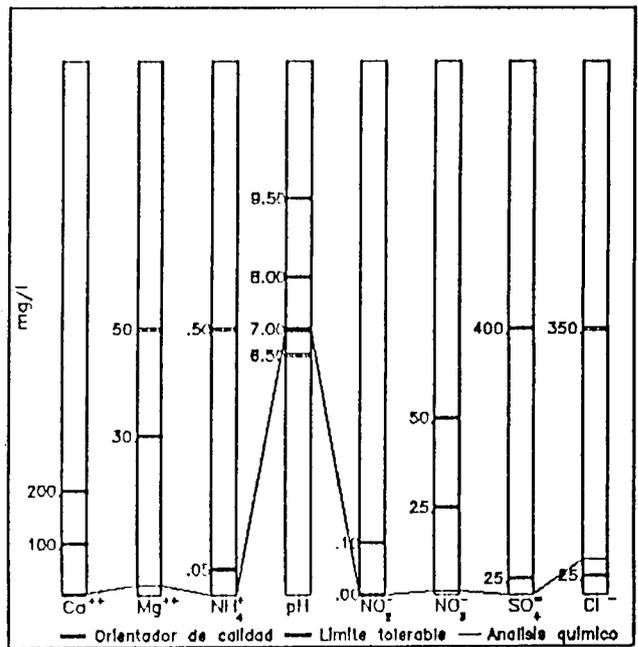
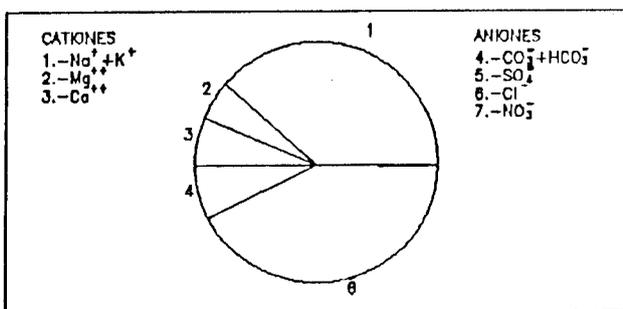
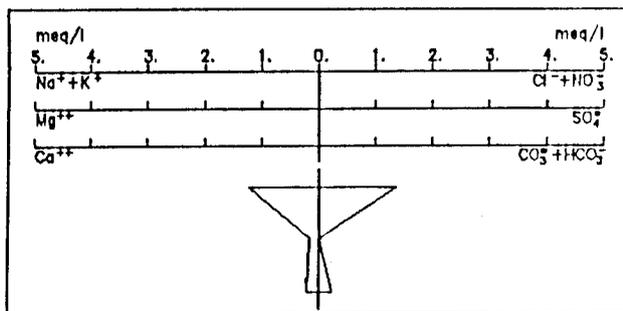
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	.00	.00
Sodio	Na ⁺	27.00	1.17	Cloruros	Cl ⁻	48.00	1.35
Potasio	K ⁺	1.90	.05	Carbonatos	CO ₃ ⁻	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	4.00	.20	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	14.00	.23
Magnesio	Mg ⁺⁺	2.00	.17	Nitratos	NO ₃ ⁻	1.00	.02
Amonio	NH ₄ ⁺	.00	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	198.
Dureza (ppm CaCO ₃)	18.26
pH	6.93
Residuo seco calc. (ppm)	104.21
Error analítico (x)	.69

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.15	Mg/Ca	.83
Cl/(Na+K)	1.11	Na/Ca	5.87
Cl/SO ₄	*****	Na/K	24.15
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	1.15	SO ₄ /Ca	.00
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.63	SO ₄ /(Ca+Mg)	.00



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 262 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :
 DENOMINACION : L4
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE MUESTREO : 16-06-89
 FECHA DE ANALISIS : 25-07-89

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

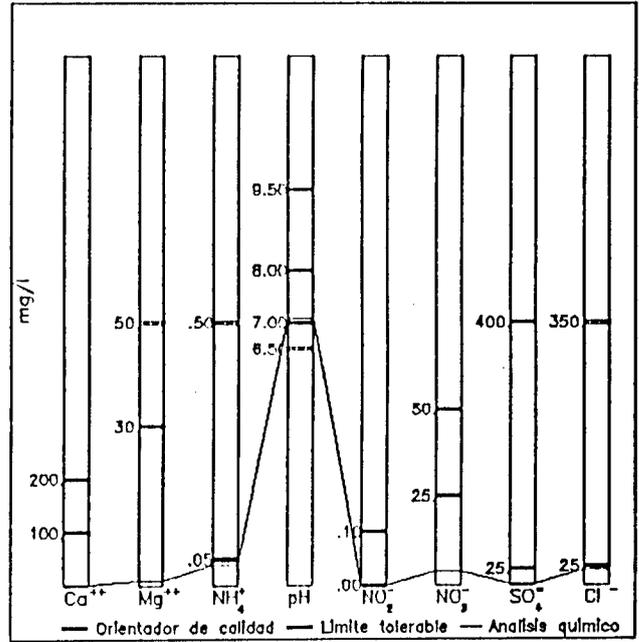
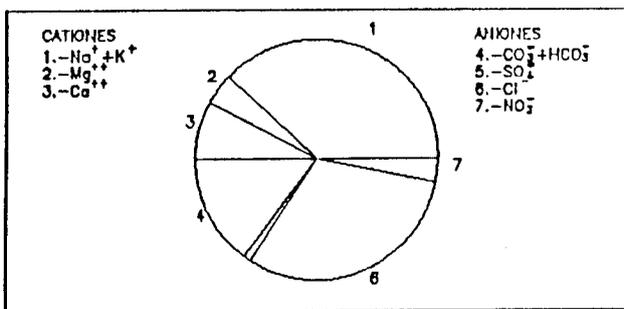
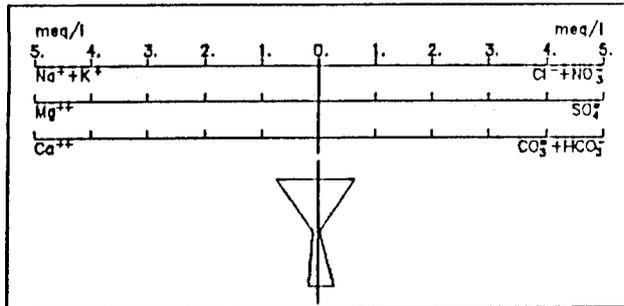
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	1.00	.02
Sodio	Na ⁺	16.00	.70	Cloruros	Cl ⁻	21.00	.59
Potasio	K ⁺	1.60	.04	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	3.00	.15	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	17.00	.28
Magnesio	Mg ⁺⁺	1.00	.08	Nitratos	NO ₃ ⁻	4.00	.06
Amonio	NH ₄ ⁺	.04	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	121.
Dureza (ppm CaCO ₂)	11.63
pH	7.08
Residuo seco calc. (ppm)	63.68
Error analitico (x)	1.62

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.85	Mg/Ca	.55
Cl/(Na+K)	.80	Na/Ca	4.64
Cl/SO ₄	28.47	Na/K	16.99
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	1.86	SO ₄ /Ca	.14
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	1.20	SO ₄ /(Ca+Mg)	.09



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 240 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 30-06-89

DENOMINACION : L3

FECHA DE ANALISIS : 25-07-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

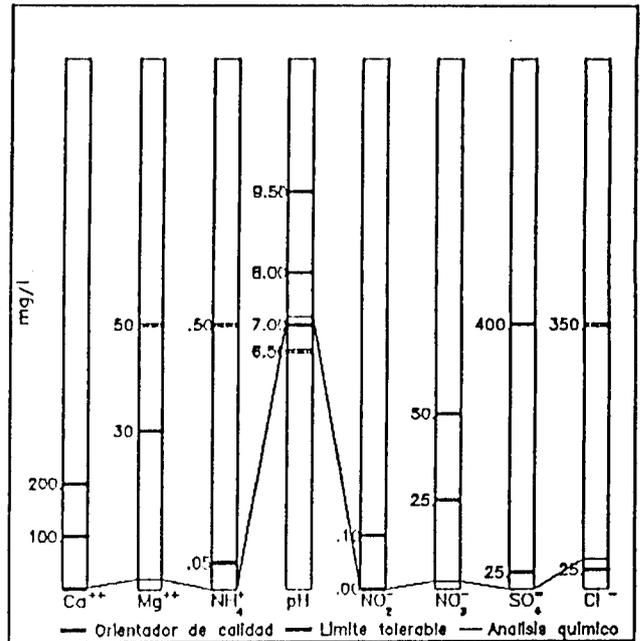
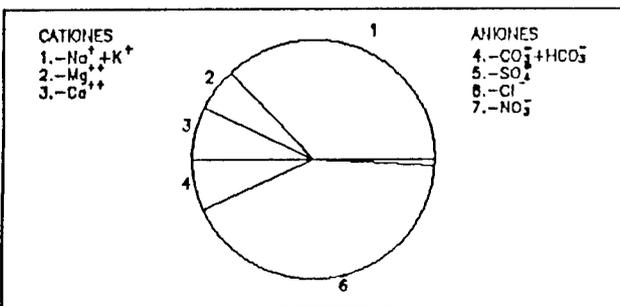
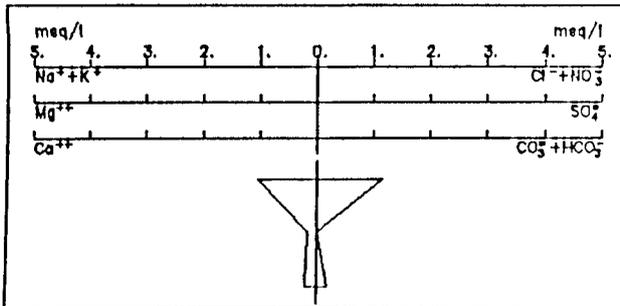
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	.00	.00
Sodio	Na ⁺	23.00	1.00	Cloruros	Cl ⁻	40.00	1.13
Potasio	K ⁺	1.60	.04	Carbonatos	CO ₃ ⁻	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	4.00	.20	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	11.00	.18
Magnesio	Mg ⁺⁺	2.00	.17	Nitratos	NO ₃ ⁻	2.00	.03
Amonio	NH ₄ ⁺	.00	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	154.
Dureza (ppm CaCO ₃)	18.26
pH	7.15
Residuo seco calc. (ppm)	81.05
Error analítico (%)	4.81

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.13	Mg/Ca	.83
Cl/(Na+K)	1.08	Na/Ca	5.00
Cl/SO ₄	*****	Na/K	24.43
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	.90	SO ₄ /Ca	.00
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.49	SO ₄ /(Ca+Mg)	.00



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 110 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 30-06-89

DENOMINACION : L4

FECHA DE ANALISIS : 25-07-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

HOJA DE ANALISIS

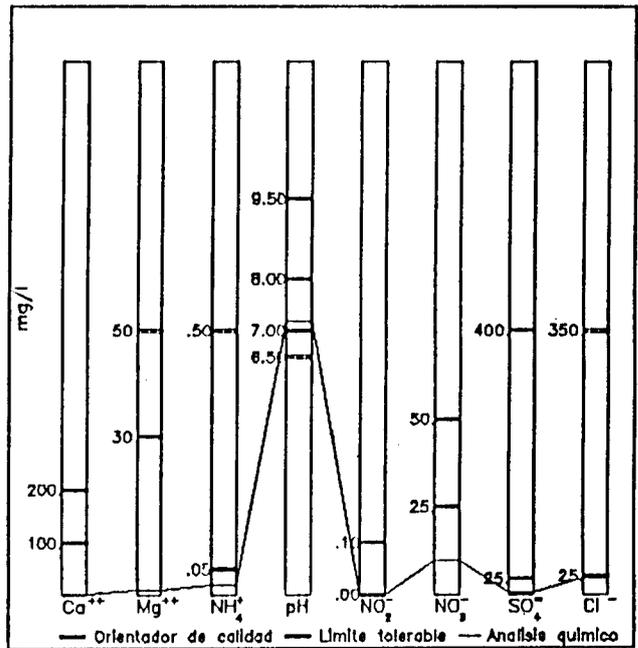
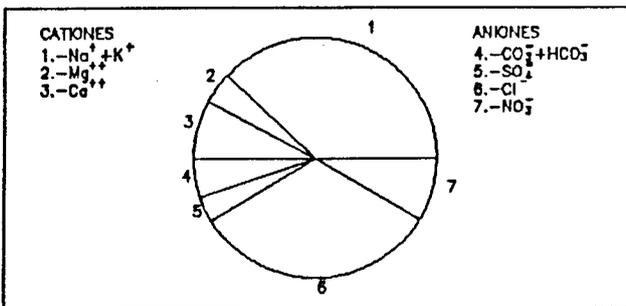
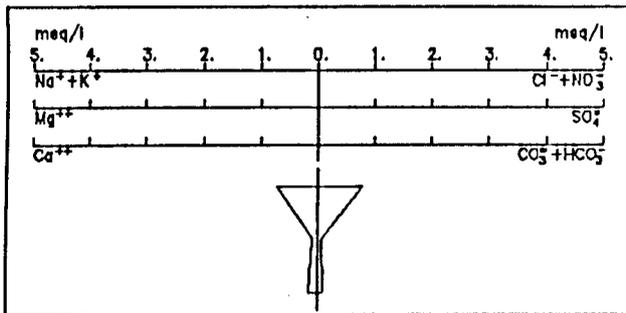
RESULTADOS ANALITICOS :

CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	3.00	.06
Sodio	Na ⁺	16.00	.70	Cloruros	Cl ⁻	22.00	.62
Potasio	K ⁺	1.20	.03	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	3.00	.15	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	6.00	.10
Magnesio	Mg ⁺⁺	1.00	.08	Nitratos	NO ₃ ⁻	10.00	.16
Amonio	NH ₄ ⁺	.02	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

RELACIONES IONICAS

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	122.	Cl/Na	.89	Mg/Ca	.55
Dureza (ppm CaCO ₃)	11.63	Cl/(Na+K)	.85	Na/Ca	4.64
pH	7.17	Cl/SO ₄	9.94	Na/K	22.66
Residuo seco calc. (ppm)	64.21	(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	.66	SO ₄ /Ca	.42
Error analítico (x)	1.92	(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.42	SO ₄ /(Ca+Mg)	.27



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 158 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.
 DENOMINACION : L-3

FECHA DE MUESTREO : 30-07-89
 FECHA DE ANALISIS : 18-10-89

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

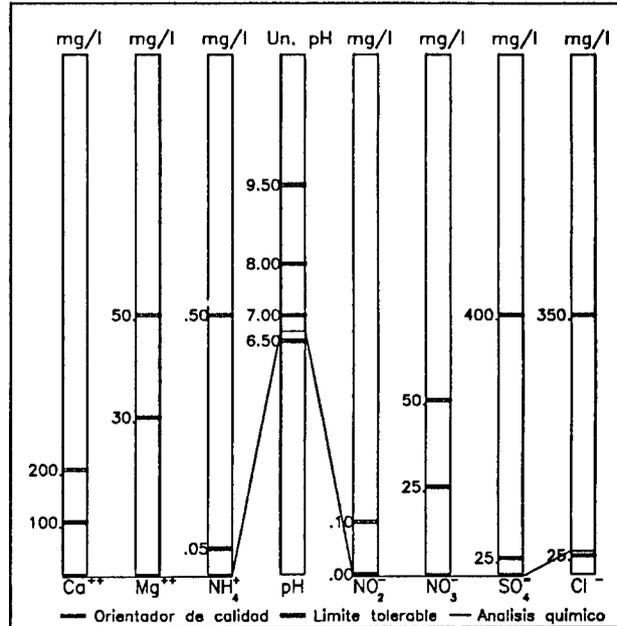
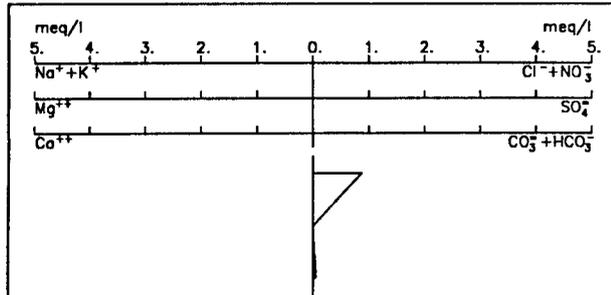
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	-----	-----	Sulfatos	SO ₄ ⁼	-----	-----
Sodio	Na ⁺	-----	-----	Cloruros	Cl ⁻	31.00	.87
Potasio	K ⁺	-----	-----	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	-----	-----	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	3.00	.05
Magnesio	Mg ⁺⁺	-----	-----	Nitratos	NO ₃ ⁻	-----	-----
Amonio	NH ₄ ⁺	-----	-----	Nitritos	NO ₂ ⁻	-----	-----

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	147.
Dureza calculada (ppm CaCO ₃)	-----
pH	6.69
Residuo seco calc. (ppm)	77.37
Error analítico (%)	-----

RELACIONES IONICAS :

Cl/Na	-----	Mg/Ca	-----
Cl/(Na+K)	-----	Na/Ca	-----
Cl/SO ₄	-----	Na/K	-----
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	-----	SO ₄ /Ca	-----
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	-----	SO ₄ /(Ca+Mg)	-----



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 50 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :
 PETICIONARIO : GE-AGUA, S.A.
 DENOMINACION : L-1

FECHA DE MUESTREO : 31-10-89
 FECHA DE ANALISIS : 23-11-89

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

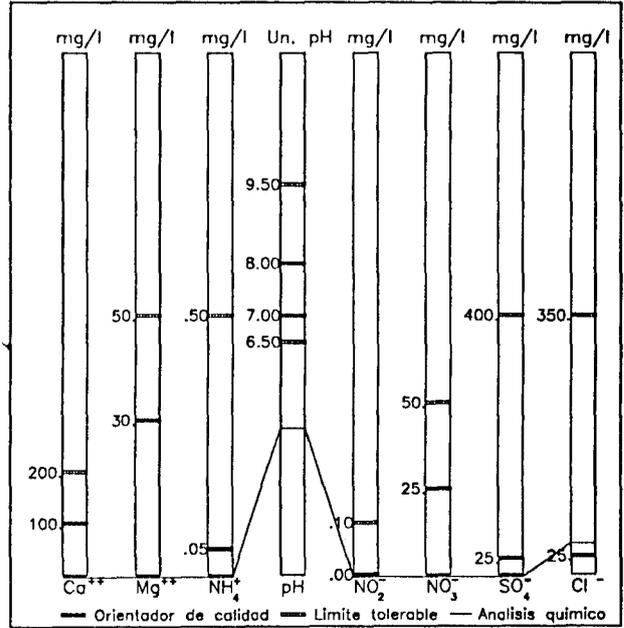
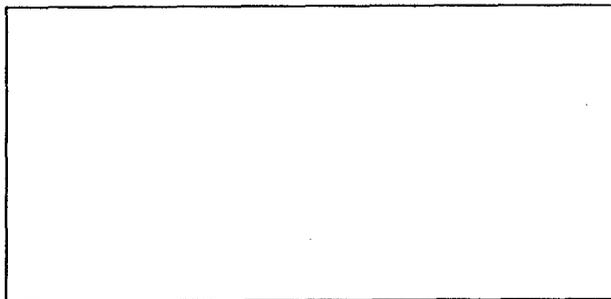
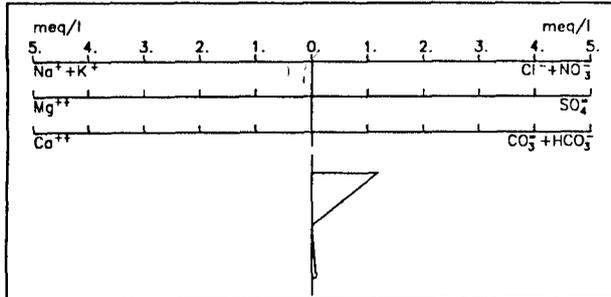
CATIONES		mg/l	meq/l	ANIONES		mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	-----	-----	Sulfatos	SO ₄ ⁼	-----	-----
Sodio	Na ⁺	-----	-----	Cloruros	Cl ⁻	42.00	1.18
Potasio	K ⁺	-----	-----	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	-----	-----	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	5.00	.08
Magnesio	Mg ⁺⁺	-----	-----	Nitratos	NO ₃ ⁻	-----	-----
Amonio	NH ₄ ⁺	-----	-----	Nitritos	NO ₂ ⁻	-----	-----

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm) 183.
 Dureza calculada (ppm CaCO₃) -----
 pH 4.84
 Residuo seco calc. (ppm) 96.32
 Error analitico (%) -----

RELACIONES IONICAS

Cl/Na ----- Mg/Ca -----
 Cl/(Na+K) ----- Na/Ca -----
 Cl/SO₄ ----- Na/K -----
 (CO₃+HCO₃)/Ca ----- SO₄/Ca -----
 (CO₃+HCO₃)/(Ca+Mg) ----- SO₄/(Ca+Mg) -----



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 52 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 31-10-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE ANALISIS : 23-11-89

DENOMINACION : L-4

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

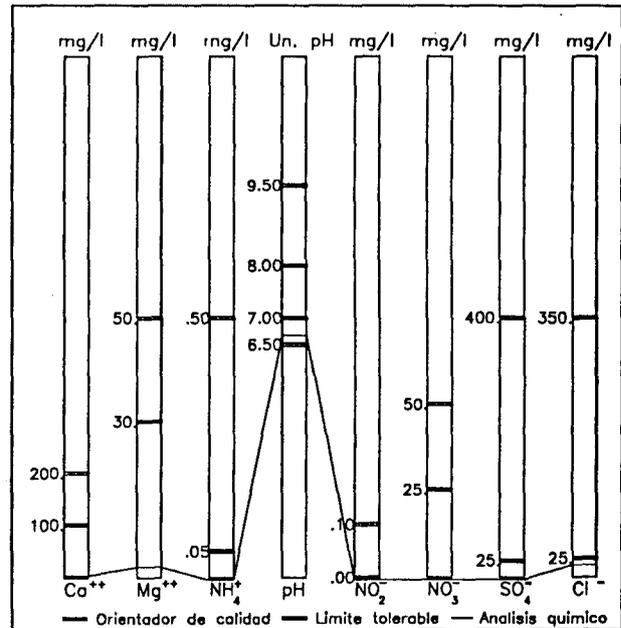
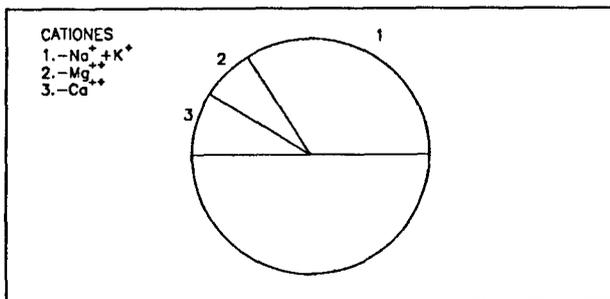
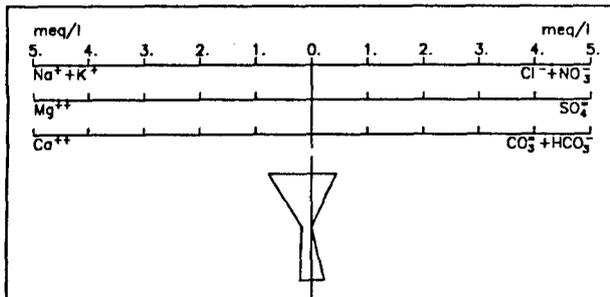
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	-----	-----
Sodio	Na ⁺	17.00	.74	Cloruros	Cl ⁻	16.00	.45
Potasio	K ⁺	1.50	.04	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	4.00	.20	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	14.00	.23
Magnesio	Mg ⁺⁺	2.00	.17	Nitratos	NO ₃ ⁻	-----	-----
Amonio	NH ₄ ⁺	-----	-----	Nitritos	NO ₂ ⁻	-----	-----

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	135.
Dureza calculada (ppm CaCO ₃)	18.26
pH	6.67
Residuo seco calc. (ppm)	71.05
Error analítico (%)	-----

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.61	Mg/Ca	.83
Cl/(Na+K)	.58	Na/Ca	3.70
Cl/SO ₄	-----	Na/K	19.26
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	1.15	SO ₄ /Ca	-----
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.63	SO ₄ /(Ca+Mg)	-----



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 64 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 15-11-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE ANALISIS : 14-12-89

DENOMINACION : L-4

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

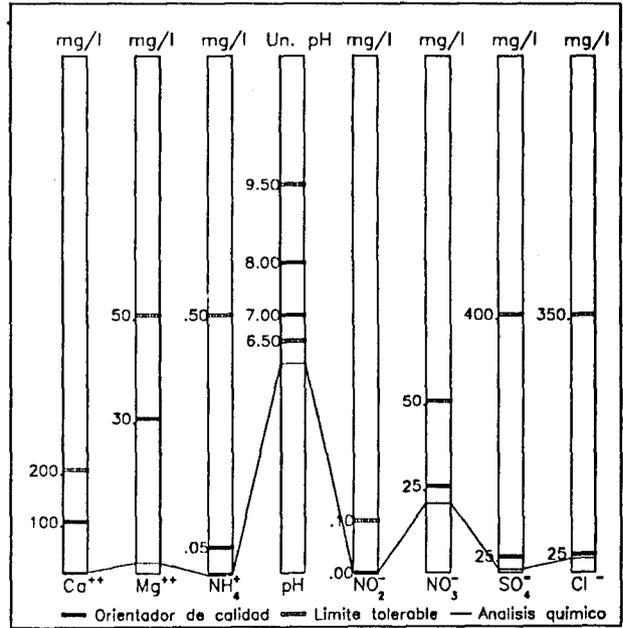
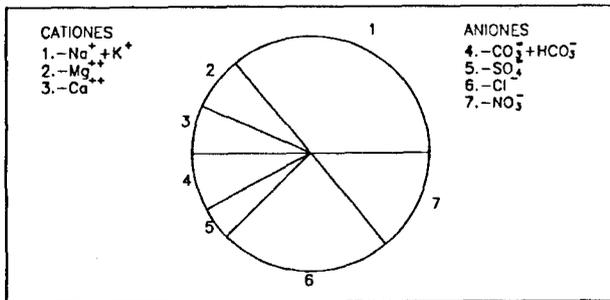
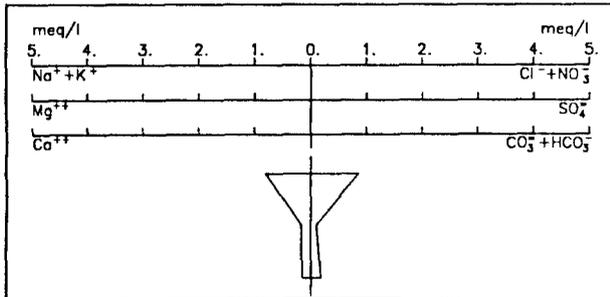
CATIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	5.00	.10
Sodio	Na ⁺	18.00	.78	Cloruros	Cl ⁻	19.00	.54
Potasio	K ⁺	1.00	.03	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	3.00	.15	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	11.00	.18
Magnesio	Mg ⁺⁺	2.00	.17	Nitratos	NO ₃ ⁻	20.00	.32
Amonio	NH ₄ ⁺	-----	-----	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm)	135.
Dureza calculada (ppm CaCO ₃)	15.76
pH	6.07
Residuo seco calc. (ppm)	71.05
Error analítico (‰)	1.62

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	.68	Mg/Ca	1.10
Cl/(Na+K)	.66	Na/Ca	5.22
Cl/SO ₄	5.15	Na/K	30.59
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	1.20	SO ₄ /Ca	.69
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.57	SO ₄ /(Ca+Mg)	.33



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 135 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :
 PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.
 DENOMINACION : L-1

FECHA DE MUESTREO : 30-11-89
 FECHA DE ANALISIS : 14-12-89

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

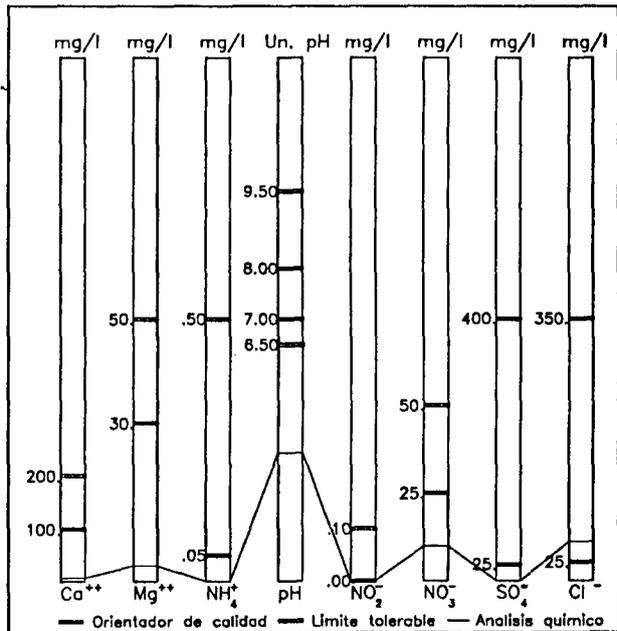
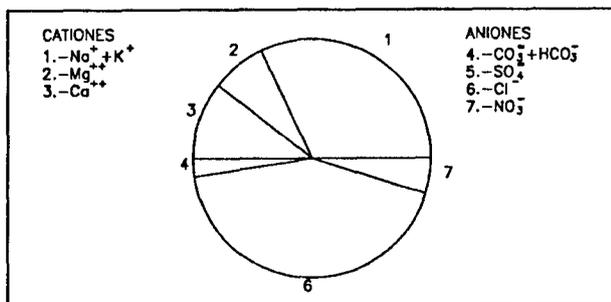
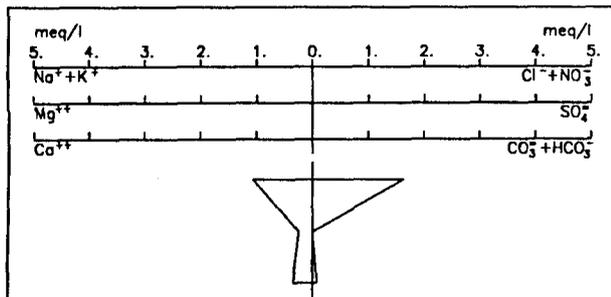
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l		mg/l	meq/l	
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁼	.00	.00
Sodio	Na ⁺	24.00	1.04	Cloruros	Cl ⁻	52.00	1.47
Potasio	K ⁺	1.00	.03	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	7.00	.35	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	5.00	.08
Magnesio	Mg ⁺⁺	3.00	.25	Nitratos	NO ₃ ⁻	10.00	.16
Amonio	NH ₄ ⁺	.00	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (µS/cm) 219.
 Dureza calculada (ppm CaCO₃) 29.89
 pH 4.42
 Residuo seco calc. (ppm) 115.26
 Error analítico (%) 2.49

RELACIONES IONICAS

Cl/Na 1.40 Mg/Ca .71
 Cl/(Na+K) 1.37 Na/Ca 2.98
 Cl/SO₄ ***** Na/K 40.78
 (CO₃+HCO₃)/Ca .23 SO₄/Ca .00
 (CO₃+HCO₃)/(Ca+Mg) .14 SO₄/(Ca+Mg) .00



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 500 cc

GEOMECANICA Y AGUAS, S.A.

ANALISIS N° :

FECHA DE MUESTREO : 30-11-89

PETICIONARIO : GEO-AGUA, S.A.

FECHA DE ANALISIS : 14-12-89

DENOMINACION : L-3

HOJA DE ANALISIS

RESULTADOS ANALITICOS :

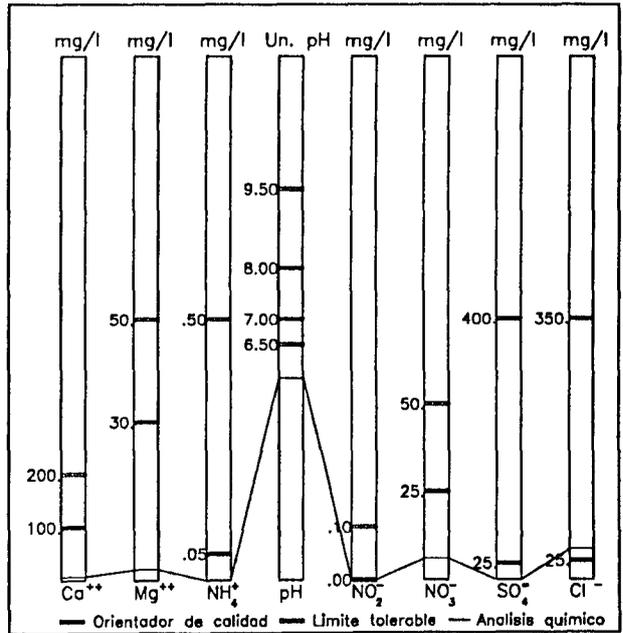
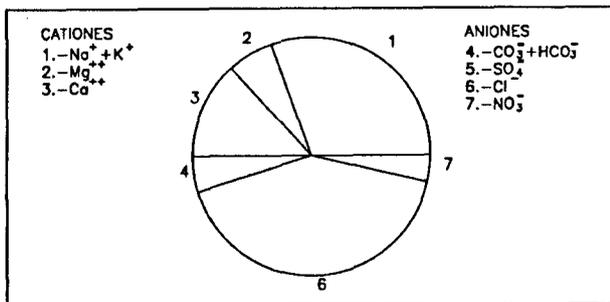
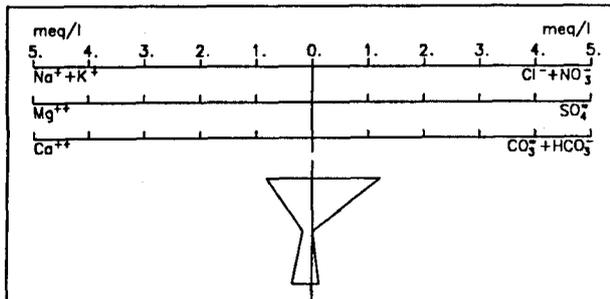
CACIONES				ANIONES			
		mg/l	meq/l			mg/l	meq/l
Litio	Li ⁺	.00	.00	Sulfatos	SO ₄ ⁻	.00	.00
Sodio	Na ⁺	18.00	.78	Cloruros	Cl ⁻	40.00	1.13
Potasio	K ⁺	1.10	.03	Carbonatos	CO ₃ ⁼	.00	.00
Calcio	Ca ⁺⁺	7.00	.35	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	8.00	.13
Magnesio	Mg ⁺⁺	2.00	.17	Nitratos	NO ₃ ⁻	6.00	.10
Amonio	NH ₄ ⁺	.00	.00	Nitritos	NO ₂ ⁻	.00	.00

ANALISIS FISICOS :

Conductividad a 25 °C (μS/cm)	168.
Dureza calculada (ppm CaCO ₃)	25.76
pH	5.84
Residuo seco calc. (ppm)	88.42
Error analítico (%)	2.20

RELACIONES IONICAS

Cl/Na	1.44	Mg/Ca	.47
Cl/(Na+K)	1.39	Na/Ca	2.24
Cl/SO ₄	*****	Na/K	27.81
(CO ₃ +HCO ₃)/Ca	.37	SO ₄ /Ca	.00
(CO ₃ +HCO ₃)/(Ca+Mg)	.25	SO ₄ /(Ca+Mg)	.00



OTRAS DETERMINACIONES :

Volumen = 500 cc

