

# IICA



**CARACTERIZACION DEL RECURSO HIDRICO  
SUBTERRANEO CON MIRAS AL RIEGO  
COMPLEMENTARIO EN LA REGION NNE  
-MAICERA TIPICA-  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**Dr. Jorge N. Santa Cruz**



PROYECTO DE COOPERACION PARA LA MODERNIZACION DEL SECTOR AGROPECUARIO

CONVENIO

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

ARGENTINA  
15  
8

DOCUMENTO DE TRABAJO N°

15

IICA - OFICINA EN ARGENTINA



# IICA



**CARACTERIZACION DEL RECURSO HIDRICO  
SUBTERRANEO CON MIRAS AL RIEGO  
COMPLEMENTARIO EN LA REGION NNE  
-MAICERA TIPICA-  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**Dr. Jorge N. Santa Cruz**

**PROYECTO DE COOPERACION PARA LA MODERNIZACION DEL SECTOR AGROPECUARIO**

CONVENIO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA



ZICA  
ARGENTINA  
DT-15  
1988

## PROLOGO

La presente publicación forma parte de una serie de Documentos de Trabajo elaborados en el marco del Proyecto de "Cooperación para la Modernización del Sector Agropecuario Argentino", ejecutado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) con la asistencia técnica del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Este proyecto de cooperación, cuyo financiamiento fue previsto en el componente de asistencia técnica del Primer Préstamo Sectorial otorgado por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) a la Argentina, tuvo como objetivo concreto desarrollar un análisis sistemático sobre algunos temas prioritarios para el desempeño futuro del sector agropecuario argentino.

Durante su ejecución, el esfuerzo analítico se concentró en cinco áreas de reflexión.

1. Estudio sobre política de producción, transporte, almacenamiento y embarque de granos.
2. Estudio sobre la comercialización de granos y el rol de la Junta Nacional de Granos
3. Estudio sobre la factibilidad técnica, económica y financiera del riego suplementario en la región maicera típica.
4. Estudio sobre las perspectivas del desarrollo ganadero argentino y el rol de la Junta Nacional de Carnes.
5. Estudio sobre la promoción de exportaciones frutihortícolas argentinas.

Frente a la grave crisis que afecta al mercado mundial de productos agrícolas, el Gobierno Argentino considera que es imperioso formular e implementar políticas y reformas institucionales tendientes a eliminar las ineficiencias estructurales que hoy caracterizan el proceso de producción y comercialización interna y externa de sus principales productos agropecuarios.

Con este propósito, a partir de los estudios correspondientes a cada una de las áreas de reflexión arriba mencionadas, se elaboraron propuestas alternativas de política y programas de inversión relativos a los principales aspectos que hoy obstaculizan y encarecen la producción, comercialización interna y exportación de cereales, oleaginosas, carnes y productos frutihortícolas así como propuestas de reforma institucional tendientes a hacer más eficiente la gestión del Sector Público Agropecuario.

La producción agropecuaria pampeana ha incorporado innovaciones tecnológicas en maquinaria agrícola, semillas mejoradas, plaguicidas y fertilizantes. Pese a ello, la productividad de los cultivos de verano en la región maicera típica encuentra un techo que está determinado por la existencia de un riesgo productivo adicional debido a la escasez de lluvias en épocas críticas del ciclo productivo.

La introducción del riego complementario en dicha zona representaría una nueva etapa que permitiría expresar la potencialidad del paquete tecnológico disponible.

La presente publicación sintetiza el análisis de uno de los componentes del estudio de factibilidad técnica, económica y financiera del riego complementario del maíz en la zona NNE de la Provincia de Buenos Aires.

Buenos Aires, Junio de 1988.

Eduardo V. Manciana  
Subsecretario de  
Economía Agraria

Carlos L. Garramón  
Representante del IICA  
Argentina



**EQUIPO DE COORDINACION DEL PROYECTO DE  
"COOPERACION PARA LA MODERNIZACION DEL SECTOR  
AGROPECUARIO ARGENTINO"**

**Coordinador General del Proyecto**

ALDO LUIS BIONDOLILLO

**Coordinadores por componentes**

**ESTUDIO SOBRE POLITICA DE PRODUCCION DE GRANOS, INFRAESTRUCTURA DE  
TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y EMBARQUE DE GRANOS**

Edith Scheinkerman de Obschatko

Carmen Polo

**ESTUDIO SOBRE LA COMERCIALIZACION DE GRANOS Y ROL DE LA  
JUNTA NACIONAL DE GRANOS**

Patricio Lamarca

Oscar Osziak

**ESTUDIO SOBRE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA Y FINANCIERA DEL RIEGO  
COMPLEMENTARIO DE LA REGION MAICERA TIPICA**

Francisco Leiva

**ESTUDIO SOBRE DESARROLLO GANADERO ARGENTINO Y ROL DE LA  
JUNTA NACIONAL DE CARNES**

Roberto Vázquez Platero

**ESTUDIO SOBRE PROMOCION DE EXPORTACIONES FRUTIHORTICOLAS ARGENTINAS**

Claudio Sabsay

**Asistente de Coordinación General**

Alejandro Reca

**Secretarias**

Susana Carmona

Yolanda Colar de Dyment

**Servicios reprográficos**

Jorge León

Héctor Perlino







# CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	
INTRODUCCION	3
I. HIDROMETEOROLOGIA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL	3
A. Generalidades	3
B. Variables hidrometeorológicas y balances	4
1. Precipitaciones	4
2. Evaporación y evapotranspiración	4
3. Balances e infiltración	5
II. HIDROGEOLOGIA	7
A. Geología	7
1. Características geológicas y estratigráficas de interés hidrogeológico	7
2. Comportamiento hidrogeológico general de las unidades	8
B. Agua subterránea	8
1. Introducción y metodología de trabajo	8
2. Acuífero libre o freático	8
3. Acuíferos más profundos del pampeano	13
4. Acuífero Puelches	18
5. Perforaciones	18
III. HIDROQUIMICA	20
A. Introducción y metodología de trabajo	20
1. Caracterización química	20
2. Variaciones areales	
B. Hidroquímica de los acuíferos más profundos del Pampeano	21
1. Análisis de los antecedentes	21
2. Caracterización hidroquímica orientada al riego	21
3. Variaciones areales	22
4. Diagramas hidroquímicos y clasificaciones	22
C. Características químicas del agua superficial	24
D. Relaciones hidroquímicas entre acuíferos	24
IV. RESERVAS Y PAUTAS DE EXPLOTACION	25
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFIA	29
AGRADECIMIENTOS	31
FIGURAS	33



## **AGRADECIMIENTOS**

*Se desea dejar constancia de la meritoria y ardua labor desarrollada por la Dr. María C. Pagano y su equipo técnico del Laboratorio Regional de Bromatología e Hidrología de la Municipalidad de Junín, en apoyo hidroquímico a este estudio.*

*Se agradece también al Ing. Carlos Pecorari del INTA-EEA Pergamino por el apoyo brindado y la complementación del muestreo y mediciones de campo, facilitando en todo momento el estudio encomendado con la máxima responsabilidad.*



## INTRODUCCION

La evaluación de la cantidad y calidad del agua subterránea disponible para su uso en un proyecto de desarrollo dado, es, en la República Argentina, y en la mayoría de los casos, uno de los factores menos estudiados. Ello no es casual, ya que concurren una serie de circunstancias culturales y económico-financieras que han influido en las condiciones de rezago en que en muchas zonas del país se encuentra el conocimiento del recurso hídrico subterráneo.

Tal ha sido el caso del área NNE de la provincia de Buenos Aires, seleccionada para su estudio de factibilidad de riego complementario del maíz, y que abarca aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>.

Las dudas de la factibilidad de explotación extensiva del agua subterránea con ese fin eran profundas, ya que sólo había antecedentes puntuales de explotaciones para abastecimiento a poblaciones, en algunos casos con resultados disímiles, y evaluaciones globales dentro de la gran región pampeana apoyadas en datos básicos estimativos. Por otro lado, además, se desconocían las relaciones entre acuíferos y el ciclo hidrológico y las características del movimiento del agua subterránea y su dinámica. Un aspecto también poco conocido a nivel areal era el de hidroquímica.

Se sumaba también a todo esto un cierto desconocimiento de las características constructivas y de terminación de las perforaciones de la zona, hecho que adquiere suma importancia también en el riego mecanizado de la misma manera que las captaciones destinadas al consumo poblacional. A ello contribuye la dispersión y pérdida de la información en muchos organismos estatales.

Una perforación para riego es una obra en sí misma, y su inversión puede realizarse en base a un horizonte extenso de planeamiento, ya que es posible tecnológicamente contemplar, en forma ajustada, su rendimiento y vida útil, dentro del marco de conocimientos hidrogeológicos que se posea del acuífero a explotar.

Todo ello, determinó la faz hidrogeológica o de evaluación de las condiciones del agua subterránea del Proyecto, adecuadas al rango de factibilidad y aplicando las técnicas modernas más convenientes para lograr resultados rápidos y factibles de ser extrapolados a toda el área en estudio, teniendo como soporte un sólido diagnóstico geológico e hidrogeológico regional.

### I. HIDROMETEOROLOGIA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

#### A. Generalidades geográficas y climáticas.

El núcleo del área maicera típica de la provincia de Buenos Aires se encuentra al NNE y N de la misma, abarcando, dentro de la llanura, parte de la denominada "Pampa Ondulada".

El área específica de la evaluación hidrogeológica comprende unos 10.000 km<sup>2</sup> (Figura 1), abarcando los partidos de Pergamino, Colón, Arrecifes, Salto, Rojas, Junín, Chacabuco y General Arenales. Comprende un área entre los 33° - 40° ; y 34° -35° de latitud sur y los 60° 5' y 61o 5' de longitud oeste aproximadamente.

Hidrológicamente se define una llanura como un relieve plano de baja pendiente (en el caso de la llanura Chaco-Pampeana de pendientes regionales de 1 por mil y menores), y que disminuye la velocidad de escurrimiento de las aguas. Ello determina un mayor tiempo de contacto del agua con el terreno, incrementándose las posibilidades de infiltración y evaporación principalmente.

La "Pampa Ondulada" incluye las cuencas de drenaje que desaguan hacia el Paraná y Río de la Plata. Los ríos y arroyos contienen cauces bien definidos y las redes de drenaje que están desarrolladas (Figura 2) presentan los valores más altos de la región en densidad de drenaje (0,16 km/km<sup>2</sup>, según Sala y otros, 1983), con diseño general dendrítico.

TABLA Nro. II.1  
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES  
1935-1964

Mes	L O C A L I D A D E S				
	Arrecifes	Colon	Pergamino	Rojas	Gral. Arenales
E	112	99	108	110	98
F	82	94	83	90	87
M	132	129	122	132	117
A	92	80	94	87	83
M	67	56	60	52	44
J	52	47	48	53	44
J	37	37	39	37	33
A	40	38	40	42	23
S	65	50	55	57	46
O	94	105	92	101	90
N	97	89	93	94	87
D	111	109	113	113	102
Tota	981	933	947	968	854

Fuente: S.M.N.

Estas características son las responsables directas del aspecto ondulado del paisaje, rasgo más visible cuando se cruza la región de NO a SE atravesando los sectores fluviales e interfluviales claramente definidos.

La zona en estudio se encuentra entre los 50 y 90 m sobre el nivel del mar aproximadamente. El clima, de acuerdo a la clasificación de KOPPEN (1918), corresponde a templado y húmedo, con época más seca en invierno, aunque las lluvias están desplazadas hacia el otoño. La temperatura media del mes más cálido es superior a 22° C. El invierno es frío, con temperatura media del mes más frío, inferior a 10° C. La temperatura media anual es de 15,9° C en Pergamino.

## B. Variables hidrometeorológicas y balances.

### 1. Precipitaciones

La precipitación media anual para Pergamino (período 1921-50) es de 944 mm, con una precipitación máxima mensual de 446 mm y mínima de 0 mm.

Para el mismo período, se registra un promedio de 66 días al año con lluvias de 0,3 a 10 mm, 28 días con lluvias de 10 a 50 mm y 3 días con valores de más de 50 mm.

Dentro también de este mismo período, la estación más seca fue el Invierno (9 mm sobre un total de 697 mm anuales, y la estación más húmeda fue la del verano, con un total de 708 mm, sobre los 1.297 mm anuales, tomando como referencia el año más seco y el más húmedo respectivamente.

El análisis de las precipitaciones medias mensuales de estaciones del SMN, período 1935-1964, que se registran en los antecedentes para varias localidades de la zona en estudio indican que:

(Tabla Nro. II.1) hay una disminución de las precipitaciones hacia el Oeste. El mes más lluvioso es marzo, siguiéndole diciembre y enero. El mes con menos precipitaciones es generalmente julio.

También para ese mismo período las mayores precipitaciones anuales registradas superan a la media en un 35% a 48%, mientras que las mínimas son inferiores en un 28% a 50%. En general las precipitaciones máximas duplican con cierto margen a las precipitaciones mínimas anuales.

### Evaporación y evapotranspiración.

La evaporación media en tanques del SMN para un período comprendido entre 1921-1950 da un valor (promedio diario) de 3,2 mm, siendo mucho más intensa en el verano (alrededor de 5 mm de promedio diario) que en el invierno (de 1 a 2 mm).

La evapotranspiración real media mensual oscila entre 30 mm y 105 mm, en tanto que la evapotranspiración anual media es de 811 mm.

### 3. Balances e infiltración.

Los excesos medios de humedad van desde 10 mm a 30 mm en el año, en tanto que los déficits medios oscilan entre 2 mm y 30 mm.

La frecuencia relativa de excesos es de un 20% a 50%, en tanto que la frecuencia relativa de déficits oscila entre el 30% y el 80%.

El exceso anual medio de agua disminuye marcadamente hacia el Oeste y Sudoeste.

A título indicativo se presenta un balance hídrico de Pergamino período 1935/36 a 1963/64 (Tabla No II.2) obrante como antecedente en la D.P.H. de Buenos Aires.

TABLA Nro. 11.2  
BALANCE HIDRICO - PERGAMINO  
(1935/36 - 1963/64)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANO
ppt	108	83	122	44	60	48	37	40	55	92	93	113	895
ET Poten	133	108	88	53	35	21	21	19	41	64	91	120	794
ET Real													
Reserva													
100 mm	68	43	77	100	100	100	100	100	100	100			
Excedentes				18	25	27	16	21	14	28	2		151
Deficiencias													
variacion													
de agua													
en el suelo	25	25	34	23									

Fuente: S.M.N.

La evapotranspiración potencial fue determinada por el método de Thornthwait. Se observa que la precipitación anual supera a la evapotranspiración potencial. Si bien, para una reserva de agua útil de 100mm en ningún mes del año se produce déficit, la información proporcionada por los balances hídricos seriados indican que en algunos años se producen deficiencias de agua para épocas críticas en la actividad agrícola (maíz y soja).

Con miras a semicuantificar parámetros hidrológicos para las evaluaciones hidrogeológicas del estudio, se presentan balances indicativos recopilados para varias localidades y determinando los posibles porcentajes de infiltración a saber:

**-Rafael Obligado (Rojas) - Períodos 1921 a 1950**

Precipitación media anual	969 mm
Evapotranspiración (Método de Turc):	681 mm
Evapotranspiración (método de Thorntwaite):	814 mm
<b>Escurrimiento:</b>	12% de la precipitación anual
<b>Infiltración:</b>	
(por valores Turc): 172 mm:	18% lluvias anuales.
(por valor Thornt.) 39 mm:	4% lluvias anuales.

**-Coronel Mon (Alberti)**

Precipitación media anual:	924 mm
Evapotranspiración (Turc):	675 mm
Evapotranspiración (Thornt.):	764 mm
<b>Infiltración:</b>	
(por valores Turc):	22% lluvias anuales.
por valores Thornt.):	12,3 lluvias anuales.

**-Area de Arroyo del Medio (Estaciones: Rosario, Pergamino, Casilda)**

Registros de 30 años.	
Precipitación media anual:	950 mm
Evapotranspiración (Método de Turc):	676 mm
Evapotranspiración (Método de Thorntwaite):	817 mm
<b>Infiltración:</b>	
(por valores Turc):	17% lluvias anuales.
(por valor Thornt.):	2% lluvias anuales.
<b>Escurrimiento:</b>	
114 mm (corresponde a un coeficiente de 0,12).	

**-Pergamino (1935-1964)**

Precipitación:	945 mm
Evapotranspiración (Método de Thorntwaite):	794 mm
Excedentes:	151 mm
<b>Escurrimiento:(coeficiente escurr. 0,12).</b>	113 mm
<b>Infiltración:</b>	38 mm: 4% de las lluvias anuales.



Por lo tanto podemos considerar para el área de estudio, en principio que la infiltración se encontraría entre el 5,6% y el 19% de los valores anuales medios de las precipitaciones.

Otra información de importancia para la evaluación de la infiltración es la granulometría de los suelos y sus constantes hídricas. Para ello se reproducen algunos de los datos suministrados por el Ing. Pecorari del INTA Pergamino.

SERIE	JUNIN ROJAS PERGAMINO RAMALLO			
Prof.cm	24-67	45-73	38-70	35-90
Arcilla %	21.1	37.2	48.7	54.6
Limo fino %	7.9	19.7	20.4	21.6
Limo grueso %	17.8	23.4	24.1	19.8
Arena 50-100 mic.	43.1	17.7	4.0	3.4
Arena 100-250	10.1	2.0	2.8	0.3
Capac.Campo % (*)	22.0	27.0	34.0	39.9
Punto March.P.(*)	10.0	16.0	19.0	22.0
Limite Liq.	27.8	47.7	56.0	73.7
Lim.Plástico	26.7	22.6	26.2	26.9

(\*) Datos de laboratorio

## II. HIDROGEOLOGIA

### A. Geología.

#### 1. Características geológicas y estratigráficas de interés hidrogeológico.

La geología de la región en estudio se puede resumir en las siguientes características generales:

- i. Uniformidad en la geología superficial, sólo alterada en algunos cortes de ríos y arroyos donde afloran partes distintas de la secuencia estratigráfica. Hay un neto predominio de los sedimentos finos (limos algo arcillosos y arenosos) que se extienden cubriendo casi toda la región en estudio.
- ii. Falta de deformaciones tectónicas en el área.

La sucesión estratigráfica de interés hidrogeológico de la zona en estudio, y considerando el subsuelo, sólo accesible por medio de perforaciones, es la siguiente:

#### i. Terciario

##### Formación Paraná o "Mioceno verde".

Es una secuencia marina de arcilitas, arenas arcillosas y arenas con grava, de colores verdes y azulados, con niveles calcáreos y yesíferos. En nuestra zona se halla a profundidades que varían entre los 75 y 135 m bajo el nivel del terreno, profundizándose suavemente de Este a Oeste y también al S.O.

#### ii. Cuartario

##### Formación Puelches o "Arenas Puelches).

Está integrada por arenas cuarzosas, medianas y finas, de color amarillento a blanquecino. Está apoyada sobre la Formación Paraná (arcillas verdes) presentando espesores que oscilan entre los 10 m y 25 m. Se halla a profundidades, con respecto al nivel del terreno, que varían entre los 50 y 100 m aproximadamente. Su techo limita con el Pampeano.

##### Sedimentos Pampeanos

Integrados por limos con fracciones subordinadas de arena y arcilla, colores castaño amarillento y castaño rojizo. Son frecuentes las intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o bancos continuos (tosca) y las facies con predominio de arena fina a muy fina con fracciones subordinadas de limo y arcilla a distintas profundidades. Tiene estabilidad en paredes verticales. Presenta espesores de hasta 100 m aproximadamente llegando a aflorar en toda la zona de estudio. Se lo puede dividir en un miembro inferior (equivalente al "Ensenadense") y un miembro superior (equivalente al "Bonaerense") de la clásica literatura geológica argentina. También se suele denominar a estos materiales con el nombre genérico de loess.

## **Sedimentos post Pampeanos**

Se pueden encontrar en los cauces y depresiones, integrados por sedimentos generalmente finos de colores grisáceos y verdosos. También hay depósitos de origen eólico compuestos por arenas muy finas, bien seleccionadas, que afloran al SSO de nuestra área (área de Junín).

### **2. Comportamiento hidrogeológico general de las unidades**

Actualmente se reconocen las siguientes secciones hidrogeológicas de subsuelo:

- i. Paranaiana:** Se corresponde con los depósitos marinos antiguos de la Formación Paraná (Mioceno). El agua subterránea alojada en los acuíferos del mismo presentan tenores salinos de 10 á 30 gr/l.
- ii. Epiparanaiana:** Componen esta sección la Formación Puelches (Terciario Superior - Cuartario) y los sedimentos del Pampeano (Cuartario) y Postpampeano. Las arenas Puelches conforman un acuífero tipo semiconfinado, con tenores salinos menores de 2 gr/l en varios de los lugares estudiados, y también menores de 1 gr/l. En otros lugares de la provincia este acuífero está en partes sobreexplotado.

El Pampeano contiene al acuífero freático o libre y también a otros a mayor profundidad, con carácter de semiconfinados o semilibres.

Puede agruparse al conjunto de acuíferos de la sección epiparanaiana como un acuífero múltiple o multunitario.

### **B. AGUA SUBTERRANEA**

#### **1. Introducción y metodología de trabajo.**

La hidrología subterránea o hidrogeología atiende el estudio de las formaciones geológicas que pue-

den proporcionar agua en cantidades suficientes a las necesidades.

Se denomina acuífero al estrato o formación geológica por donde circula agua subterránea que se pueda aprovechar económicamente. La misma ocupa poros o grietas de la formación.

Por el contrario, un acuícludo es una formación que, si bien contiene agua, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación (por ejemplo el caso de los materiales muy arcillosos). Los acuitardos son aquellos estratos que si bien contienen apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente y pueden recargar a los acuíferos verticalmente. Por último los acuífugos no contienen ni transmiten agua.

#### **Tipos de acuíferos:**

De acuerdo a la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, se denominan:

- i. Acuíferos libres o freáticos** a aquellos en los cuales existe una superficie libre de agua que está en contacto directo con el aire, y por lo tanto, a presión atmosférica. Al perforarse, los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real ("water table").
- ii. Acuíferos confinados o cautivos** son aquellos que tienen el agua sometida a una cierta presión superior a la atmosférica. Al perforarse, se observa un ascenso del nivel del agua. Los niveles se denominan "niveles piezométricos".
- iii. Acuíferos semiconfinados (leaky aquifers),** son un caso particular donde al límite superior y/o inferior de la formación acuífera no son totalmente impermeables sino que están limitados por acuitardos.
- iv. Acuíferos semilibres** son acuíferos intermedios entre el típico semiconfinado y el libre. La permeabilidad del acuitardo es relativamente considerable. Algunos autores lo denominan acuíferos libres con drenaje diferido.

- v. **Acuíferos libres con rendimiento retardado** son una variedad de acuíferos libres donde el drenaje por gravedad en los poros no es instantáneo; por lo tanto el agua queda libre cuando pasa un cierto tiempo después del descenso del nivel piezométrico.

La problemática de nuestra área en estudio nos indicó la necesidad de definir más precisamente las características de los acuíferos en sí, sus relaciones, recarga, comportamiento e influencias que el hombre puede provocar en los mismos.

### **Metodología de trabajo**

Se partió de antecedentes obrantes en el Servicio Nacional de Agua Potable (SNAP) de la Secretaría de Recursos Hídricos, en la Dirección Provincial de Hidráulica de Buenos Aires, Dirección Provincial de Minería, Geología y Aguas Subterráneas, en la ex Dirección de Obras Sanitarias de la provincia de Buenos Aires, en el Comando de Ingenieros del Ejército Argentino, Compañía de Ingenieros de Agua 601, en el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y en el INTA. También se recabó información verbal de perforistas de la zona.

Con esta información recopilada, y seleccionada de acuerdo a su representatividad y ubicación principalmente, se planificó la obtención de datos propios en campaña. Los mismos consistieron en la ejecución de una red freaticométrica para observaciones periódicas, perforaciones y piezómetros, ensayos por bombeo, geofísica, muestreo de agua subterránea y determinaciones químicas.

## **2. Acuífero libre o freático**

### **a) Introducción**

La importancia de la consideración y estudio especial del acuífero libre o freático, radica no en su explotación directa como fuente de agua subterránea, sino en las implicancias que tiene el mismo en los acuíferos más profundos por su conexión hidráulica, y en

su relación con el ciclo hidrológico. Además, en cualquier estudio de factibilidad de riego, la profundidad y dinámica del nivel freático es un elemento a considerar con suma atención por los efectos perjudiciales que pueda llegar a producir ante un inapropiado manejo, por ejemplo.

### **b) Red de medición freaticométrica**

Los antecedentes recopilados nos indican que los niveles piezométricos de la zona de estudios se hallan a diversas profundidades, que oscilan entre una mínima (con respecto al nivel del terreno) de 1,20 m en algunas localidades, a un máximo de 13 m en otras. Esta amplia dispersión de valores, y las características geológicas y morfológicas del área nos marcaron las pautas para planificar la ubicación y densidad de los piezómetros que constituirían la red de medición periódica del nivel freático. La misma está integrada por 84 freaticómetros, construidos mediante un convenio con el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH).

Visto la superficie del área de estudios quedó una cobertura, en promedio, de un freaticómetro cada 120 km<sup>2</sup>. Las cotas de cada pozo fueron calculadas directamente de las cartas del IGM escala 1:100.000 y 1:50.000. La base planimétrica fue construida en base a las cartas del IGM escala 1:500.000. Las perforaciones se realizaron con barreno helicoidal de tres pulgadas y media, hasta una profundidad de unos seis metros por debajo del nivel freático hallado en cada punto. En cada una se encamisó el metro superior con caño de P.V.C. de 3" y se construyó un brocal de hormigón, dejando cada pozo desarrollado y en condiciones de ser medido.

### **c) Superficie piezométrica y flujo subterráneo.**

Consideramos aquí al área o manto que se identifica como la superficie libre de las aguas subterráneas, o sea el límite superior de la zona de saturación.

En esta superficie las presiones piezométricas son decrecientes en el sentido del movimiento del agua subterránea, a consecuencia de las pérdidas de carga y adquieren distintas formas.

El primer paso para la determinación de la forma de la superficie piezométrica es, en base a los datos de niveles piezométricos, construir el plano de isoplezas mediante curvas que unen puntos de igual nivel piezométrico (líneas equipotenciales) referidos al nivel del mar. La Figura 3 muestra el plano construido con valores de agosto de 1987.

En primer lugar es posible observar que se trata del tipo radial de superficie piezométrica resultante, tanto convergente como divergente. Se manifiestan claramente las principales divisorias de agua subterránea que actúan como áreas de recarga y las áreas de descarga que coinciden con los valles actuales y hacia donde convergen las líneas de flujo subterráneo. La separación entre isoplezas es menor hacia las áreas de descarga en tanto que en el sector Sur y Occidental son más espaciadas. El perfil de Colón a Salto es parabólico.

Los gradientes hidráulicos oscilan entre 0,005 y 0,0005 principalmente.

#### d) Profundidad de la freática

Con respecto a la profundidad de los niveles freáticos por debajo del nivel del terreno se confeccionaron distintos mapas. En la Figura 4 se presenta el correspondiente a enero - febrero de 1987, determinando áreas con profundidades mayores y menores de 5 m de la freática bajo el nivel del terreno. En la Figura 5 se presenta para el mismo período las áreas con profundidades mayores y menores de 3 m.

También se analizaron los valores de agosto de 1987, presentando la Figura 6 con valores mayores y menores de 5 m de freática bajo el nivel del terreno y la Figura 7 con valores mayores y menores de 3 metros.

Es muy clara la diferencia entre los mapas de enero - febrero y los de agosto. Ha sido notorio el aumento general de los niveles registrados en este último, lo que determina una elevación sustancial de los niveles y un área importante de terrenos con el nivel freático a menos de 3 m bajo la superficie, situación que era muy diferente a principios de 1987.

Con respecto a las profundidades mayores de 5 m, es clara también la situación de enero - febrero con respecto a agosto con mayores áreas en esa situación.

Arealmente se determina que en el Sur y Oeste de la zona del estudio, la freática está predominantemente a profundidades menores de 5 m y menores de 3 metros.

En el Norte tenemos dos situaciones contrastantes: al Oeste de Pergamino predominan profundidades menores de 3 m, en tanto que al Este se profundiza a más de 5 metros.

Tomando 82 valores de niveles freáticos se obtiene para Enero - febrero una media de 5,30 m con una desviación estándar de 2,52, en tanto que para agosto la media es de 4,45 con desviación estándar de 2,60.

#### e) Variaciones del nivel freático.

##### i. Introducción.

La superficie piezométrica presenta fluctuaciones de nivel en función del tiempo. En nuestra área de estudios, las variaciones son debidas a causas naturales, salvo en las proximidades de explotaciones intensivas de agua subterránea (ciudades) donde las fluctuaciones son artificiales (provocadas por la acción humana).

Las variaciones naturales son debidas a factores meteorológicos, hidrológicos o geológicos. De ellos, los factores más importantes en nuestra zona, son las precipitaciones, la evapotranspiración y en cierta medida el tipo de suelo.

## II. Dinámica de la freática.

En la cuenca del arroyo del Medio se registran antecedentes, con respecto a la dinámica del nivel freático, de una variación máxima de 1,60m en 28 meses para algunos puntos (Salas, J.M. y otros, 1972).

Los antecedentes de dinámica de freática en la zona de Chacabuco, freatómetro de la Dirección Hidráulica de la provincia, datan de Julio de 1981, aunque las mediciones mensuales se vienen efectuando, con algunas lagunas desde Enero de 1984 a la fecha.

El valor de mínima profundidad registrado fué de 0,85 m bajo el nivel del terreno (Octubre 1982) en tanto que la máxima profundidad fue de 3,10 m (en Julio de 1985), presentando por lo tanto una oscilación extrema de 2,24 m en treinta y tres meses.

La profundidad media registrada en esa estación es de 2,17 m (b.n.t.) para 19 datos mensuales y observándose una desviación standard de 0,62 desde julio de 1981 a la fecha.

De la comparación entre lluvias y profundidad del nivel freático, para el período 1984 - 1986 de la estación mencionada podemos observar que las grandes precipitaciones de febrero de 1984 acusan una elevación del nivel freático en marzo y las disminuciones se ven reflejadas en forma inmediata en el descenso del nivel. En cambio en octubre de 1984, la gran precipitación mensual no se registró consecuentemente en la freática.

En 1985, las escasas precipitaciones de junio coinciden con la napa bastante deprimida. En 1986 se registra un máximo en el nivel freático, no coincidiendo en este caso con las precipitaciones que son escasísimas en el invierno y luego la freática se eleva en relación directa con las lluvias de octubre-noviembre.

En Pergamino se analizaron los antecedentes del año 1937 de la estación del S.M.N. (López A.C., 1979). El mes más lluvioso fué marzo y aparentemente la recarga de la freática se produjo en mayo. Las lluvias del mes de diciembre, a su vez originaron la re-

cuperación de la freática en el mes de enero. Se observa una fluctuación total máxima de 0,40 cm. en 1 año.

A nivel puntual fue posible analizar el comportamiento de la estación del Servicio Meteorológico Nacional de Junín (aeropuerto) con un registro desde 1981 a 1986 de lluvias y nivel freático diario.

En primer lugar se observa la reacción que puede tener el nivel freático ante grandes lluvias y especialmente cuando hay humedad previa y los suelos se hallarían cercanos a valores de capacidad de campo. En estos casos "la reacción es inmediata", persistiendo la elevación del nivel del agua subterránea durante varios días subsiguientes. Por lo tanto, en caso de condiciones favorables las precipitaciones alimentan la freática literalmente en forma inmediata. En efecto, es posible observar casos de un aumento de 0,12 m. del nivel en 1 día ante una precipitación de alrededor de 100 mm. Los valores más frecuentes, sin embargo son más bajos, por ejemplo de 0,02 m a 0,05 de ascenso en 1 día (con precipitaciones de alrededor de 25 mm). Para lluvias más prolongadas en el tiempo se obtienen promedios de ascensos de 0,01 m a 0,08 m diarios.

En cuanto a los descensos de nivel, atribuidos a pérdidas de evapotranspiración, es posible cuantificar valores en base a ciertos períodos sin lluvias y con un paulatino descenso del nivel freático. Observamos desde un máximo de 0,39 m. de descenso en 19 días en el verano (promedio 0,02 m/día de descenso) y valores promedio para el verano de 0,0079 m/día, hasta un mínimo promedio de 0,0027 m/día para el invierno (con valores mínimos de hasta 0,0018 m/día).

Con respecto a la tendencia anual del nivel freático, se aprecia una diferencia total negativa de 2,98 metros en 6 años (enero 1981 a diciembre 1986); el nivel ha bajado paulatinamente (salvo recuperaciones parciales a fines de 1982, marzo - abril y noviembre de 1984) en estos últimos 6 años.

Las diferencias máximas negativas anuales han sido las siguientes: año 1981: 0,63 m; 1982: 0,47 m; 1983: 0,90 m; 1984: 1,17m; 1985: 1,86 m y 1986: 0,72 m.

En tanto los totales de precipitaciones anuales y medias anuales del nivel freático han sido los siguientes:

Año 1981: 964 mm y 3,60 m; 1982: 946 mm y 4,09 m; 1983: 911 mm y 4,90 m; 1984: 1039 mm y 4,45 m; 1985: 964 mm y 5,31 m y 1986: 827 mm y 5,84 m.

En principio se puede concluir que el descenso general de la freática a nivel anual responde directamente al patrón del comportamiento de las precipitaciones anuales y siguiendo las tendencias interanuales de las mismas (Figura 8).

También se analizaron 3 años de registros diarios de lluvias y nivel freático en la Estación Experimental del INTA Pergamino, años 1970 a 1972.

Igualmente en este caso es posible observar que cuando hay humedad previa suficiente en los suelos la freática reacciona inmediatamente a nivel diario ante lluvias de cierta envergadura. Es posible observar ascensos con promedio de hasta 0,048 m/día (1,40 m en 29 días con lluvias totales de 388 mm). Los valores más frecuentes oscilan entre 0,02 m/día y 0,008 m/día de ascenso, con precipitaciones de 50 a 150 mm.

También fueron semicuantificadas pérdidas por evapotranspiración en función de los descensos de nivel de ciertos períodos sin lluvias. Se observa desde un máximo de 0,016 m/día de descenso en verano, con valores promedio de 0,0096 m/día para esa época del año, hasta un mínimo promedio de 0,0025 m/día (con valores mínimos de hasta 0,0011 m/día). El descenso máximo observado fué en el verano con 0,34 m en 32 días.

En estos 3 años la diferencia máxima encontrada en los niveles freáticos fué de 1,80 m.

Las diferencias máximas anuales han sido en el año 1970: 0,44 m; año 1971: 1,81 m; año 1972: 0,93 m. Por otro lado, los totales de precipitaciones anuales fueron de 768 mm en el año 1970; de 1110 mm en el año 1971 y de 845 mm en 1972, con medias del nivel freático de 5,75 m, 4,63 m. y 5,62 m respectivamente para los años mencionados.

El comportamiento anual de la freática responde también directamente a las precipitaciones a nivel anual.

### iii. Variaciones areales del nivel freático.

Visto ya el comportamiento puntual del nivel freático, se analiza a continuación la variación areal entre los períodos de mediciones de la read freatimétrica.

Para ello se preparó un mapa de Isovariaciones entre enero - febrero de 1987 y agosto de 1987, representando los valores de ascenso de nivel que en la totalidad de los casos se registraron.

Se utilizaron gamas de valores que van de: menor de 0,50m de ascenso; entre 0,50 y 1 m y mayor a un metro.

Se observa (Figura 9) que el sector central correspondiente a la cuenca del río Rojas, juntamente con áreas del oeste y este de Pergamino y un pequeño sector del Sur presentan variaciones mayores de 1 m en el nivel freático entre los períodos mencionados. El resto del área preferentemente presenta valores entre 0,50 y 1 m y en menor grado se hallan los sectores con valores menores de 0,50 m de ascenso. Para toda el área se registra un ascenso medio de 0,85 metros en aproximadamente 6 meses.

### f) Porosidad eficaz.

La porosidad es la relación entre el volumen de los poros y el volumen total de terreno natural. La porosidad eficaz se refiere a la relación con los poros que están interconectados permitiendo la transmisión de agua subterránea.

Visto los antecedentes del acuífero es posible asignar un valor máximo de 0,10 a la porosidad eficaz del acuífero libre.

### 3. Acuíferos más profundos del Pampeano

#### a) Introducción

Se trata de un sistema múltiple de delgados acuíferos ubicados a distintas profundidades que conforman un acuífero multiunitario. El mismo constituye la fuente más importante de abastecimiento de agua subterránea de la región, a excepción de muy pocas localidades (Arrecifes especialmente) que explotan el acuífero de la Formación Puelches.

#### b) Ensayos por bombeo

Se denomina captación de agua subterránea a toda instalación que permita disponer del agua contenida en los acuíferos. El tipo más común es el pozo, que consiste en una perforación vertical, cilíndrica donde el agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial.

Si se considera un pozo bombeado por largo tiempo, la superficie piezométrica del agua subterránea adopta la forma de un cono invertido o embudo en cuyo centro se sitúa el pozo. El efecto primario del bombeo es producir un descenso del nivel del agua a fin de que quede establecido un gradiente que permita el movimiento del agua hacia la captación.

Un ensayo de bombeo se realiza extrayendo agua a caudal constante (por ejemplo) a partir del instante en que el nivel del agua estaba estacionario, y observando los descensos en tiempos preestablecidos. El objeto del mismo es: a) establecer las características del acuífero; b) conocer el funcionamiento y c) determinar la correcta construcción del pozo.

El conocimiento de las características de un acuífero es de suma importancia en la programación de su óptimo aprovechamiento y permite predecir aproximadamente los descensos y caudales obtenibles de un pozo.

En el estudio se efectuaron ensayos de bombeo con pozos de observación a fin de obtener especialmente valores de Transmisividad (T), coeficiente de al-

macenamiento (S), otros valores hidráulicos y también extensión real del cono de depresión y forma del mismo. Fueron ejecutados en el predio de la EEA Pergamino del INTA, en O. Basualdo (Escuela Nro. 44, Ruta Nacional Nro. 188), en Gral. Roca (Est. Las Mercedes) y en Rojas, ciudad (perforación municipal de abastecimiento de agua).

Los ensayos fueron realizados hasta un máximo de 9 h de mediciones sistemáticas y con observaciones de depresión en piezómetros de hasta 2 días en algunos casos.

Los caudales ensayados fueron de 13 m<sup>3</sup>/h, 50, 100 y 130 m<sup>3</sup>/h. Se contó con pozos de observación (piezómetros), en forma variable, a distancias de 5, 10, 50, 100 y 240 m del pozo de bombeo y 22 m de profundidad.

El método de interpretación de ensayos para flujo en régimen variable que se aplicó finalmente fue el de Boulton para acuíferos semilibres con rendimiento retardado. Por último se realizaron proyecciones de la depresión del cono en distintos tiempos de bombeo (10, 30 y 45 días). Es de aclarar que dado el carácter regional del estudio, orientado hacia tendencias generales de los resultados, no se considerará el posible efecto por penetración parcial del acuífero.

Los resultados obtenidos pueden generalizarse, ya que puntualmente difieren en varios casos según el método de interpretación y el piezómetro utilizado son los siguientes:

#### INTA Pergamino - Pozo Nro. 1 de Riego

##### Transmisividad

$$T = 260 \text{ m}^2/\text{d}$$

##### Coficiente de almacenamiento

$$S = 3.10^{-2}$$

El piezómetro ubicado a 40 m fue alcanzado por el cono de depresión entre los 4' y 8'. El de 150 m a los 60'm.

A los dos días, el piezómetro ubicado a los 240 metros registra una depresión de 0,39 m con un cau-

dal de explotación de 100 m<sup>3</sup>/h. En iguales condiciones el piezómetro de los 150 m tuvo un descenso de 0,44 m.

#### **INTA Pergamino - Pozo Nro.2 de riego**

##### **Transmisividad promedio.**

$$T = 400 \text{ m}^2/\text{d}$$

##### **Coefficiente de almacenamiento.**

$$S = 3.10^{-2}$$

El piezómetro ubicado a 100 m fue alcanzado por el cono de depresión a los 120'. El nivel freático empieza a bajar a los 8' de iniciado el bombeo a los cinco m de distancia del pozo de bombeo.

#### **Rojas - Perforación de abastecimiento a la ciudad**

##### **Transmisividad promedio**

$$T = 350 \text{ m}^2/\text{d}.$$

##### **Coefficiente de almacenamiento**

$$S = 1.10^{-2}$$

El nivel freático acusa el descenso por bombeo a los 2' y a los 8,75 m de distancia del pozo de bombeo.

#### **Ortiz Basualdo - Escuela Nro.44**

##### **Transmisividad promedio**

$$T = 292 \text{ m}^2/\text{d}.$$

##### **Coefficiente de almacenamiento**

$$S = 2.10^{-2}$$

El nivel freático desciende a los 2' de comenzado el bombeo a los 5 m de distancia del mismo. El piezómetro ubicado a los 40 m fue alcanzado por el cono de depresión a los 30' de iniciado el bombeo. En el mismo se observó una depresión de 0,10 m a los 30' con una explotación de 13 m<sup>3</sup>/hora y además con una explotación de 120 m<sup>3</sup>/h se registró una depresión de 0,95 m en el mismo lugar y tiempo.

También se colocaron 2 piezómetros a los 100 metros de distancia del pozo de bombeo, y en 2 líneas cruzadas en ángulo recto. La depresión en ambos fue similar en los distintos tiempos de observación, lo que indica "una gran isotropía del medio". A los 100 m se

observó una depresión de 0,35 m a las 7 h de bombeo con un caudal de 120 m<sup>3</sup>/h. Con ese mismo caudal, el piezómetro de los 240 m de distancia, a las 5 h recién acusa la llegada del cono de depresión y a las 9 h se registra una depresión de 0,02 m. El pozo de bombeo, a las 9 h y con un caudal de 120 m<sup>3</sup>/h, acusó una depresión de 14,10 m.

#### **General Roca - Estancia Las Mercedes**

##### **Transmisividad promedio**

$$T = 500 \text{ m}^2/\text{d}.$$

El nivel freático comienza a descender a los 2' de iniciado el bombeo (a 10 m de distancia del pozo central). El piezómetro ubicado a 40 m de distancia comienza a deprimir a los 2' y a los 30' ya se registra una depresión de 0,37 m con una explotación de 130 m<sup>3</sup>/h.

Los piezómetros colocados a 100 m de distancia del pozo de bombeo y en ángulo recto tienen depresiones similares, por lo que hay una manifiesta isotropía del medio.

A los 100 m se observó una depresión de 0,17 m a las 7 h de bombeo, con un caudal de 130 m<sup>3</sup>/h. El piezómetro de los 240 m de distancia, registra la llegada del cono de depresión a las 2,5 h observándose a las 7 h de iniciado el bombeo una depresión de 0,02 m.

El pozo de bombeo, acusó a las 8 h de iniciado el bombeo con un caudal de 130 m<sup>3</sup>/h, una depresión de 21 m.

### **c) Características hidráulicas e hidrogeológicas del acuífero.**

#### **I. Caudales**

Con referencia a los "caudales máximos" ensayados y explotados que se registran, es de aclarar que los mismos son de un valor relativo, aunque indicativo para ciertas localidades. No obstante responden en general de diversos factores tales como: necesidades de contar con determinada cantidad de agua, envergadura de la perforación, eficiencia de la misma, y también experiencias de explotación de caudales a partir de los



cuales puede haber un considerable aumento de salinización en la perforación. Para los acuíferos explotados en el Pampeano los antecedentes indican que el caudal máximo medido explotado es de 87,4 m<sup>3</sup>/h, restándose valores extremos de 170 m<sup>3</sup>/h y 30 m<sup>3</sup>/h, que determina una amplísima dispersión (desviación standard de 40) para 21 valores considerados.

Con referencia a los valores ensayados en el Estudio, los mismos llegaron hasta valores de 130 m<sup>3</sup>/h, siendo el valor máximo más frecuentemente utilizado, el de 100 m<sup>3</sup>/h. Con este último se ha alcanzado, en Rojas, un régimen estacionario o permanente a las 7 h de bombeo continuo, ya que los valores de descenso se mantuvieron estables a partir de ese tiempo de bombeo.

## ii. Caudales específicos

Fue posible analizar el comportamiento de los caudales específicos (caudal obtenido por metro de depresión del nivel del acuífero), de recopilaciones de explotaciones en acuíferos del Pampeano.

De los valores recopilados en nuestra área de estudios se obtiene un promedio de 5,4 m<sup>3</sup>/h/m y con una desviación standard de 3,0. Los extremos oscilan entre 14,3 y 2 m<sup>3</sup>/h/m.

Con respecto a los valores obtenidos en el Estudio, el máximo hallado fue de 14,6 m<sup>3</sup>/h/m en la perforación ensayada en Rojas y el mínimo de 5,9 m<sup>3</sup>/h/m en la Escuela Nro.44 de O.Basualdo. En General Roca, Estancia La Merced, se obtuvo un valor de 6,3 m<sup>3</sup>/h/m.

## iii. Espesores del acuífero multicapa

Los espesores del acuífero multicapa que se explota en el Pampeano son de difícil determinación ya que en muchos de los antecedentes sólo pueden surgir de la descripción litológica de los perfiles, en base al predominio de arena fina, no siendo este un método muy confiable. Se aclara que estos valores deben ser tomados con criterio orientativo, y sólo con validez de tendencias regionales.

Se destacan los mayores espesores totales en Chacabuco (34,2 m) y Rojas (36,6 m) y los menores en Colón (12,5 m) e INTA Pergamino (9 m). También es posible analizar los espesores de cada capa acuífera del Pampeano, en base a los perfilajes eléctricos ejecutados en el Estudio. Los mismos fueron realizados en la perforación INTA Pergamino Nro.1 de Riego y en la Escuela Nro.44 de O.Basualdo y en Gral.Roca, Ea. Las Mercedes. Las curvas obtenidas (resistividad, rayos gamma y diámetro del pozo) nos indican la complejidad de las variaciones litológicas en sentido vertical. En efecto, se manifiestan múltiples alternancias de arenas finas con fracciones subordinadas limo-arcillosas, con limos-arcillosos escasamente arenosos y toda la gama de posibles mezclas de componentes granulométricos que se van alternando en todo el perfil.

Sin embargo hay materiales arenosos sobre las fracciones más finas confiriéndole mejor permeabilidad a ese paquete y constituyendo un delgado acuífero que se vuelve a repetir en el perfil hacia abajo y arriba. La suma de los mismos constituye el "acuífero multicapa".

También los paquetes o capas que limitan hacia arriba y hacia abajo a cada capa acuífera, denominados acuitardos, presentan variadas características litológicas dentro de la gama limo-arcillosa algo arenosa, que a su vez le confieren una variada gama de permeabilidades que determinan el carácter de semiconfinado a semilibre del acuífero.

El perfilaje realizado en la perforación INTA Pergamino-Riego Nro.1 permitió determinar, hasta los 50 m de profundidad, la siguiente secuencia:

- entre los 6 y 11 m un limo arenoso fino (aloja el acuífero libre o freático);

- hasta los 17,5 m alternancia de limos y limos arenosos y luego sigue una alternancia de capas limo-arcillosas y limo-arenosas.

Las capas limo arenosas (acuíferos) más importantes son las siguientes: de 27 a 30 m; 32,5 a 34 m; 36 a 37 m; 42 a 43,5 m y de 46 a 48 m. Estas suman un espesor total de 9 m, al que agregándole los 5 m de freá-

tica, totalizarían 14 m de acuífero hasta los 50 m de profundidad. Sin embargo, se estima que esta cifra puede ser mayor al sumársele el aporte de pequeñas capas arenosas finas intercaladas dentro de paquetes mayores más finos de menor permeabilidad y muy difícil de cuantificar con el registro del perfilaje. Para ello se necesitaría contar con testigos continuos obtenidos con perforaciones a percusión, por ejemplo.

Por otro lado el perfilaje de la perforación Escuela Nro.44 de Ortiz Basualdo de 50 m de profundidad, indica las siguientes secciones acuíferas más notorias: de 18,50 a 23,80 m; de 27 a 33,50 m; de 36,50 a 43,00 m y de 46,00 a 48,00 m, constituyendo un espesor total de 20 m de acuífero por debajo del acuífero freático.

El perfilaje de Ea. Las Mercedes (Gral Roca) también de 50 m, determina las siguientes capas acuíferas principales: de 14 a 17,50 m; de 22 a 24 m; de 27 a 34 m; de 36 a 38 m y de 40,50 a 43,50 m, que conforman un total de 17,50 m de espesor de acuíferos por debajo del freático.

También se empleó el método geoelectrico de resistividad, el cual determina, por medio de mediciones efectuadas en la superficie del terreno, la distribución en profundidad de las capas con diferentes resistividades eléctricas. Se ejecutaron un total de 180 sondeos eléctricos verticales (SEV) a lo largo de 8 líneas o cortes geoelectricos que cubrieron regionalmente toda el área de estudios. Desde el punto de vista geoelectrico se han determinado distintas capas que "no coinciden" con los límites geológicos sino que están determinadas por las características químicas del agua subterránea.

En general existen 3 capas principales: una Superior de resistividades que van de 8 a 80 Ohm.m; una Intermedia de 8 a 25 Ohm.m y una Capa Inferior con resistividades que oscilan entre 1 y 6 Ohm.m. Los acuíferos del Pampeano en general se hallan dentro de la Capa Intermedia, aunque en algunos sectores también se incluyen dentro de esta Capa resistiva a la Formación Puelches.

Esta Capa Intermedia tiene un espesor que varía entre 20 y 140 m. La Capa Inferior corresponde a las zonas dentro de las unidades del Pampeano, Puelches y Paraná que tienen agua salada. El límite Agua Dulce-Agua Salada se encuentra en toda la zona dentro del Pampeano, excepto en unos pocos lugares donde se profundiza por debajo de la Formación Puelches. En los cauces de los arroyos principales se produce una elevación del techo de la Capa Inferior, disminuyendo la resistividad de la Capa Intermedia.

El espesor total del Pampeano como unidad geológica, varía en nuestra zona de estudio entre un mínimo de 45 m a un máximo de 125 m, estando los valores más comunes entre los 90 y 105 m de espesor total de la unidad sin tener en cuenta la calidad del agua alojada en la misma.

#### iv. Permeabilidades

Se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua. Algunos autores generalizan para el Pampeano, valores entre 5 y 10 m/d.

El antecedente de un análisis efectuado sobre el material acuífero arenoso de los 70 m de profundidad en Pergamino, da como resultado  $k = 0,00711 \text{ cm/s} = 6,14 \text{ m/d}$ . Por otro lado, los valores tomados en base a tablas teóricas que tienen en cuenta la granulometría, dan valores que oscilan entre 0,5 y 5 m/d.

Por lo tanto se estima que para los acuíferos del Pampeano, en principio se podría considerar como valores representativos generales de 5 a 6 m/d.

Las velocidades efectivas varían entre 0,012 y 0,030 m/d según el gradiente y la permeabilidad. La conductividad hidráulica de los materiales acuitardos que hay entre los acuíferos, oscila entre los valores más frecuentes de  $7 \cdot 10^{-2} \text{ m/d}$  a  $1 \times 10^{-2} \text{ m/d}$  y de acuerdo a las interpretaciones de los ensayos por bombeo.

#### v. Porosidad eficaz o rendimiento específico

Es la cantidad de agua que un material puede ceder por gravedad. Para los acuíferos del Pampeano (Epipelche), hay autores que indican un valor de porosidad eficaz de los niveles productivos de 0,25, con un contenido de 1000 m<sup>3</sup> de agua por ha y por metro de espesor del acuífero.

Para el material loésico-limoso del Pampeano y con valor también para el acuífero freático, se asigna una porosidad eficaz de 0,10.

#### vi. Transmisividades

El coeficiente de transmisividad T de un acuífero nos indica la afluencia del agua a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo, y con un gradiente hidráulico igual a 1 o sea 100%. Es decir que indica cuánta agua se mueve a través de la formación. Estos valores se determinan a partir de ensayos por bombeo. De acuerdo a los antecedentes consultados el valor promedio más alto se encontraría en Chacabuco (1051 m<sup>2</sup>/d), siendo también muy interesante el valor medio que arrojan los datos de Pergamino (640 m<sup>2</sup>/d).

Por otro lado, ya hemos visto los valores resultantes de la interpretación de los ensayos por bombeo del Estudio. En efecto, el promedio más alto encontrado fue en Gral. Roca, Ea. Las Mercedes con 500 m<sup>2</sup>/d.

Los mayores valores relativos promedios y también máximos, se ubicarían al Sur, en el área de influencia Junín - Chacabuco. En el Centro se ubicarían preferentemente los valores menores relativos y hacia Pergamino los valores intermedios. Estas consideraciones guardan sólo valor regional y están sujetas a los resultados de mayores estudios.

#### vii. Coeficiente de almacenamiento.

Es una cantidad adimensional equivalente al volumen de agua cedida por el almacenamiento de un acuífero, por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de carga. Nos indica qué cantidad puede ser obtenida por bombeo.

Los antecedentes del Pampeano se circunscriben a las localidades de Rojas, Salto y Chacabuco. En Rojas se registra un valor de  $2 \times 10^{-3}$ , en Salto oscilaría entre  $5 \times 10^{-2}$  a  $5 \times 10^{-5}$  y Chacabuco con valores de  $2 \cdot 10^{-3}$  a  $8 \cdot 10^{-3}$ .

De la interpretación de los ensayos por bombeo del Estudio, surgen valores para otras localidades a saber: Ortiz Basualdo, Escuela Nro.44,  $2 \cdot 10^{-2}$ ; Rojas  $1 \cdot 10^{-2}$  y en el INTA Pergamino las 2 perforaciones ensayadas dan valores  $3 \cdot 10^{-2}$ .

En base a los valores descriptos de coeficiente de almacenamiento y el comportamiento del acuífero freático al ser bombeados los acuíferos más profundos (Capítulo II. ítem b), se puede considerar regionalmente al sistema acuífero del Pampeano como Semilibre con drenaje diferido.

#### d) Explotación regional del acuífero

Las mayores explotaciones del acuífero se realizan en los centros urbanos. Las máximas calculadas han sido de alrededor de 13 hm<sup>3</sup> anuales en ciudades como Junín o Pergamino. En ciudades como Rojas es de 2,5 hm<sup>3</sup>/año. Para las localidades más pequeñas se calculó una explotación mínima de 0,008 hm<sup>3</sup>/año. Para la totalidad del área de estudio se considera una explotación de 37,4 Hm<sup>3</sup>/año, con la siguiente pauta estacional: las explotaciones en el verano son 1,5 a 4 veces mayores que en la del invierno. Las más antiguas datan de alrededor del año 1920. En la última década se han dotado de agua potable por perforaciones a muchas localidades pequeñas (300 a 500 conexiones domiciliarias).

#### 4. Acuífero Puelches

Este acuífero se halla alojado en la formación homónima a profundidades, con respecto al nivel del terreno, que varían aproximadamente entre 50 y 100 metros. Prácticamente no será considerado en este estudio pues, dado los antecedentes obrantes, y en base además a la extensa información geofísica lograda en el proyecto, en la gran mayoría del área presenta alta salinidad, por lo que, salvo 2 áreas bien definidas, se ha descartado su aporte a las reservas útiles.

El límite de las arenas Puelches con agua dulce penetra en nuestra área de estudios por el Este y por el Sur. Al Este abarca Arrecifes, pasando al NE del partido de Pergamino en dirección a San Nicolás.

En el Sur abarca el área de Junín extendiéndose al Norte y Este de esa ciudad y parte del Oeste.

En cuanto al espesor de la Formación Puelches, si bien el mismo es variable, los pocos antecedentes en la zona indican espesores que varían entre los 12 y 25 m siendo los más frecuentes los que oscilan entre los 15 y 20 metros.

Se han recopilado valores de permeabilidades horizontales del orden de 20 m/d y velocidades entre 0,014 a 0,20 m/d (para gradientes hidráulicos máximos y mínimos).

Para el valor de "filtración vertical" en el techo de las arenas Puelches se mencionan los siguientes valores: 4 a 210 m<sup>3</sup>/d por ha y por cada metro de diferencia de carga hidráulica.

Para la cuenca del Matanza, fuera de nuestra área de estudios, se ha cuantificado la recarga efectiva por filtración vertical descendente que recibe del acuífero de las Puelches desde los acuíferos superiores y a través del acuitardo. Ese valor es de 0,125 m<sup>3</sup>/d/ha, produciéndose a través de los interfluvios.

Para la Formación Puelches, en algunos casos se asigna una porosidad eficaz del 28% al 31%, en tanto que en otros se hacen cálculos regionales con valores entre 10 y 15%. Todo ello para el acuífero en

condiciones libres. Los valores obtenidos en otras áreas en los ensayos por bombeo, determinan el carácter de semiconfinado del acuífero y con conexión hidráulica con los acuíferos del Pampeano.

#### 5. Perforaciones.

##### a) Introducción.

El acceso y captación del agua de los acuíferos se efectúa normalmente por medio de perforaciones. Las mismas permiten la construcción de un pozo cilíndrico, de diámetro variable, vertical y consta de 2 partes principales: la parte superior, de entubado o encamisado, que es por donde se bombea el agua hacia la superficie y la sección inferior o de admisión, que consta de un sistema filtrante que evita la entrada de sedimentos con el agua a la perforación.

La sección superior puede aislar con caños de mayor diámetro y/o cemento el acuífero freático o cualquier otro que no se desee explotar. Los métodos más comunes de perforaciones para agua son el de percusión y el rotativo. Para obtener una buena perforación hay una serie de factores evidentes, como ser: equipo de perforaciones adecuado, calidad general de los materiales colocados, experiencia y seriedad del perforista y empresa ejecutante, y que dan resultados tales como rectitud y verticalidad del pozo, aislaciones adecuadas, ubicación correcta del filtro, por ejemplo.

Sin embargo, hay ciertos elementos y técnicas que, descartando los factores anteriores, son los que más influyen en la eficiencia y vida útil de las perforaciones.

##### b) Elementos y técnicas especiales

El elemento que más influye en el funcionamiento eficiente de una perforación es el filtro. Para su correcto diseño se combina un alto porcentaje de área abierta con la fortaleza suficiente para resistir las fuer-

zas radiales y verticales a que queda sujeto durante la instalación y después de ella. Existen varios tipos, desde los más simples, como un caño ranurado con sierra (altamente ineficaz), hasta los más elaborados tales como tipo *persiana* y de ranura continua. Es muy importante, además, contemplar el tipo de material con respecto a su resistencia a la corrosión del agua. Un filtro construido con materiales de poca o ninguna resistencia a la misma puede ser destruido o inutilizado por agua ácida altamente corrosiva a los pocos meses de su colocación, ya que origina un agrandamiento de las aberturas permitiendo el paso de arena al pozo, con las consecuencias de desgaste de la bomba, posibles derrumbes de los materiales superiores del acuífero e impedimento de su uso para riego con sistemas de aspersión. La incrustación no destruye el metal, pero provoca depósitos de minerales sobre él originados por aguas alcalinas, causan la obstrucción de las aberturas de los filtros con la consiguiente reducción en el rendimiento de las perforaciones afectadas.

Otro factor importante en el funcionamiento eficiente de las perforaciones es el denominado desarrollo del pozo. Consiste, mediante varios procedimientos, en eliminar el sedimento más fino que rodea el filtro, dejando una zona de material más grueso alrededor del mismo, luego de horas o días de operación continuada.

También el desarrollo corrige las obstrucciones en la formación acuífera producida por el lodo de perforación (sistema rotativo), y los problemas de compactación ocasionados por la perforación en sí. Una técnica en ciertos casos muy importante es la del empaque artificial con grava. Se aconseja su utilización en acuíferos de la región pampeana húmeda). En ciertos casos, también, es necesario recurrir a técnicas geofísicas de perfilaje de pozos para la mejor ubicación de los filtros y conocimiento de los acuíferos.

### c) Diagnóstico de perforaciones para riego en la zona de estudios.

El objetivo principal del diseño de una perforación es conseguir la mejor combinación posible de rendimiento, vida útil y costos. Sin embargo, es frecuente que en aras de reducción de costos se contemplen alternativas de sacrificar rendimientos o vida útil. Tales

casos, por ejemplo, son frecuentes en perforaciones costeadas directamente por particulares, con destino a riego en la pampa húmeda. Como resultado de ello surgen perforaciones sin aislación, con pobres rendimientos o, en su defecto, con excesivas depresiones de los niveles dinámicos (no imputables al acuífero en sí), arrojando agua con sedimentos y con escasas probabilidades de mantenerse en producción por un lapso normal.

La mayoría de las captaciones por perforaciones para riego realizadas en la zona de estudios no tienen encamisado completo ni filtros; o sea son captaciones a "cielo abierto". Es muy frecuente la opinión de los perforistas locales en el sentido de que no es necesario encamisar los pozos ni la colocación de filtros y empaque de grava, dado el tipo de material del "pampeano" que no sufre significativos derrumbes. En cierta manera es real la relativa estabilidad de los materiales loésicos que les permiten mantener paredes verticales.

Al respecto se realizaron experiencias en nuestro estudio, y se encontró que hasta un caudal de 100 m<sup>3</sup>/h parecería que el arrastre de material fino en perforaciones sin filtros es despreciable. No obstante con caudales mayores, se produjeron significativos aportes de sedimentos que impedían el normal funcionamiento de una bomba sumergible.

Los perfilajes eléctricos realizados en el estudio arrojan también resultados al respecto. En efecto, la técnica del perfilaje de diámetro de perforación (caliper) determina en un pozo los distintos diámetros debido a desmoronamientos (zonas más anchas) o secciones más reducidas. Las zonas desmoronables corresponden a sedimentos arenosos y limo-arenosos en tanto que las otras son arcillosas, limo arcillosas y calcáreas.

Los resultados de los perfilajes indican la existencia en los pozos de distintas zonas desmoronables, hecho que sin duda se repite en todo el subsuelo del área de estudio, constituye un permanente peligro potencial en las perforaciones sin encamisado.

Por lo tanto, al ser una perforación una obra en sí misma, la inversión debe realizarse sobre la base de un horizonte extenso de planeamiento que asegure el

rendimiento eficiente, larga vida útil y mantenimiento de la calidad ambiental.

Además, como toda obra de Ingeniería las perforaciones y equipos necesitan conservación o mantenimiento en forma regular. Es conveniente establecer un programa rutinario para prevención y corrección oportuna de problemas que pueden reducir el caudal y la vida útil del pozo, tanto de las partes mecánicas o electromecánicas como incrustaciones o corrosión en el filtro o cañería en general, sin obviar el periódico control de la calidad del agua en relación a su uso y el control de la depresión del nivel piezométrico en el pozo de bombeo.

### III. HIDROQUIMICA

#### A. Introducción y metodología de trabajo.

En el agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se hallan en forma iónica. Los iones fundamentales que se encuentran presente casi siempre son los siguientes:

- 1) Aniones (Cloruro, Sulfato y Bicarbonato);
- 2) Cationes (Sodio, Calcio, Magnesio);

También son frecuentes los aniones nitrato y carbonato, el catión potasio y el ferroso. Entre los gases son fundamentales el dióxido de carbono y el oxígeno disuelto. El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran casi siempre en cantidades pequeñas, constituyendo iones menores y elementos traza.

La composición y concentración salina del agua subterránea depende de factores tales como: la composición de los materiales geológicos que las contienen, el recorrido y diseño del flujo subterráneo y su velocidad, granulometría, tiempo de contacto del agua con los sedimentos, profundidad del acuífero, evaporación, etc.

En nuestro estudio se analizaron muestras provenientes del acuífero libre (obtenidas de los sondeos de la red freática) y del acuífero multicapa del Pampeano en localidades donde se lo explota para

consumo humano. Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio Regional de Bromatología e Hidrología de la Municipalidad de Junín.

En el caso del acuífero Pampeano, se lo caracterizó a nivel regional atendiendo a las clasificaciones de riego en uso.

#### 1. Caracterización química

Corresponden al muestreo realizado al confeccionar la red freática, habiéndose analizado un total de 84 muestras.

Se determinó en cada muestra la conductividad eléctrica, carbonatos, bicarbonatos, pH, residuo conductimétrico, dureza total, alcalinidad total, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, boro, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonato de sodio residual, R.A.S. y R.A.S. ajustado.

#### 2. Variaciones areales

Fueron confeccionados mapas de isoconductividad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, carbonato de sodio residual, RAS y RAS Ajustado.

En la Figura 10 se evidencia que la conductividad eléctrica, en general, aumenta hacia los cauces principales (zonas de descarga hidráulica), alcanzando valores mayores de 1000 mmho/cm. La Figura 11 muestra el aumento de los bicarbonatos, en general, hacia las áreas de descarga. En la Figura 12 se grafican las áreas con contenidos de sulfato mayor y menor de 250 mg/l. Las mayores se concentran en áreas bien definidas del Oeste. La Figura 13 muestra la aparentemente errática distribución de las mayores cantidades relativas de Cloruros. En la Figura 14 el Carbonato de Sodio Residual menor de 2.5 meq/l se distribuye en áreas más alejadas de las redes principales de drenaje. La Figura 15 representa al RAS, evidenciándose que los valores mayores de 10 se ubican preferentemente a lo largo de zonas de drenaje (descarga).

Por último, la Figura 16 representa al RAS Ajustado adonde los valores mayores de 9 cubren ya un amplio sector de la zona de estudios y áreas de drenaje.

## **B. Hidroquímica de los acuíferos más profundos del Pampeano.**

### **1. Análisis de los antecedentes.**

Se han recopilado datos de análisis químicos de aguas subterráneas en los siguientes organismos: Servicio Nacional de Agua Potable (SNAP), Comando de Ingenieros del Ejército Argentino, Compañía de Ingenieros de Agua 601, Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires y Obras Sanitarias de la Nación (OSN).

Es de aclarar que todos los análisis recopilados en los organismos mencionados están orientados al consumo humano (o sea potabilidad), careciéndose en éstos de antecedentes de análisis específicos de aguas con destino a riego.

Con respecto al residuo seco a 105 °C en acuíferos del Pampeano se observan que para 31 valores considerados en distintos puntos se obtiene un valor medio de 862 mg/l, con una desviación standard de 325. Se han observado valores extremos de 1900 y 335 mg/h.

Los valores de pH hallados, oscilan entre 7,1 y 8,5  $\bar{x} = 7,86$ , 22 datos -  $SD = 0,37$ .

La alcalinidad oscila entre 300 y 600 mg/l principalmente, presentándose un valor medio de 478 con una desviación de 87 para 29 muestras.

Los valores de sulfatos registrados nos dan una media de 102 mg/l para 29 datos y con una desviación standard de 111,6. Los cloruros alcanzan una media de 83 mg/l para muestras, con una desviación standard de 99.

En varias localidades las "Puelches" se presentan salinizadas.

Con respecto al comportamiento areal del residuo seco, es posible considerar una tendencia al aumento de los valores hacia Colón, en tanto que el área de Junín y hacia el Oeste los valores son bajos. En varias localidades se observa gran disparidad en los valores correspondientes a distintas perforaciones realizadas en diferentes épocas.

En cuanto a la posibilidad de un aumento de salinidad ante explotaciones continuas e intensas, como se realizan en las ciudades grandes para abastecimiento poblacional, no se han detectado situaciones anómalas que indique este hecho, salvo perforaciones ubicadas en las cercanías de cursos de agua superficial.

Los antecedentes disponibles fueron considerados no obstante insuficientes para la determinación de la aptitud del agua subterránea con fines de riego.

### **2. Caracterización hidroquímica orientada al riego.**

Estos antecedentes fueron generados en la fase preparatoria de este estudio, llevados a cabo en la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Para ello se contó con la colaboración del Laboratorio Regional de Bromatología e Hidrología de la Municipalidad de Junín para la ejecución de los análisis químicos y además el INTA Pergamino quien facilitó los medios para la realización de los muestreos y eventualmente colaboración de personal profesional.

En principio se seleccionaron las localidades con servicio de agua potable (preferentemente), o en su defecto aquellas con alguna perforación de envergadura y con antecedentes confiables.

Los análisis químicos de 48 muestras fueron orientados a la aptitud para riego, obteniéndose los valores de pH, Conductividad eléctrica (mmhos/cm)  $CO_3Na_2$  Residual (determinados por:  $CO_3 = + CO_3H^-$ ) ( $Ca^{++} + Mg^{++}$ ), Boro, Sodio, Potasio, Cloruros, Sulfatos, Carbonatos y Bicarbonato, Nitratos y Nitritos, Amonio, Calcio, Magnesio y Hierro.

Además se calcularon los valores de R.A.S. y R.A.S.Ajustado.

El RAS es determinado por la siguiente relación:

$$\frac{\text{Na} +}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + + + \text{Mg} + +}{2}}}$$

en tanto que el RAS ajustado es igual al RAS por un factor de ajuste. Para 47 valores de pH, encontramos para la región una media de 7,84 con una desviación standard de 0,43.

En relación a la CE, se obtiene una media de 1411 mmhos/cm para 47 valores, con una desviación standard de 659.

El CO<sub>3</sub>NA Residual (en meq/l) presenta un valor medio de 6,38 con una desviación standard de 2,28 para 48 valores.

### 3. Variaciones areales.

Con el objeto de investigar las distintas variaciones que arealmente puedan tener ciertos elementos y componentes químicos del agua subterránea, se volcaron los valores de cada localidad analizada en mapas, trazándose luego las curvas de igual valor de componentes.

El mapa con curvas de "Isoconductividades" nos muestra que los valores más altos se concentran en áreas definidas como ser Colón y Rojas (valores de hasta 3.600 mmhos/cm). Los valores más bajos se encuentran al sudoeste (mínimo registrado 620 mmhos/cm). Los valores más frecuentes se hallan entre 1.100 y 1.600 mmhos/cm.

**Bicarbonato:** Los valores más altos están en el centro y norte de la zona en estudio (Rojas - Pergami-

no - El Socorro) abarcando las curvas de 500 y 600 mg/l. Los valores menores se concentran al 550 (valores entre 100 y 300 principalmente).

**Carbonato de Sodio residual:(Meq/l)** presenta máximos de 9 en la línea Rojas-Colón y valores mínimos al sudoeste. Los valores más comunes oscilan alrededor de 7.

**Sulfatos:** Los valores máximos se hallan en la franja Rojas-Junín (500-550 mg/l) y también al norte. El resto de la región, en general presenta valores mucho más bajos (entre 60 y 160 principalmente).

**Cloruros:** Presenta valores máximos en Colón y Rojas (hasta 350 mg/l) y al norte. El resto con valores muy bajos que oscilan entre 20 y 100 mg/l principalmente).

**Boro:** Los valores más altos se hallan en Colón (1,1 mg/l). En general en el resto predominan valores entre 0,5 y 0,7.

**R.A.S.:** Los valores más altos se circunscriben al área de Rojas y de Colón (hasta 20). Los mínimos se hallan al 550 (valor de 1,2 y 3 en algunos casos). Los valores más frecuentes se hallan entre 9 y 12.

**R.A.S.Ajustado:** Presenta cifras máximas en el área de Rojas y Colón (hasta 44), con mínimos al SO (de 3 a 5). Los valores más comunes oscilan entre 15 y 25 principalmente.

## 4. Diagramas hidroquímicos y clasificaciones

### a) Introducción

El manejo comparativo y estudio de los análisis químicos de laboratorio se puede mejorar, en primera instancia, con el empleo de gráficos y diagramas. Estas técnicas son más interesantes aún cuando se trata de manejar grandes cantidades de análisis de aguas distribuidas en el espacio y tiempo.

### b) Diagrama de Piper

Corresponde al tipo de diagrama triangular, ideal para representar 3 componentes. En este diagrama



ma se utilizan dos triángulos separados para representar los aniones y los cationes (Ca, Mg y Na + K; SO<sub>4</sub>, Cl, CO<sub>3</sub>H y CO<sub>3</sub>) en meq/l y un campo central romboidal donde se representa un tercer punto deducido de los aniones y cationes. En la Figura 17 se presentan los triangulares correspondientes a las 48 muestras aludidas en el Capítulo III, punto B.b) de este estudio.

**c) Diagramas de escalas logarítmicas verticales (de Schoeller-Berkaloff)**

Este tipo de representación consta de varias semirectas verticales paralelas, con igual espaciamento y con un anión o catión asociado a cada una.

Las columnas son de escala logarítmica y se grafica a partir de valores de meq/litro. El ordenamiento utilizado acá de las rectas de iones, de izquierda a derecha es el siguiente: Ca, Mg, Na + k, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>H, NO<sub>3</sub>, Co<sub>3</sub>NA Residual y conductividad eléctrica dividido 100.

En la Figura 18 se representan los análisis de varias localidades, quedando así graficados los tipos más representativos de aguas de la región en estudio.

**d) Clasificaciones hidroquímica y para riego**

Es importante la clasificación de aguas a fin de tener un panorama resumido sobre su composición química dominante o aspectos particulares de las mismas.

En ese sentido, se considera muy útil "la clasificación por iones dominantes" (se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas. Si ninguno supera el 50% se nombran los dos más abundantes. En la Figura 19 se presentan los grupos resultantes de la ubicación de las 48 muestras consideradas en el diagrama de Piper. Como se observa, el "75%" de las muestras corresponde a "aguas bicarbonatadas sódicas", en tanto que un 12% son

sulfatadas y el 6% cloruradas con ciertas mezclas y fundamentalmente sódicas.

Las clasificaciones de agua para aptitud de riego están orientadas al riego intensivo, por lo que se presentan acá a título orientativo, estando los resultados sujetos a verificaciones experimentales. Las normas Riverside clasifican las aguas para riego teniendo en cuenta la conductividad (en micromhos/cm) en absisas y la relación de Absorción Sodio (SAR) en ordenadas.

Se volcaron los valores de R.A.S. y Conductividad de cada muestra sobre el diagrama de la Figura 20.

De la observación de la misma surge que la mayoría de las muestras caen dentro de los campos de "peligro de Sodio Medio y Alto y peligro de salinidad alto". Se constata que el 60% de las mismas está dentro de los denominados C3 S2 y C3.

El resto de los valores se reparten entre las aguas muy peligrosas (en sodio y salinidad) y medio a bajo peligro.

A fin de tener un panorama orientativo de los efectos de concentración de bicarbonatos en la calidad del agua, utilizaremos la siguiente tabla de uso común en hidrología agrícola:

**TABLA IV.1**

<b>Carbonato de Sodio Residual</b>	<b>Calidad de las aguas</b>
2,5 meq/l	No son buenas
1,25 a 2,5	Dudosas
1,25	Buenas.

De acuerdo a los valores presentados el 95% de las muestras corresponde a calidades no buenas, (valores mayores de 2,5 meq/l).

En cuanto a las directrices usuales para cloruros, los valores utilizados en riego por aspersión son: "menor de 3" "no hay problema"; "mayor de 3" "problema creciente".

En nuestro caso, el 81% de las muestras tienen valores de Cloruros (en meq/l) menores a 3, por lo que no presentaría problemas en ese sentido.

De acuerdo a las directrices para Bicarbonato con aspersores, se considera que valores menores a 1,5 "no hay problema" entre 1,5 y 8,5 "problema creciente" y mayor de 8,5 "problema grave". En nuestro caso el "71% de las muestras" corresponden a "problema creciente" y el 28% a "problema grave", según esta clasificación para riego intensivo.

### C. Características químicas del agua superficial

Si bien el objetivo del estudio es el análisis del agua subterránea, se hará una breve consideración - a los efectos de su utilización en las conclusiones hidrogeológicas- de la calidad química del agua superficial. Para ello se analizaron 3 muestras representativas de los principales cursos del área: Río Salto (en el Balneario); río Salado (entre Junín y Chacabuco) y Arroyo Pergamino en Arrecifes tomadas en Julio de 1987.

Los resultados son mostrados en la Tabla IV.2.

TABLA IV.2

Localidad	Conduct. Electric.	PH	Cloruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio
Río									
Salado	4.240	8,84	600	1.080	830	19	14	840	44
Arroyo									
Pergamino	3.370	8,28	400	920	873	42	44	640	37
Río									
Salto	4.379	8,28	500	1.200	864	52	51	760	42

Se observa una gran similitud en las proporciones iónicas, llamando la atención ante tal comportamiento el hecho de la lejanía entre sí de los puntos de muestreo.

Estas aguas están salinizadas, con altas proporciones de todos los iones, siendo notorio el aumento de cloruros y sulfatos (en menor medida bicarbonatos) y sodio, en relación al agua subterránea del área de estudio. Ello habla de la influencia importante que tiene la descarga del agua subterránea como caudal básico de los cursos superficiales y la complejidad de las líneas de flujo en lo que hace a las trayectorias más profundas que finalmente descargarían en aquéllos.

### D Relaciones hidroquímicas entre acuíferos

En este punto se intenta determinar, en base a los análisis químicos disponibles provenientes de baterías de ensayos de bombeo, la relación que pueda existir entre el acuífero libre, el del Pampeano y si es posible el Puelches en forma local.

Para ello se graficaron en diagramas logarítmicos tipo Schoeller el análisis precedente del freatómetro y del pozo de bombeo de la batería ubicada en la Escuela Nro. 44 de Ortiz Basualdo. Es posible que correspondan a una misma familia de agua, presentando el agua más profunda una mayor salinidad general (Figura 21).

Del mismo modo se graficó el muestreo de Gral.Roca, Ea. Las Mercedes, estimándose la pertenencia también a una misma familia. Aunque el agua más profunda presenta una escasamente menor conductividad eléctrica, tiene mayores cantidades de sulfato. El resto guarda proporciones muy similares (Figura 22).

En la Figura 23, por último se contó con análisis procedentes de la Formación Puelches en el INTA Pergamino (perforación sin aislación), y en el mismo punto con muestras de un freatómetro y del segundo acuífero (perforación sin aislar). La similitud entre freática y segundo acuífero es total. Con respecto a las Puelches, podría pertenecer a la misma familia, aunque notoriamente más salinizada y con grandes proporciones de Cloruros y Sulfatos en relación a las otras aguas, no así los bicarbonatos que guardan proporciones parecidas (aunque menores).

#### IV. RESERVAS Y PAUTAS DE EXPLOTACION

Se denominan reservas a la totalidad del agua extraíble existente en un acuífero o sistema de acuíferos.

Las reservas de agua subterránea en nuestra área pueden en principio, clasificarse en dos grandes grupos:

- Reservas reguladoras
- Reservas seculares o pasivas.

Las reservas reguladoras representan la cantidad de agua almacenada por el acuífero en el transcurso de una recarga por alimentación natural. Depende del ritmo estacional o interanual de las precipitaciones. Estas reservas están en relación directa con las variaciones del nivel piezométrico.

Las reservas seculares o pasivas o profundas, guardan relación con el ciclo plurianual de las precipitaciones y permiten una explotación más importante regularizada para períodos de varios años.

Con los datos obtenidos en el punto III.2.2 hemos calculado las reservas reguladoras en el transcurso de los seis meses de registro de variaciones del nivel freático.

En efecto, considerando un valor de 0,85 m de variación para una porosidad eficaz de 0,10, tenemos para cada hectárea un valor de 850 m<sup>3</sup> de agua subterránea incorporada en esos 6 meses.

Ese valor nos permitiría teóricamente con un pozo de 100m<sup>3</sup>/ha y cada 50 ha una explotación continua de 18 días. Recién a partir del día 19 de explotación continua se ingresaría a las reservas seculares.

Con los valores hallados se puede calcular para toda el área de estudios un **valor máximo de reservas reguladoras de 850 Hm<sup>3</sup>**. Este valor es acorde con los que pueden surgir del punto "Balance hídrico y valores de infiltración".

En cuanto a las reservas seculares o pasivas, y considerando los valores del punto II.B.3, encontramos que para una valor de coeficiente de almacenamiento de 10<sup>-1</sup> y 22 m promedio de espesor de acuífero tendríamos una **reserva total de 22.000 Hm<sup>3</sup> para toda el área de estudios** y con los acuíferos en condiciones libres. Sin embargo, y considerando los valores de coeficiente de almacenamiento del acuífero en condiciones de un cierto semiconfinamiento tenemos:

<b>Para coeficiente de almacenamiento de 10<sup>-2</sup></b>	<b>Reserva</b> 2.200 Hm <sup>3</sup> .
--	---

Por lo tanto, estos valores nos indican en principio reservas suficientes para la explotación del agua subterránea con destino al riego complementario y de acuerdo a los cálculos de necesidades agronómicas efectuados en el estudio.

Las depresiones del nivel piezométrico ante explotaciones intensas, y de acuerdo al punto II.B.3, son variables, pero podemos considerar, por ejemplo casos donde ante caudales de 100 m<sup>3</sup>/h a 130 m<sup>3</sup>/h a 100 metros de distancia y luego de 8 horas hay un descenso de 0,10 a 0,40 m.

También se observó, luego de 2 días de bombeo continuo, un descenso de nivel de 0,22 m a 150 m del pozo de bombeo y con 100 m<sup>3</sup>/h de caudal.

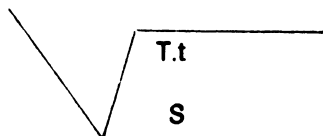
En base a los datos disponibles, es posible proyectar en el tiempo para períodos más extensos. En efecto, podemos considerar la siguiente tabla de valores para caudales de 100 m<sup>3</sup>/h:

Días	100 m de distancia del pozo de bombeo
10	Entre 0,35 y 0,45 m de depresión
30	Entre 0,45 y 0,55 m "
45	Entre 0,47 y 0,60 m "

Para caudales de 120 m<sup>3</sup>/h encontramos:

Días	100 m de distancia del pozo de bombeo
10	0,75m de depresión
30	0,80m "
45	0,85m "

Los valores teóricos del radio de influencia del cono de depresión pueden ser calculados de la expresión:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{T \cdot t}{S}}$$


Los radios hallados en nuestro caso pueden llegar a valor de hasta 2 km en 30 días.

Sin embargo, a pesar de la gran extensión del cono, la depresión efectiva en esa distancia es muy pequeña, sin duda, visto Los valores de depresión a 100 m de distancia y para explotaciones de 100 a 130 m<sup>3</sup>/h.

Por lo tanto, para explotaciones con 1 perforación cada 50 ha la distancia entre pozos de 700 m sería suficiente para minimizar los efectos de interferencias de conos de depresión.

Visto que la cantidad de agua y densidad de perforaciones necesarias no es una limitante para el riego complementario, sí es necesario considerar más cuidadosamente el posible aumento de salinización por interferencia del cono con un curso de agua superficial o aportes de las partes más profundas del acuífero, por lo que de cada caso particular de captaciones deberá hacerse un estudio previo tendiente a predecir y evitar mediante un correcto manejo este posible hecho.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- La infiltración se encuentra entre el 6% y 19% de los valores anuales medios de las precipitaciones. Las mismas oscilan en 950 mm.
- La superficie libre de las aguas subterráneas es de tipo radial (convergente y divergente). Las áreas de descarga coinciden con los valles actuales. Los gradientes hidráulicos oscilan entre 0,005 y 0,005 principalmente.
- Hay áreas con la superficie freática a muy poca profundidad y respuesta rápida ante las precipitaciones.
- En agosto de 1987 los niveles piezométricos se incrementaron en relación a enero-febrero del mismo año. De una media de 5,30 m bajo el nivel del terreno se pasa a una media de 4,45 m.
- Ante condiciones favorables de humedad del suelo, las precipitaciones alimentan en forma inmediata a la freática. En Junín se aprecian promedios de 0,02 m a 0,05 m de ascensos diarios en tanto en Pergamino de 0,02 m a 0,008 m/d, ante diversas lluvias.

- Los descensos de nivel freático por evapotranspiración son para Junín de 0,008 m/d (promedio del verano) y 0,003 m/d (promedio invierno), en tanto que para Pergamino se calculó un promedio de 0,01 m/d en el verano y 0,0025 m para el invierno.
- En Junín se ha verificado un descenso total del nivel piezométrico en 6 años de 3 m, en tanto que en Pergamino, para 3 años, se registra una diferencia de 1,80 m.
- Si bien hay antecedentes de mayores caudales, el caudal máximo más frecuentemente explotado en los acuíferos multicapa del Pampeano es de 100 m<sup>3</sup>/h.
- Los valores encontrados de caudal específico en los acuíferos del Pampeano oscilan entre un máximo de 14,6 m<sup>3</sup>/h/m y un mínimo de 6 a 2 m<sup>3</sup>/h/m.
- El espesor total del acuífero multicapa del Pampeano va de un máximo de 37 m a un mínimo de 12,5 m. La técnica más segura para su determinación es el perfilaje eléctrico de pozos.
- El valor más alto de transmisividad fue de 500 m<sup>2</sup>/d, determinados por ensayos de bombeo.
- En base al coeficiente de almacenamiento, las características litológicas y el comportamiento de la freática ante el bombeo, se considera al acuífero multicapa como semilibre con drenaje diferido.
- Para la totalidad del área se calculó una explotación actual de 37,5 Hm<sup>3</sup>/año de agua subterránea.
- El acuífero Puelches, dado su grado de salinización en la mayor parte del área, no es considerado de interés a nivel regional.
- El acuífero freático presenta mayores valores de conductividad y bicarbonatos hacia las áreas de descarga hidráulica. Químicamente guarda una estrecha relación con el acuífero multicapa. En los puntos analizados aumenta la profundidad el sulfato especialmente.
- El agua del acuífero multicapa es predominantemente bicarbonatada sódica. Para riego intensivo presentaría peligro de sodificación y salinidad, y calidad no buena de acuerdo al carbonato de sodio residual.
- Las reservas bajo semiconfinamiento de la totalidad del área de estudios, sería de 2.200 Hm<sup>3</sup> adoptando una media de 10-2 como valor de coeficiente de almacenamiento, en tanto que las reservas reguladoras (en relación directa con las variaciones piezométricas) entre enero-febrero-agosto/1987 son de 850 Hm<sup>3</sup>. Este valor permitiría teóricamente con un pozo de 100 m<sup>3</sup>/h y cada 50 ha una explotación continua de 18 días sin apelar a las reservas seculares.
- Salvo situaciones especiales, en líneas generales la cantidad-calidad del agua subterránea no constituye una limitante física al riego complementario, en tanto se efectue una correcta prospección en el área de la explotación, un adecuado manejo de la misma y un seguimiento de la evolución cuali-cuantitativa.

- Visto el valor regional de las conclusiones de este estudio, se recomienda, al tomar cada caso en particular, una prospección hidrogeológica válida para el mismo, el cual deberá atender a las condiciones geomorfológicas, geológicas y resistivas del subsuelo como mínimo.
  
- Ante un riego extensivo se necesita un control permanente de la freática en aquellas áreas en que se halla a poca profundidad y con alta dinámica.
  
- Se recomienda que las perforaciones sean encamisadas, con filtro adecuado y engravado, debiendo permitir la medición del nivel de agua en el pozo.
  
- Se recomienda un programa rutinario de prevención y corrección oportuna de problemas que puedan reducir el caudal y la vida útil del pozo, así como también el periódico control de la calidad del agua y niveles piezométricos.
  
- En principio se estima que una perforación cada 700 m, explotando un caudal de 100 m<sup>3</sup>/h con destino a riego extensivo estacional y con un control adecuado, es una densidad aceptable a la luz de los datos de este estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Ayers R.S. y Westcot, D.W.- "Calidad del Agua para la Agricultura". FAO, Roma. 1976.
- Heras, Rafael . "Hidrología y Recursos Hídricos", Centro de Estudios Hidrográficos I, II. Madrid. 1976.
- Custodio E. y Llamas.M.R. "Hidrología Subterránea". Tomos I y II. Edic.Omega S.A. Barcelona. 1983.
- Ange, M.P. y Hernández, M.A., "Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. Coloquio: Hidrología de grandes llanuras" UNESCO-CONAPHI. 1983.
- Castany, G. Ed.. "Tratado práctico de las aguas subterráneas". Barcelona. Omega S.A. 1971.
- "Estudio de alternativas y factibilidad de obras de regulación y de aprovechamiento múltiples del Río Arrecifes". Buenos Aires, Dirección Provincial de Hidráulica, Latinoconsult-CONINTEC.
- Fidalgo, F. "Algunas características de los sedimentos superficiales en la Cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada" Coloquio.Olavarría (Buenos Aires). UNESCO-CONAPHI. 1983.
- Kruseman, G.P. y Ridder, N.A. "Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo". Int. Inst. for Land.Holanda. 1975.
- López, A.D. "La hidrogeología de la ciudad de Pergamino y zona rural aledaña". Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 1979.
- Salas, J.M. y col."Contribución al estudio geohidrológico del nordeste de la provincia de Buenos Aires". Serie Técnica Nro.24. EASNE-CFI. 1972.
- Salas, J.M. y col."Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires". Coloquio UNESCO-CONAPHI Olavarría. (Buenos Aires).1983.
- Santa Cruz, J.N. "Estudio sedimentológico de la formación Puelches en la provincia de Buenos Aires".Rev. Asoc. Geológica Argentina.Tomo XXVII, Nro.1.1972.
- Vargas, W. "Excesos y déficits de la humedad en la región húmeda y semiárida argentina. Buenos Aires. INCYTH. 1980.





**FIGURAS**



FIGURA 1

# Area de los estudios hidrogeologicos

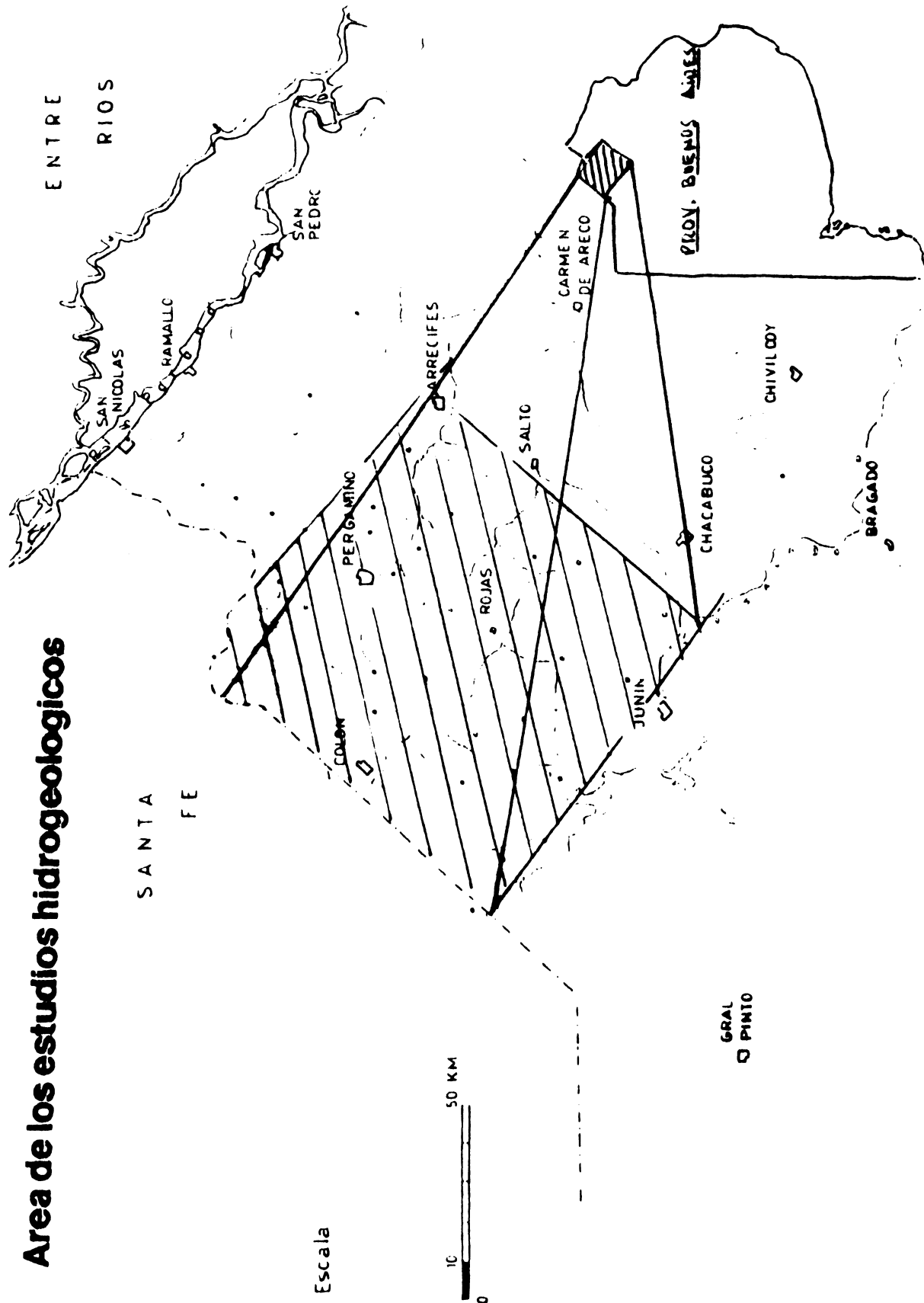






FIGURA 4

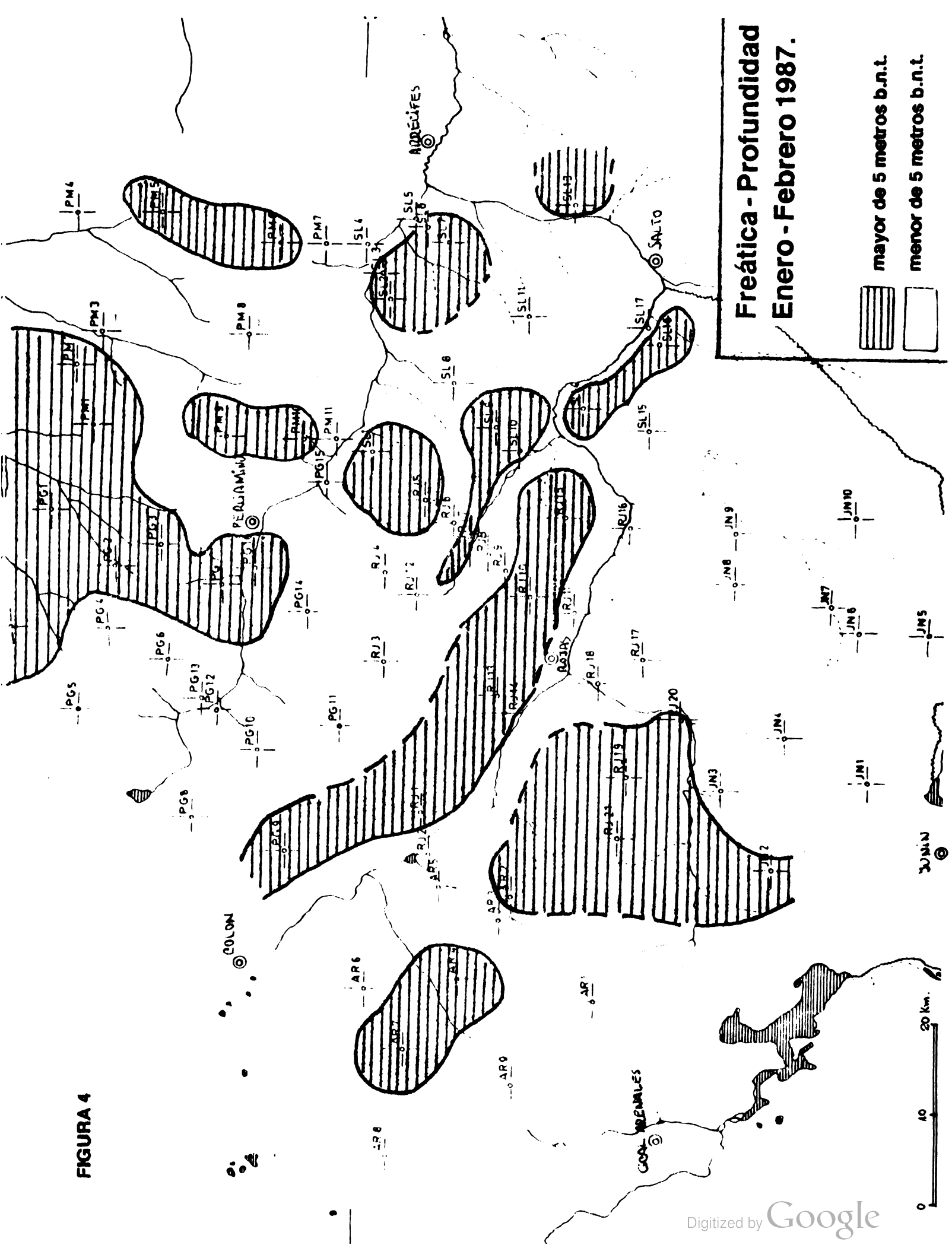
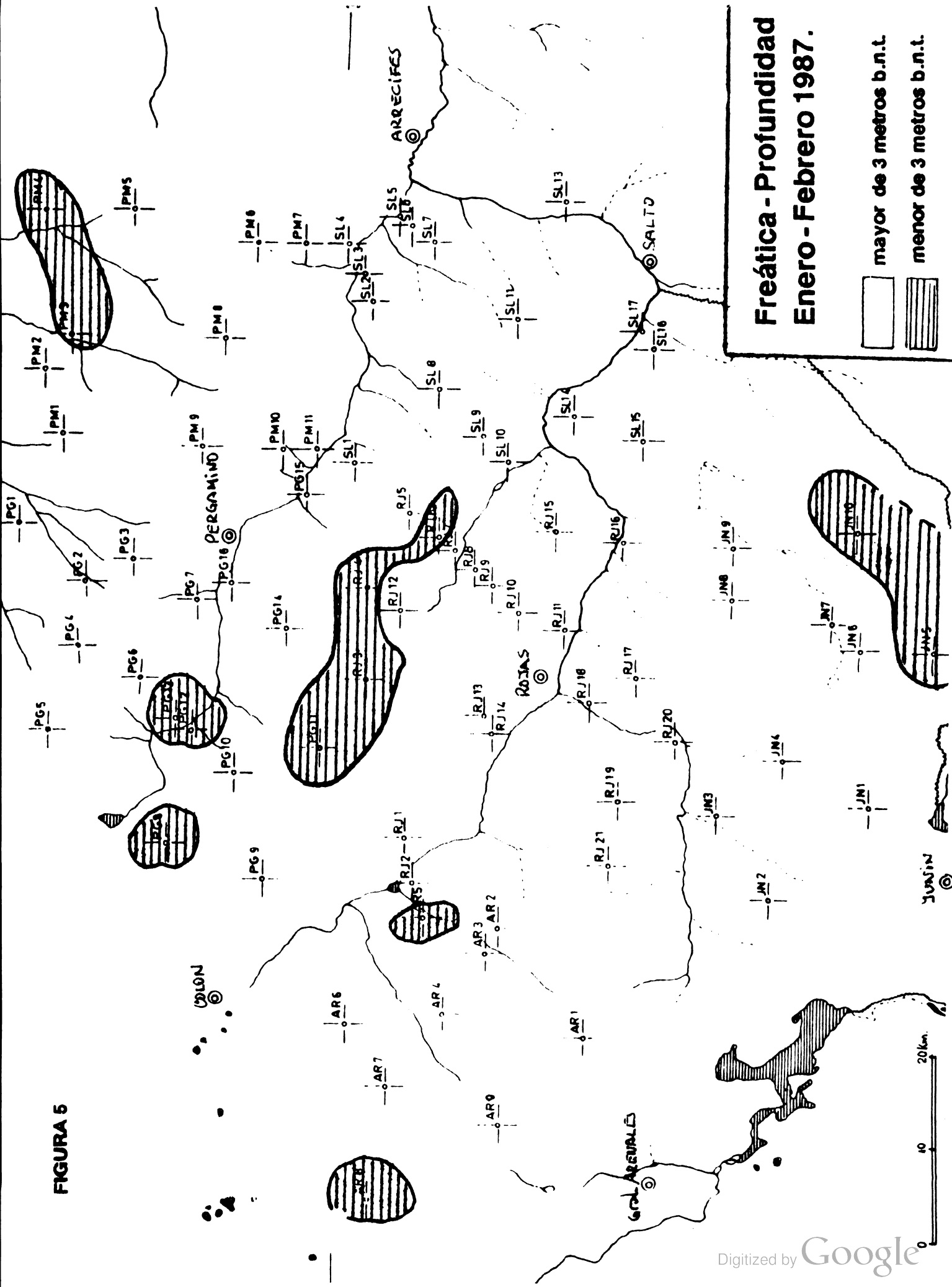


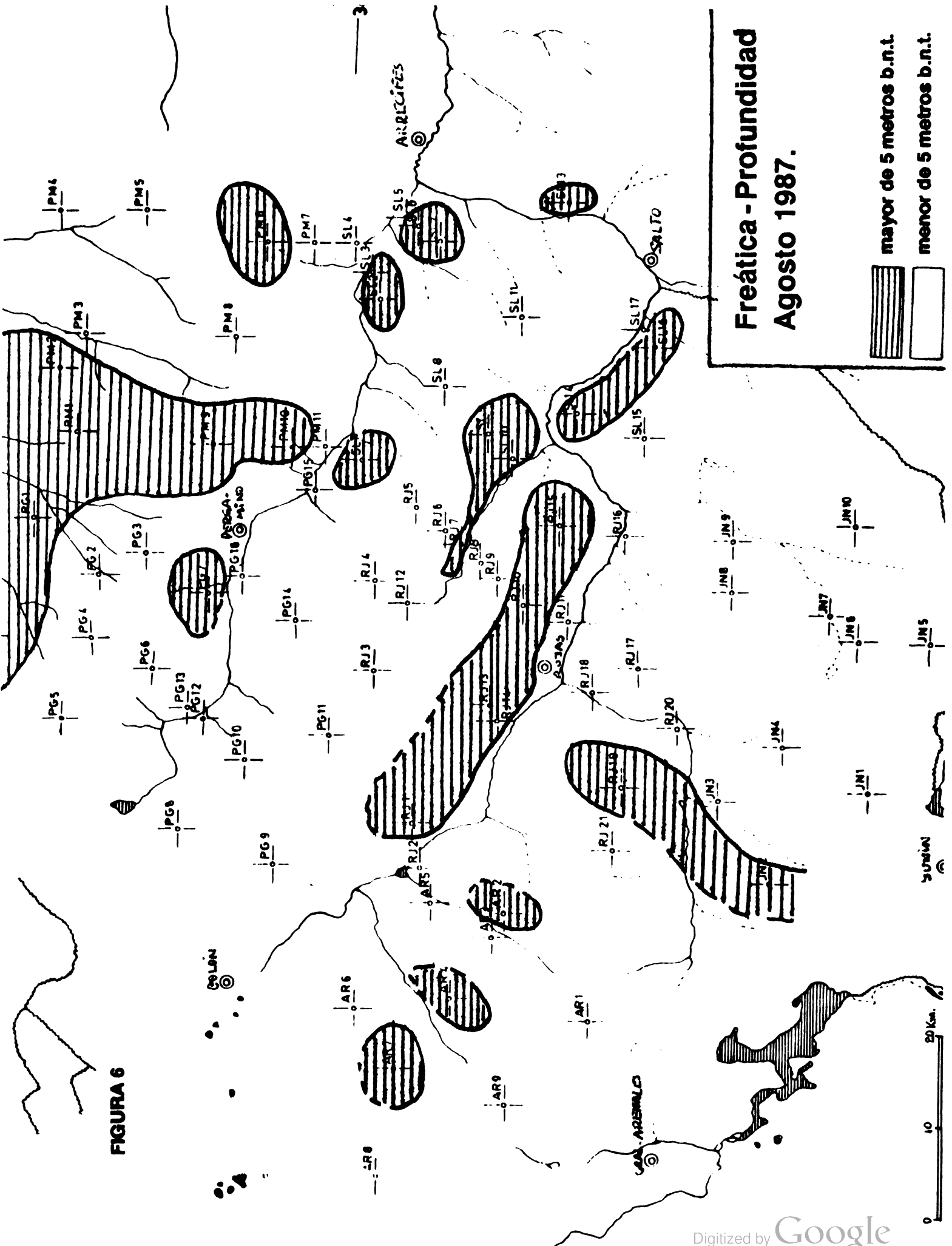
FIGURA 5



**Freática - Profundidad  
Enero - Febrero 1987.**

mayor de 3 metros b.n.t.  
menor de 3 metros b.n.t.

FIGURA 6



# Freática - Profundidad Agosto 1987.

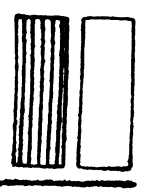
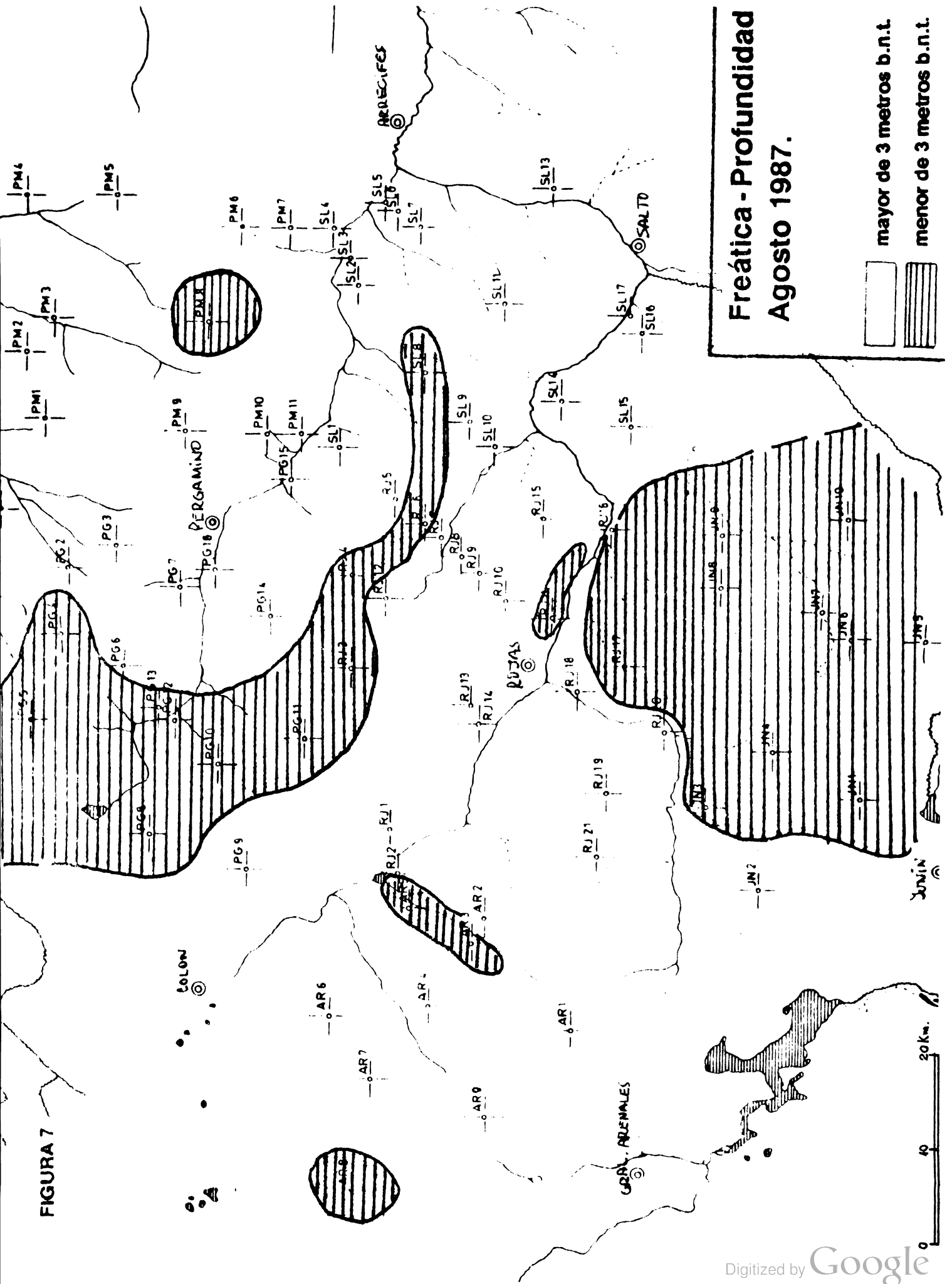




FIGURA 7



# Freática - Profundidad Agosto 1987.

mayor de 3 metros b.n.t.  
menor de 3 metros b.n.t.

**FIGURA 8**

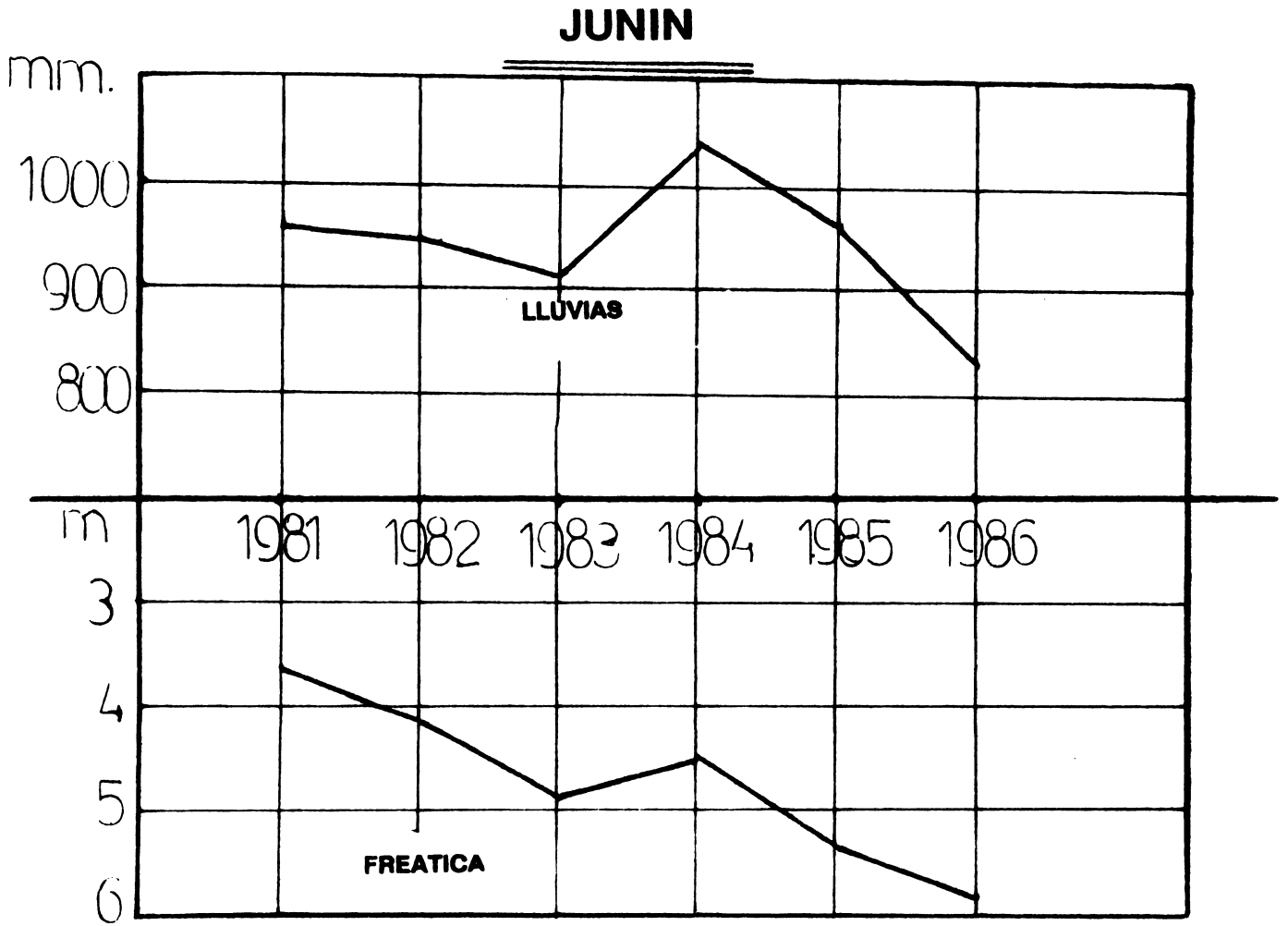


FIGURA 9

# VARIACION DEL NIVEL FREATICO

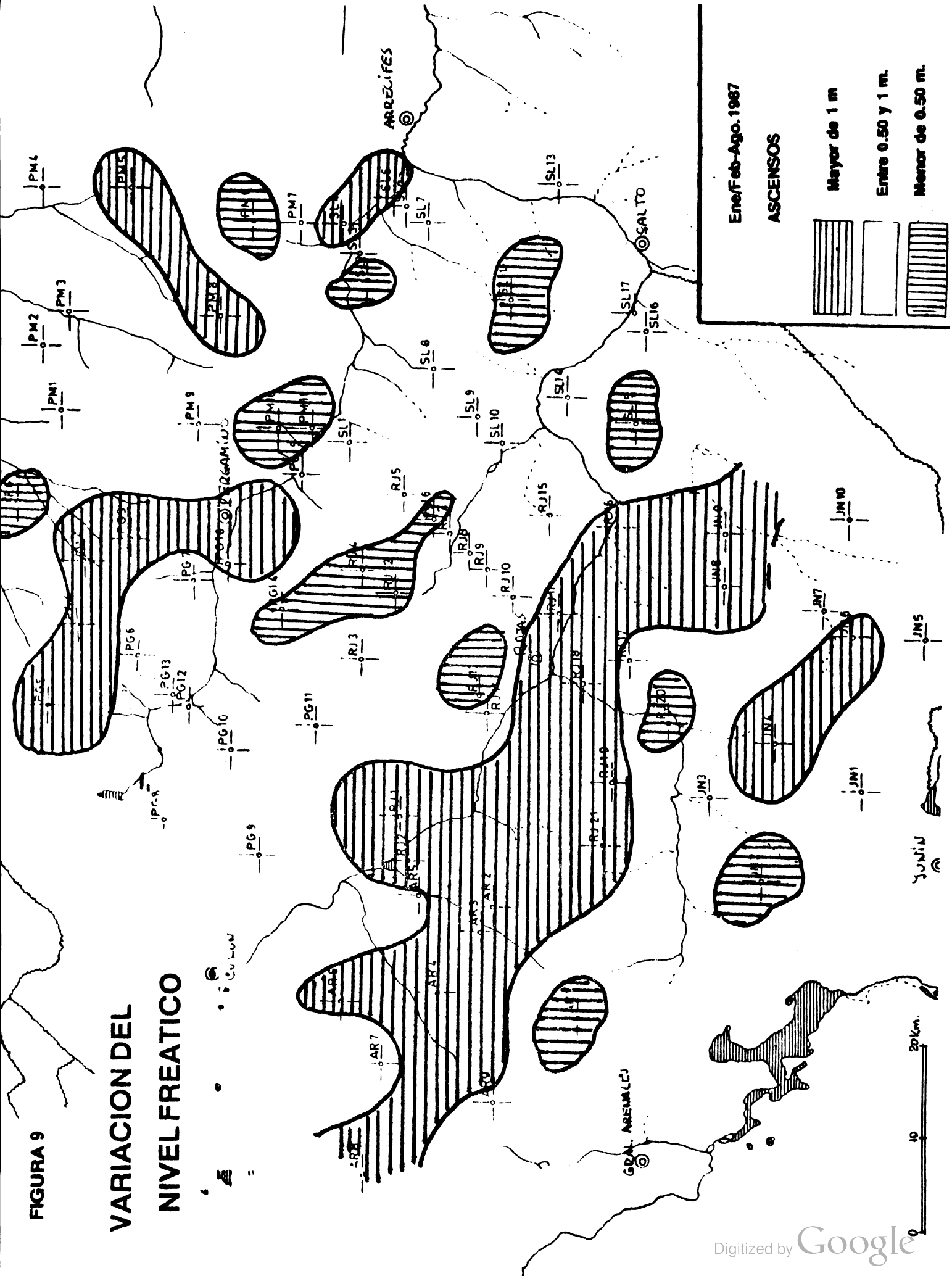


FIGURA 10

# CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

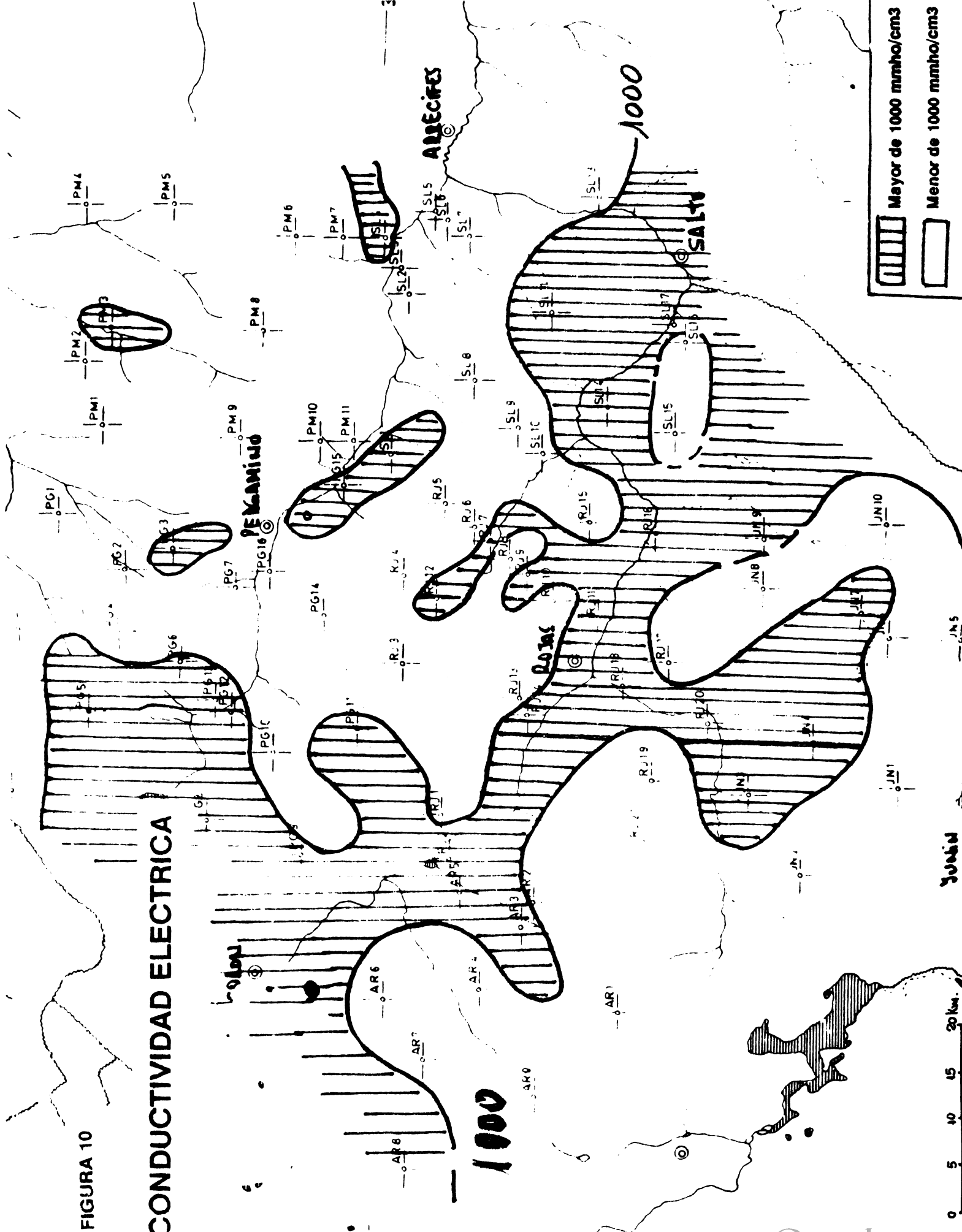
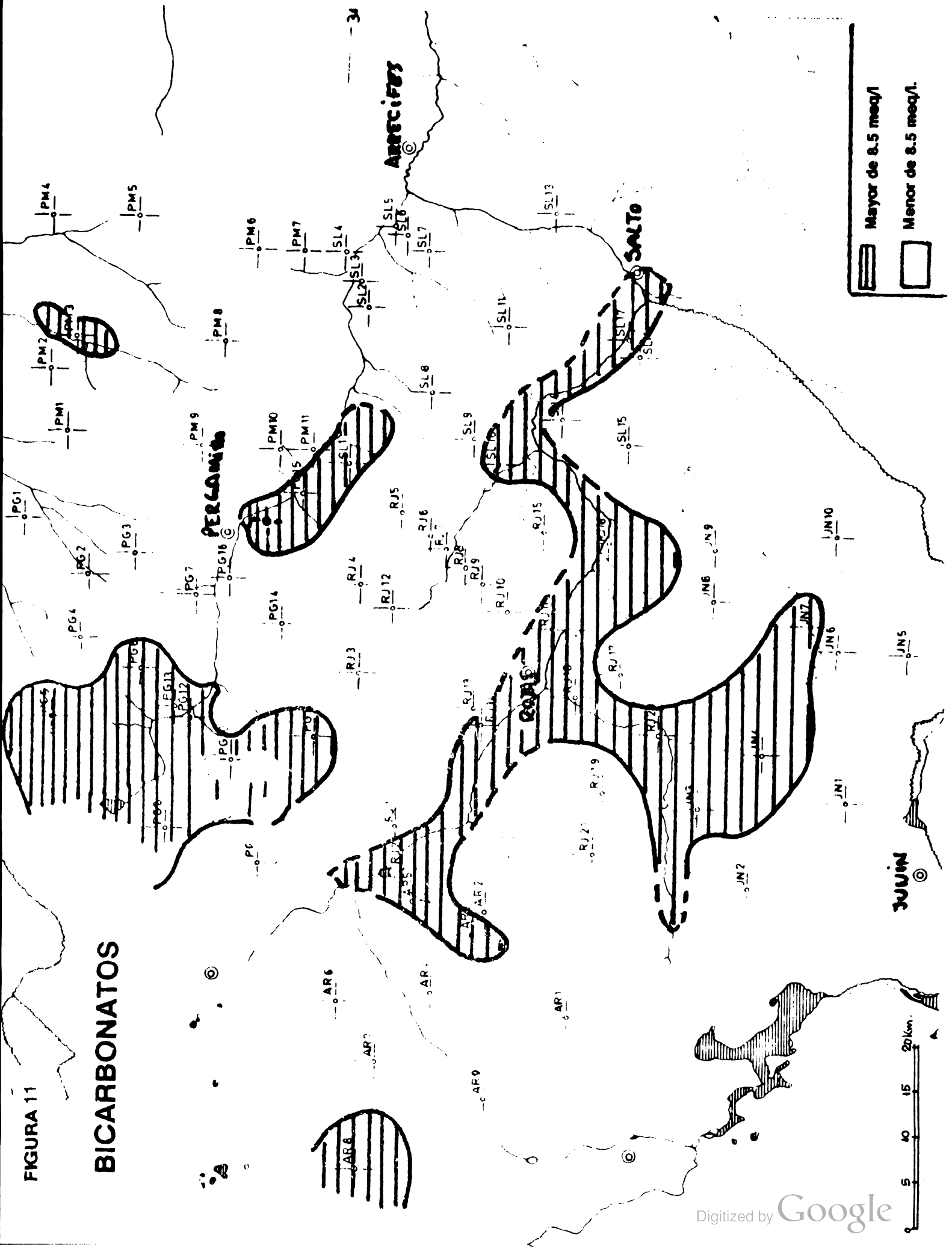


FIGURA 11

# BICARBONATOS



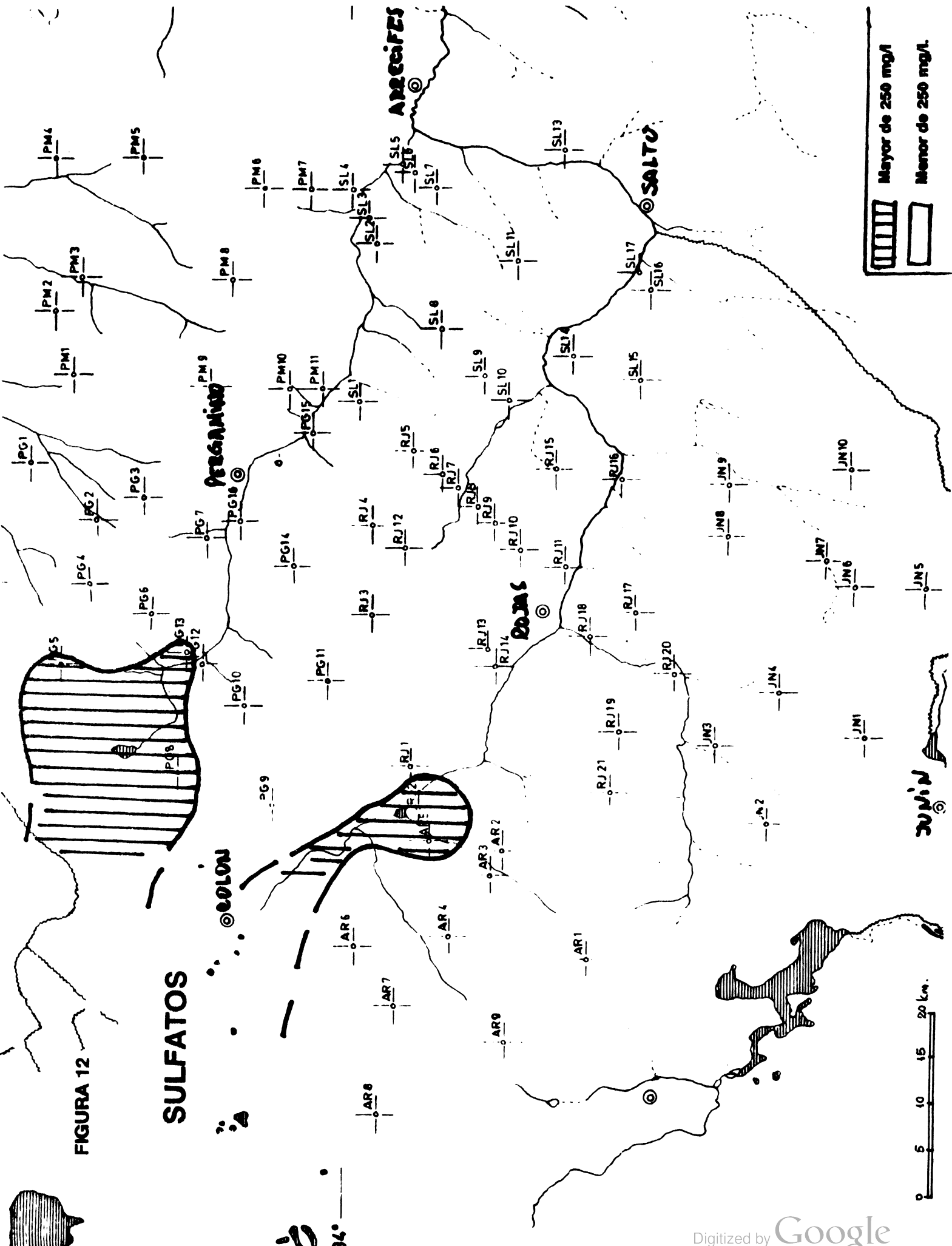




FIGURA 12

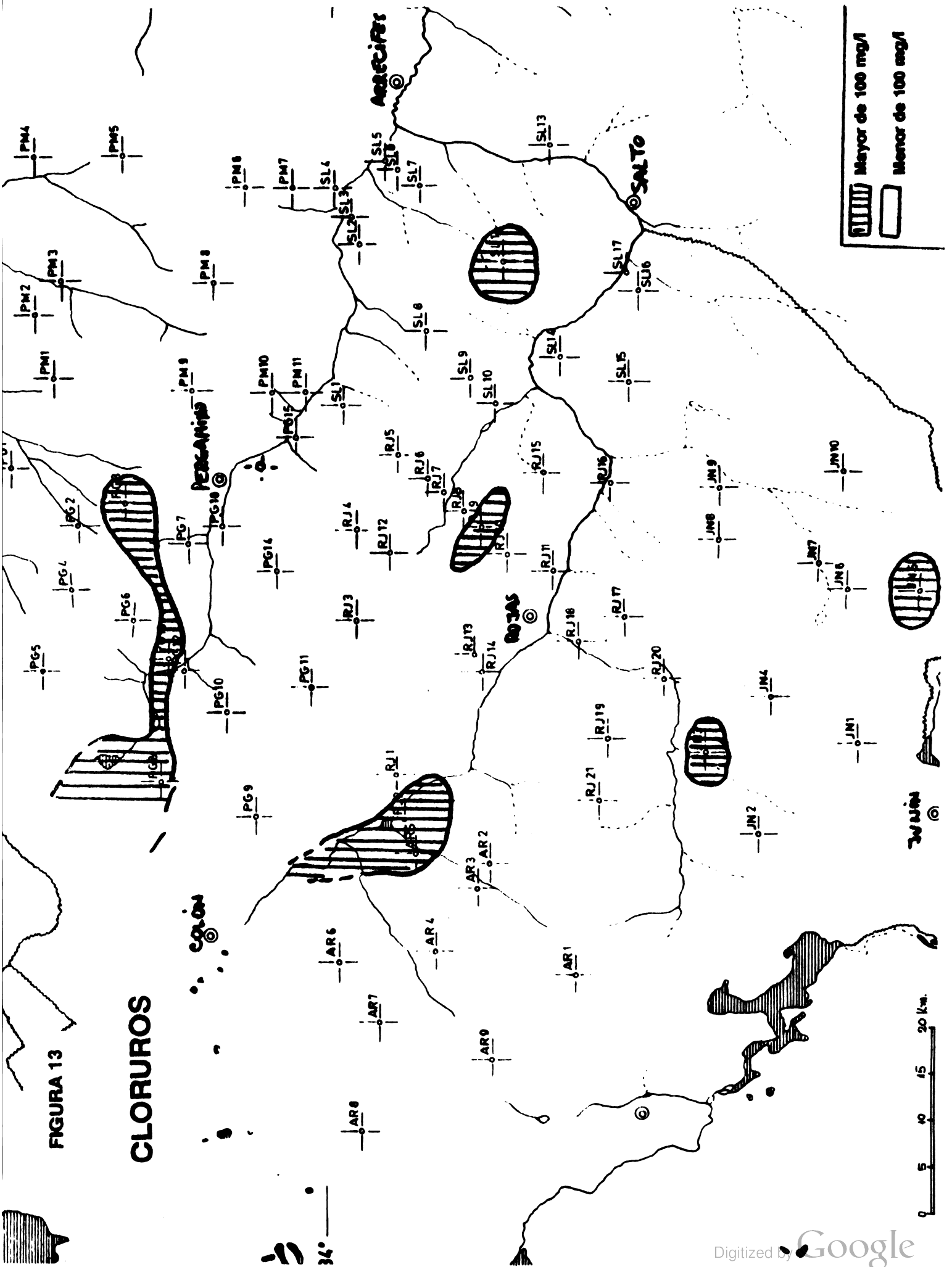
**SULFATOS**

 Mayor de 250 mg/l  
 Menor de 250 mg/l

0 5 10 15 20 Km.

FIGURA 13

# COLOROS



Legend for concentration levels:

- Vertical hatching: Mayor de 100 mg/l
- Horizontal hatching: Menor de 100 mg/l

FIGURA 14

# CONARES

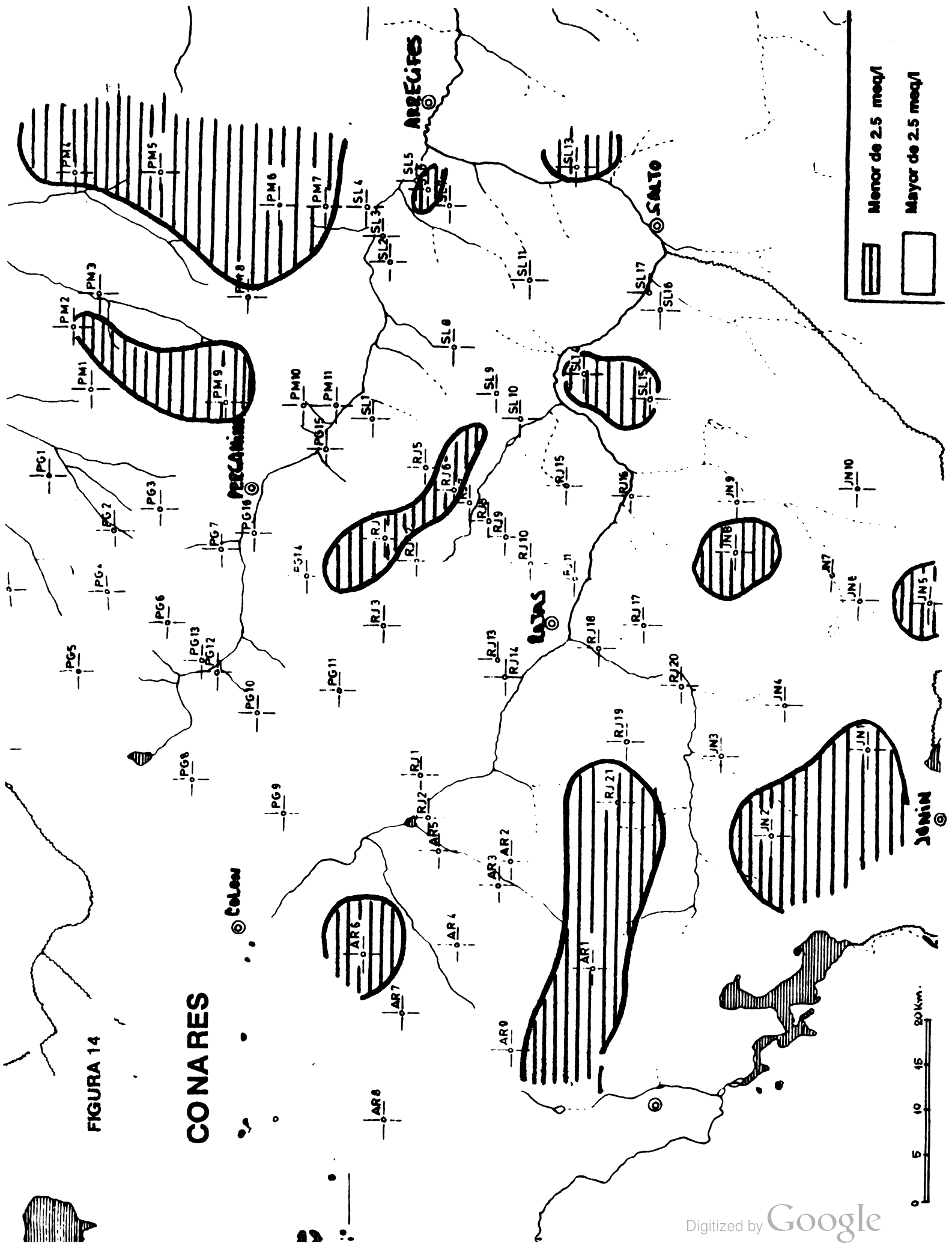






FIGURA 16

RASAJUST.

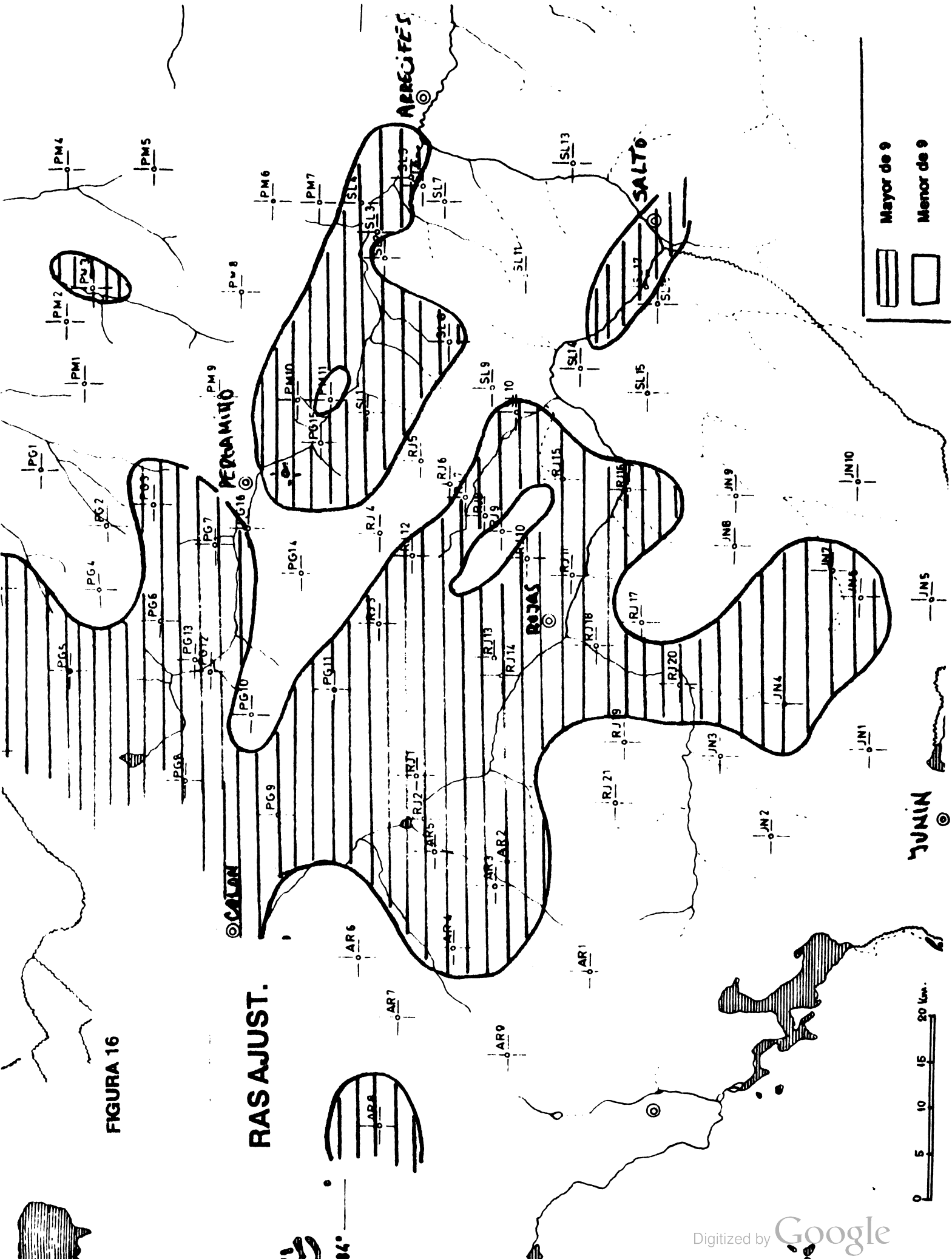


FIGURA 17

DIAGRAMA DE PIPER

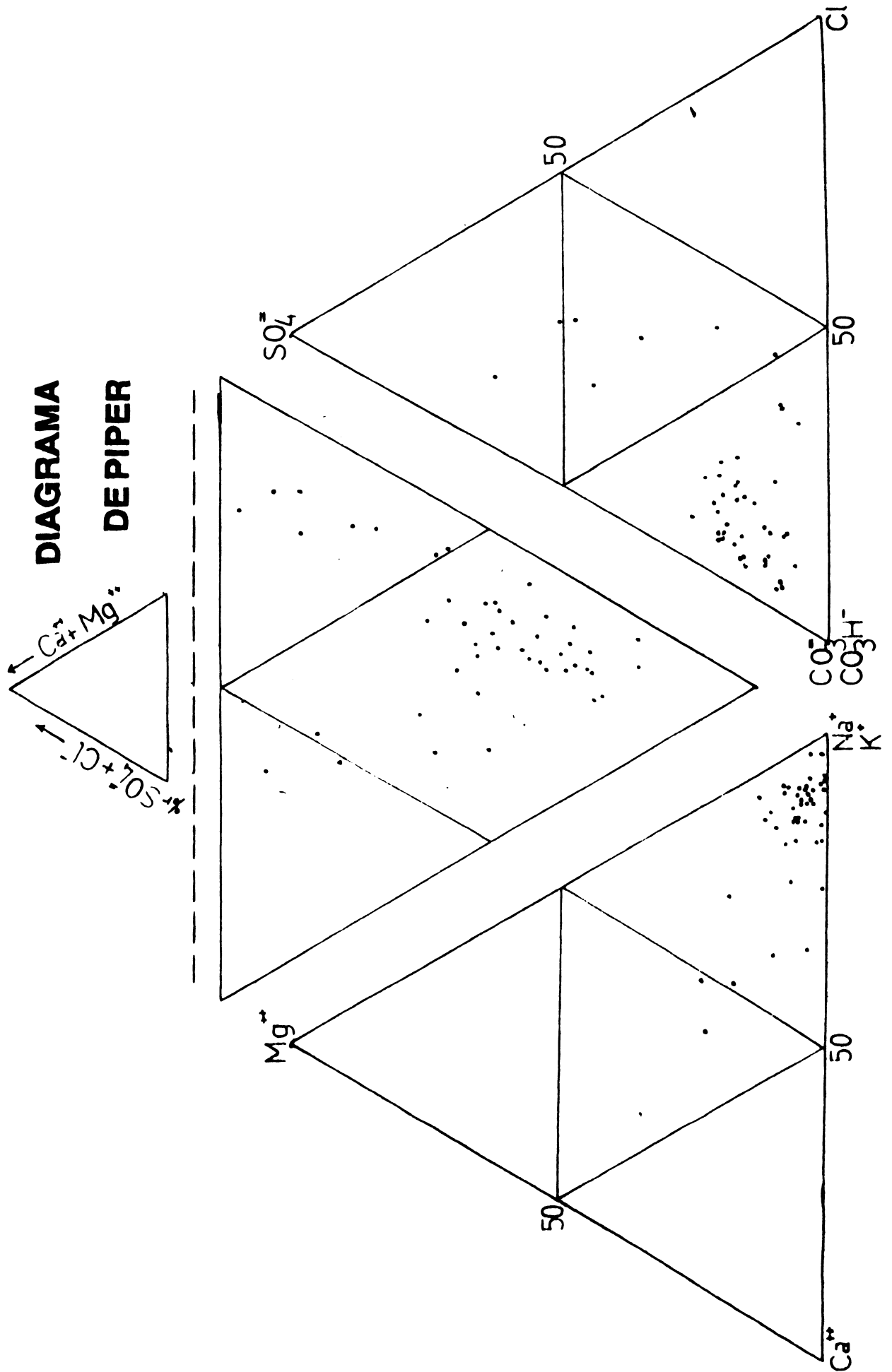


FIGURA 18

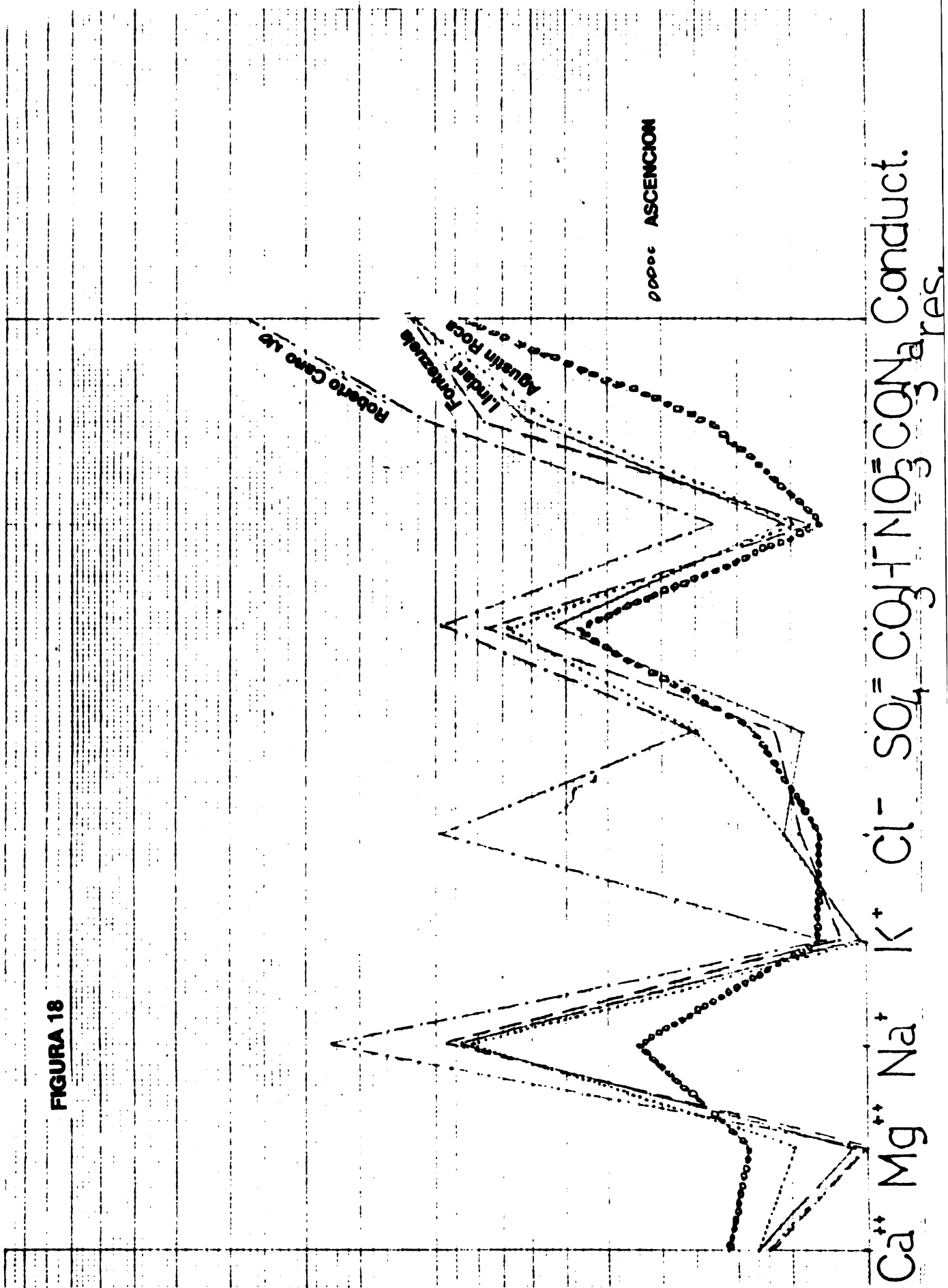
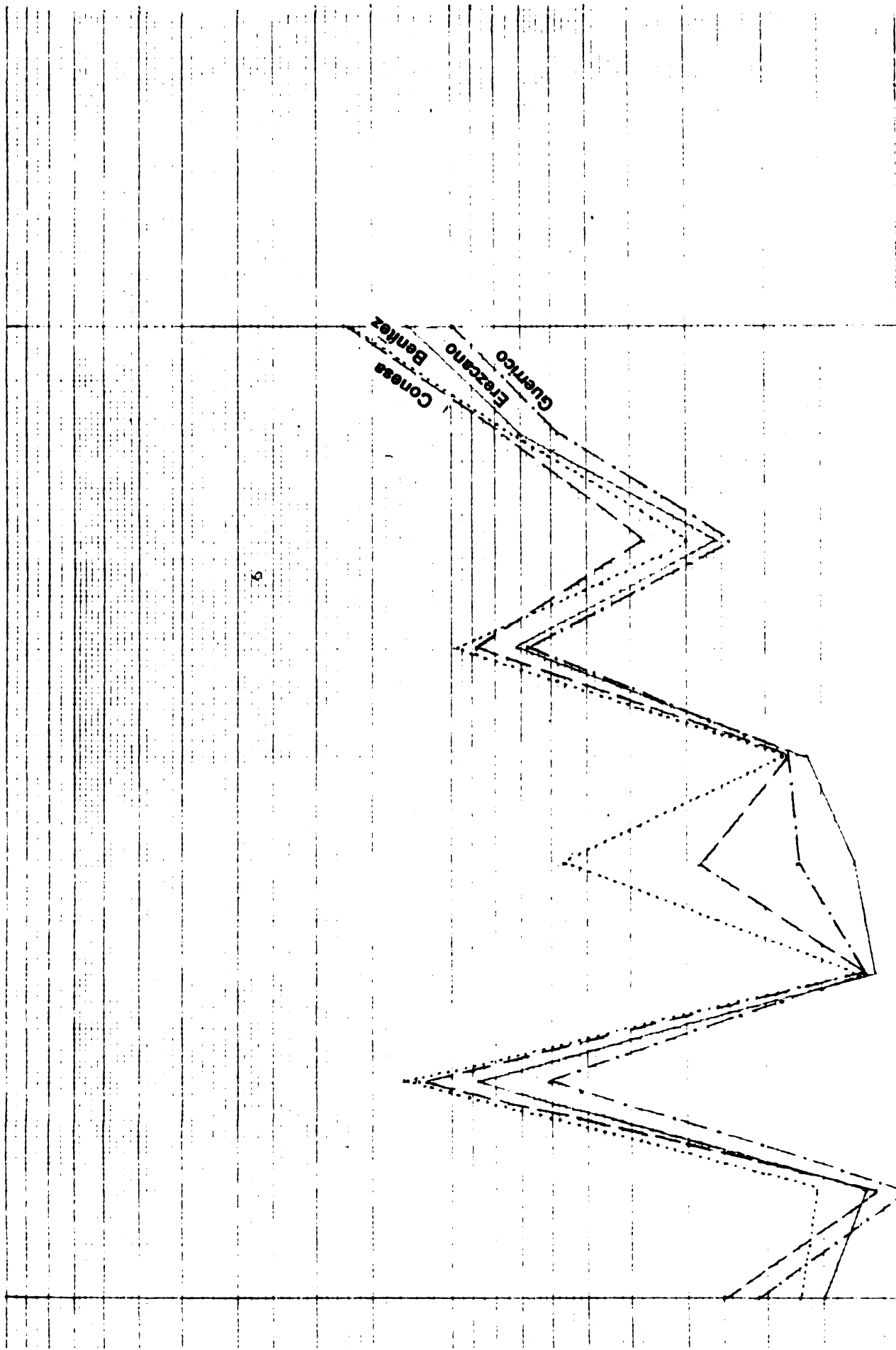
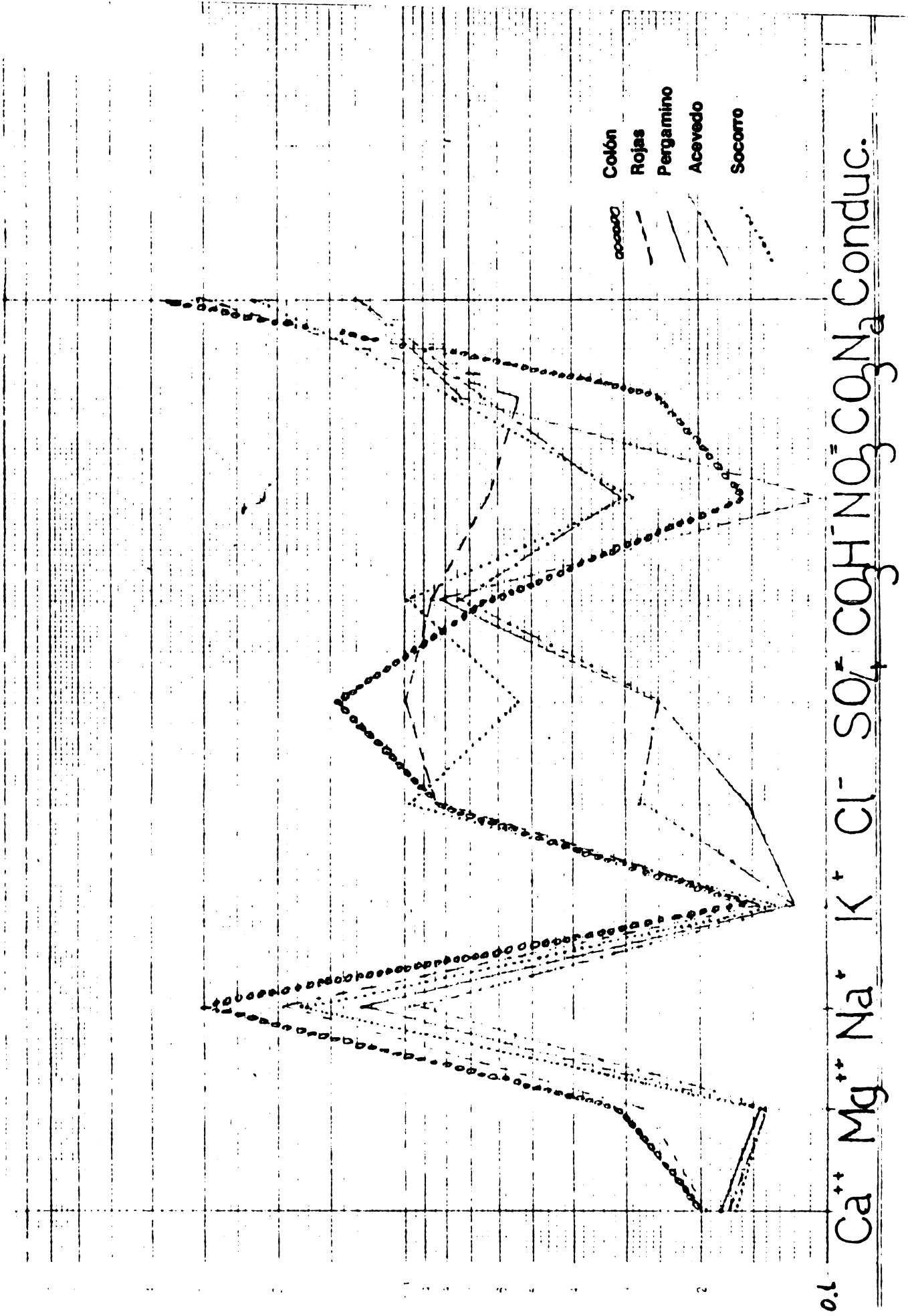


FIGURA 18a.

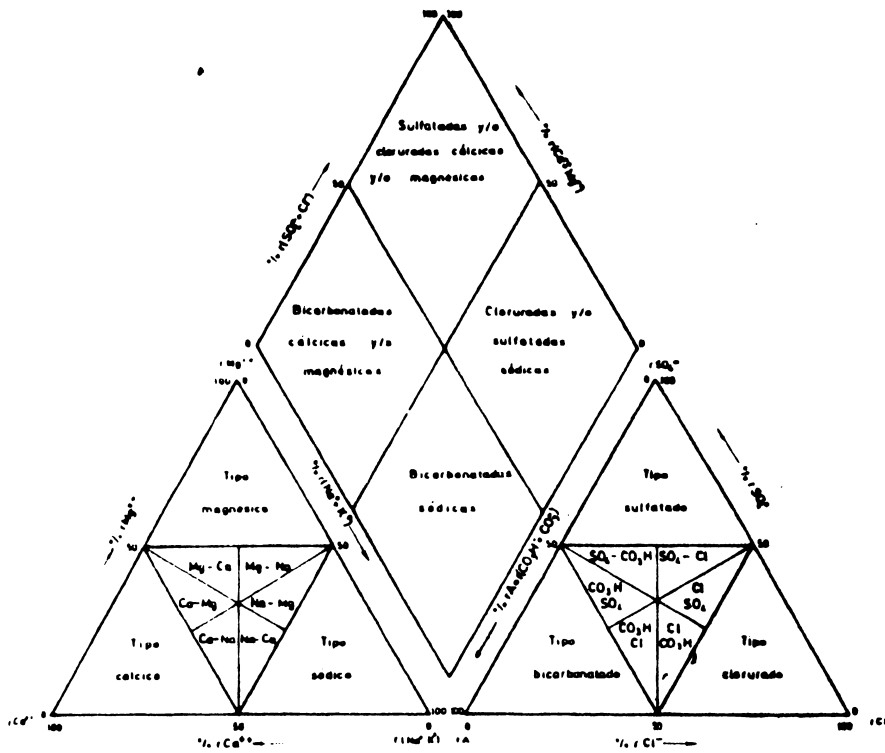


Ca<sup>++</sup> Mg<sup>++</sup> Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup> Cl<sup>-</sup> SO<sub>4</sub><sup>=</sup> CO<sub>3</sub>Na CO<sub>3</sub>Mg RESID. CONDUCT.

FIGURA 18b.

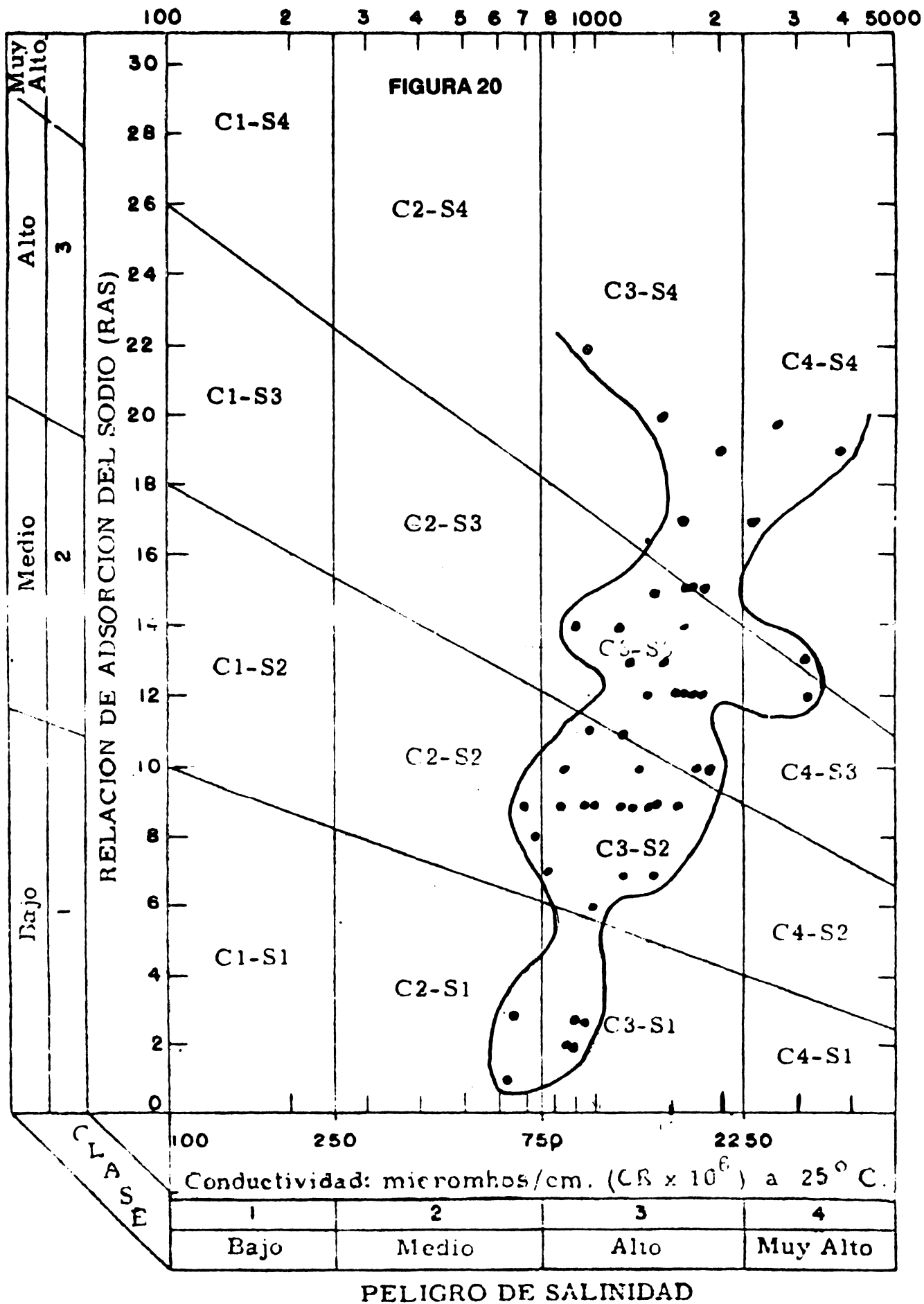


**FIGURA 19**



**Tipos de agua deducidos de un Diagrama Triangular de Piper (Custodio).**

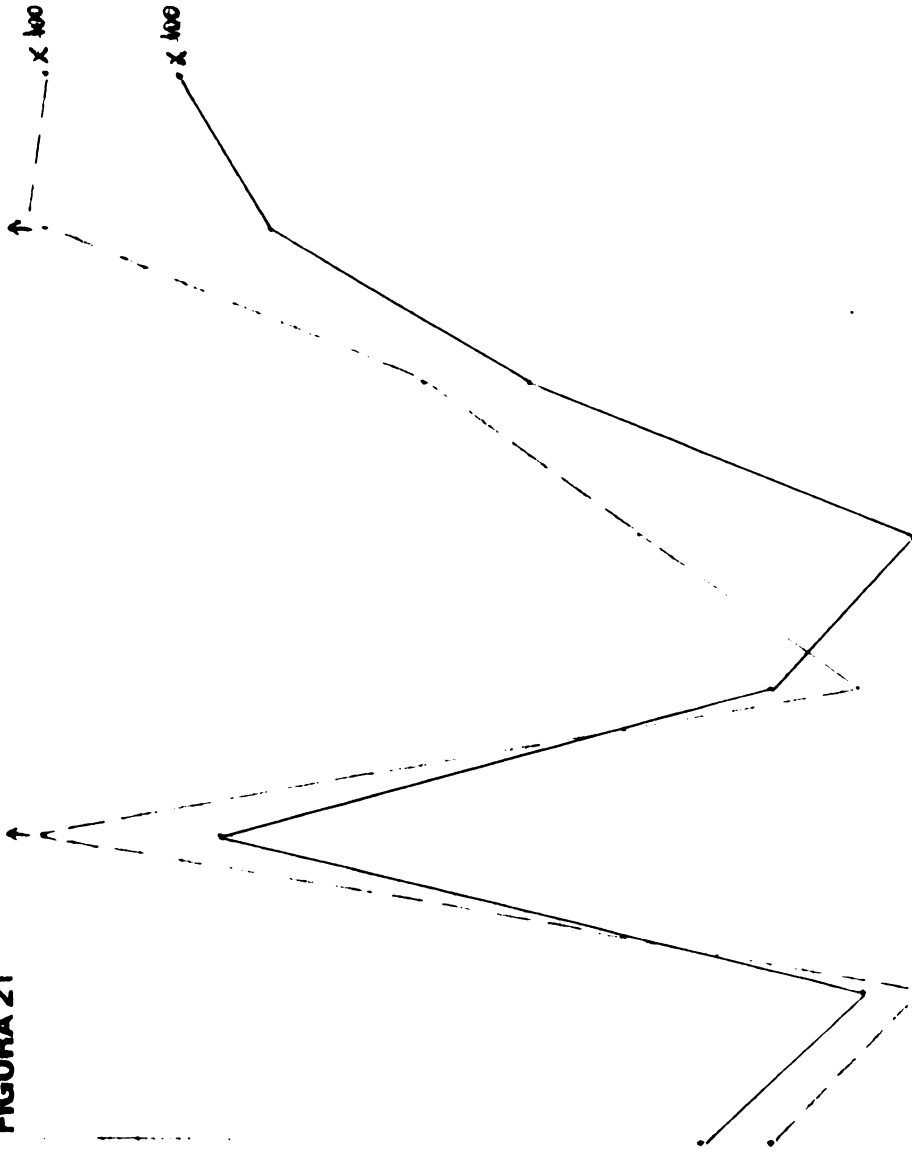
PELIGRO DE SODIO (ALCALI)



**Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.**



FIGURA 21



10

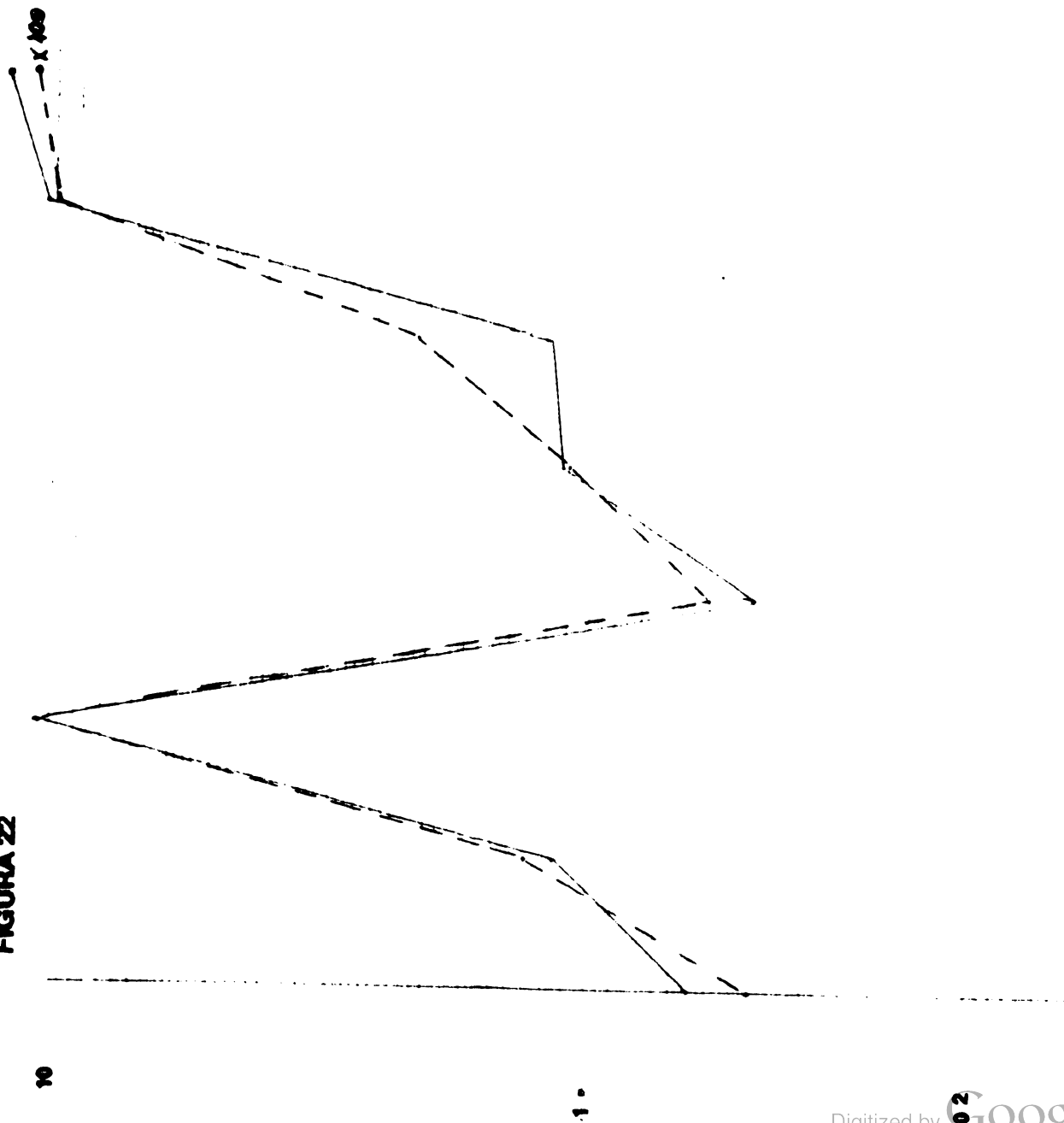
1

**POZO  
Escuela 44  
O. Basualdo**

**FREATICA**  
**PAMPEANO**

$\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^{++}$   $\text{Na}^{+}$   $\text{K}^{+}$   $\text{Cl}^{-}$   $\text{SO}_4^{--}$   $\text{CO}_3\text{H}^{-}$  conduct.

FIGURA 22



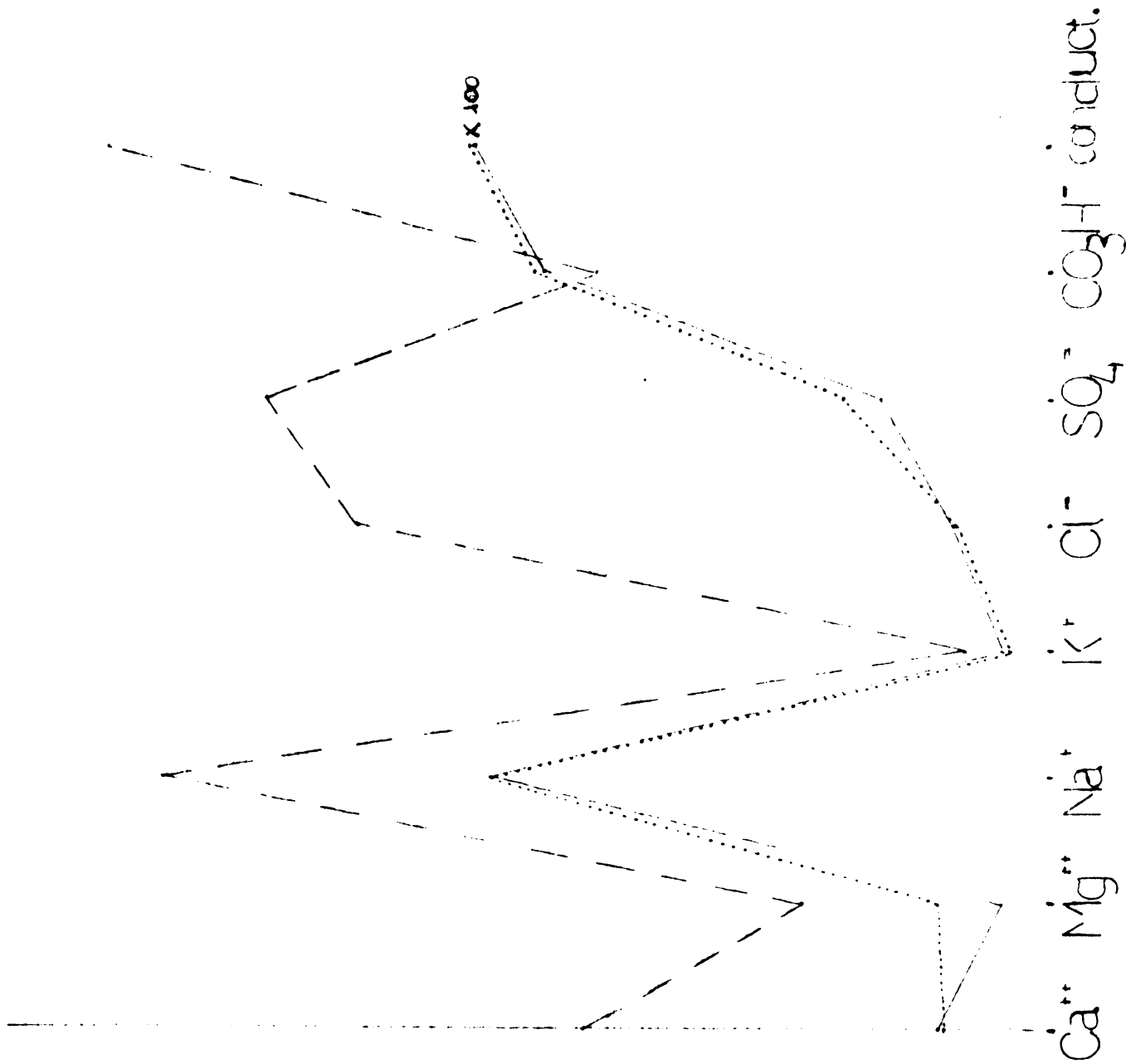
**POZO  
EA. LAS MERCEDES  
Gral. Roca**

FREATICA

PAMPEANO

Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup> Cl<sup>-</sup> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> conduct.

FIGURA 23



**POZO Nro.2  
INTA - PERGAMINO**

FREATICA

PAMPEANO

PUELCHES

X 100



Este trabajo se terminó de imprimir en la  
Unidad de Información y Documentación de la  
Oficina del IICA en la Argentina  
en el mes de junio de mil novecientos ochenta y ocho





**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA**

**OFICINA EN ARGENTINA**

**DEFENSA 113 - PISO 7 - (1065) BUENOS AIRES - TELS. 34-6127; 34-4967; 34-1375; 34-1435 - CABLE: IICA**