

09416

CATALOGADO

09417

N/310

REGISTRO DE INFORMACION TECNICA
CODIGO INTERNO (SJ-III-E-1)

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO

PLAN AGUA SUBTERRANEA
REPUBLICA ARGENTINA



GEOQUIMICA DE LA CUNCA DE AGUA SUBTERRANEA DE VALLE FERTIL

PROVINCIA DE SAN JUAN

por

MILOSLAV JOUKL
Geoquímico
(Naciones Unidas)

QUIMIC. PEDRO LOHN
Hidrogeoquímico
(Argentina)

Este informe se eleva al Consejo Federal de Inversiones previo a su aprobación por las Naciones Unidas o por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y por lo tanto no representa necesariamente los puntos de vista de estas organizaciones.

San Juan

DICIEMBRE 1969

Impreso en Argentina - Printed in Argentine

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

(c) 1970 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Alsina 1401 Buenos Aires República Argentina

I N D I C E
=====

GEOQUIMICA DE LA CUENCA DE AGUA SUBTERRANEA DE VALLE FERTIL

PROVINCIA DE SAN JUAN

	<u>PAG.</u>
A. INTRODUCCION.	1
B. AREAS QUE COMPRENDE EL ESTUDIO.	2
C. ORIGEN DE LA INFORMACION.	2
D. PERSONAL COLABORADOR.	2
E. DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA DEL AREA INVESTIGADA BAJO EL ASPECTO HIDRO QUIMICO	3
F. MUESTREO.	5
G. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA.	7
1. ZONA I - SUBCUENCA NORTE	7
(a) GRUPO 1.	8
(b) GRUPO 2.	11
2. ZONA II - VILLA DE SAN AGUSTIN Y ALREDEDORES	12
(a) GRUPO 1.	14
(b) GRUPO 2.	16
(c) GRUPO 3.	16
(d) POZOS Nº 145 Y 146	17
3. ZONA III	18
4. ZONA IV - ZONA COMPRENDIDA ENTRE LAS LOCALIDADES DE LAS TUMANAS Y ASTICA	20
5. ZONA 5 - BLOQUE PUERTO	21
(a) PARTE NORTE Y CENTRAL, POZOS VF4 Y VF7	22
(b) PARTE SUR.	23
(i) GRUPO 1.	25

(ii) GRUPO 2.	26
H. CONCLUSIONES	28
1. ZONA 1 -- SUBCUENCA NORTE.	28
2. ZONA 2 -- VILLA SAN AGUSTIN Y ALREDEDORES.	28
3. ZONA 3.	29
4. ZONA 4.	29
5. ZONA 5.	30
I. RECOMENDACIONES.	31
J. <u>TABLAS:</u>	
1. FRECUENCIA DEL MUESTREO DURANTE LOS AÑOS 1967-1969.	6
2. COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL AGUA SUBTERRANEA EN %me DE LOS GRUPOS DE LA ZONA I	8
3. CALCULO DE LAS VARIACIONES DE COMPOSICION QUIMICA EN me/l DEL A- GUA DEL POZO N° 139	9
4. VALORES PROMEDIO DE LA RELACION r_{HCO_3} / r_{Cl} PARA LOS GRUPOS DE A- GUA DE LA ZONA II	13
5. COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO EN % me Y me/l DE LOS GRUPOS DE AGUA DE LA ZONA II	14
6. COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO EN % me Y me/l DE LOS GRUPOS DE AGUA DE LA ZONA III.	19
7. COMPOSICION QUIMICA EN % me DE AGUAS EN LOS POZOS VF4 Y VF7	22
8. COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE LAS AGUAS DE LOS GRUPOS DE LA ZO- NA V	24
K. <u>DIAGRAMAS:</u>	
I. DIAGRAMA TRIANGULAR ZONA I	
II. VARIACION DE LA RELACION r_{Ca} / r_{Na} CON EL CONTENIDO SALINO	
III. DIAGRAMA TRIANGULAR ZONA II	
IV. VARIACION DE LA RELACION r_{HCO_3} / r_{Cl} CON EL CONTENIDO SALINO	

V. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA

VI. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA

VII. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA

VIII. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA CON EL CONTENIDO SALINO

D. ESTUDIOS

1. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA mg/l

2. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD EN EL AREA mg/l .. DETALLE VILLA SAN AGUSTIN

3. ZONAS DE SALINIDAD

4. COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

5. COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS-DETALLE VILLA SAN AGUSTIN

M. BUCAR GENERAL 30

N. INTRODUCCION

FE DE ERRATAS

PAGINA 2, párrafo 2, donde dice: "abarca al departamento de Valle Fértil y de La Huerta...", debe decir: "abarca al departamento de Valle Fértil en la provincia de San Juan y está limitado al oeste por las sierras de Valle Fértil y de La Huerta..."

PAGINA 4, párrafos 18-19, donde dice: "un graben de espesor de unos 280 metros...", debe decir: "un graben de espesor de unos 180-200 metros..."

PAGINA 5, párrafo 16, donde dice: "poco profunda, a lo largo de...", debe decir: "poco profunda o a lo largo de..."

PAGINA 6, párrafo 9, donde dice: "la falta de reproductibilidad...", debe decir: "la falta de reproducibilidad..."

PAGINA 9, párrafo 14, donde dice: "la concentración de iones en me/l, con respecto a la suma de cationes y aniones...", debe decir: "la concentración de iones en me/l."

PAGINA 26, párrafo 21, donde dice: "Las aguas tienen inferiores...", debe decir: "Las aguas tienen los menores..."

PAGINA 29, párrafos 21-22, donde dice: "Igualmente las aguas subterráneas arrojan también salinidad baja...", debe decir: "Igualmente las aguas subterráneas arrojan una salinidad baja,..."

GEOQUIMICA DE LA CUENCA DE AGUA SUBTERRANEA DE VALLE FERTIL

PROVINCIA DE SAN JUAN

MILOSLAV JOUKL

Geoquímico (Naciones Unidas)

QUIMICO PEDRO LOHN

Hidrogeoquímico (Argentina)

A. INTRODUCCION:

Se han estudiado para la cuenca de Valle Fértil las características químicas del agua subterránea y su relación con la composición de las aguas superficiales en base a su contenido iónico y salino.

Los iones que se han tenido en cuenta como principales son los siguientes cationes y aniones: Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} y Cl^{-} expresados tanto en me/l como en % me.

Algunas composiciones químicas típicas de las aguas subterráneas y superficiales de este valle, han sido representadas en diagramas circulares, / tal como se observa en el plano 4.

Para la interpretación hidrogeoquímica se han utilizado además diagramas triangulares en función con los sólidos disueltos, gráficos de relaciones iónicas tales como $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Ca}/r\text{Na}$ y $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$ y planos con curvas de isosalinidad.

En base al análisis de los datos químicos e hidrogeológicos que no han sido muy abundantes en algunos lugares, se han podido separar 5 zonas con determinadas características y se ha intentado su posible correlación. También se ha establecido la presencia de algunos aportes, de igual forma como se ha / determinado, con la composición química el movimiento del agua subterránea en función de la influencia sobre su composición en determinadas zonas.

Muy pocos datos químicos se han logrado de la cuenca en la parte que corresponde a la provincia de La Rioja y por consiguiente se han considerado como ilustrativos.

B. AREAS QUE COMPRENDE EL ESTUDIO:

El área comprendida por este estudio, con una superficie de 3.000 Km², abarca el departamento de Valle Fértil y de La Huerta, al este por el límite con la provincia de La Rioja, al norte se extiende hasta la localidad de Los Baldecitos y al sur hasta la Ruta Nacional N° 20 que une a la Provincia de San Juan con Córdoba.

A fin de lograr algunos datos que permitieran correlacionarlos con los obtenidos en el valle en estudio, se ha investigado parte de la continuación de la cuenca en la provincia de La Rioja, de tal forma que se ha considerado la parte comprendida al oeste de la divisoria de aguas superficiales de la Sierra de Chepes.

C. ORIGEN DE LA INFORMACION:

Para los estudios de interpretación hidrogeológica del presente trabajo han sido utilizados los datos aportados por los análisis químicos ejecutados en el Laboratorio del Plan Agua Subterránea.

No se conocen otros estudios de este tipo, salvo aquéllos hidrogeológicos en donde se mencionan sólo datos de análisis con ninguna correlación.

Puede mencionarse el informe de Rocca, J.A. (1) que incluye análisis de ríos y pozos de sólo una parte del área en estudio.

Se han utilizado también los informes internos del Plan de las secciones geología e hidrogeología a fin de correlacionar las condiciones hidrogeológicas con las características químicas del agua subterránea.

D. PERSONAL COLABORADOR:

Ha sido muy importante la labor desarrollada por todo el personal que ha tomado las muestras programadas. Cabe mencionar aquí a los señores Dinsterstein, F. y Coria, A.

Muy eficaz ha sido la tarea de todo el personal de la sección hidrogeología.

geoquímica que nos secunda, ya sea en las labores analíticas, de cálculo, dibujo y dactilografía.

Se agradece también la colaboración de la señorita Vila, E.

E. DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA DEL AREA INVESTIGADA BAJO EL ASPECTO HIDROQUIMICO;

Las sierras que delimitan al oeste la cuenca de agua subterránea de Valle Fértil son de edad precámbrica, formada por rocas metamórficas impermeables. Estas sierras están bastante diaclasadas y falladas a lo largo de ellas, existiendo por ello numerosas vertientes. Se presentan algunos afloramientos de edad precámbrica como calizas cristalinas, de edad triásica y paleozoica como areniscas, conglomerados y lutitas y formaciones de edad terciaria tales como limolitas, arcilitas y areniscas (2).

A lo largo de estas montañas se ha depositado el aluvión cuartario sobre un basamento formado principalmente por arcillas y areniscas. Desde la zona de San Agustín hacia el sur, y siguiendo la dirección estructural de la Sierra de Valle Fértil se ha comprobado la existencia de una falla que divide al valle longitudinalmente en dos bloques (3). El aluvión está formado por gravas y arenas de espesores variables sin mayores intercalaciones arcillosas, de tal forma que principalmente la cuenca de agua subterránea se comporta como libre, suponiéndose un cierto confinamiento al sur de la misma (4).

De todos modos puede suponerse la existencia de limos o arcillas / mezclados con los sedimentos aluvionales, aunque esto no significa la presencia de capas. De otra forma sería muy difícil explicar los cambios de composición química del agua subterránea que ocurren en algunos lugares. Estos cambios se verifican generalmente en forma rápida y en cortos trayectos, lo que es posible sólo por la existencia de materiales finos ya que ello aumenta la superficie de contacto, favoreciendo el intercambio iónico y la disolución.

El relleno aluvial que forma el valle puede ser dividido arealmente en tres partes principales:

a) el relleno cuartario comprendido entre la Sierra de Valle Fértil y la Loma Negra, al norte de Usno, forma una pequeña subcuenca con un espesor de unos 40 metros, profundizándose levemente hacia el este. Este aluvión se encuentra depositado sobre el basamento impermeable formado en su mayor parte por arcillas (Terciario limolítico?).

Las dos partes restantes en que se ha dividido el aluvión están separadas por la falla, así:

b) en el bloque occidental levantado el espesor del relleno es escaso, menos de 30 metros, depositado sobre un basamento formado por arcillas, areniscas y limolitas. Este relleno está compuesto principalmente de grava, gravilla y arena. Constituye la zona pedemontana, siendo actualmente el área más cultivada del valle y en donde se encuentran ubicados la mayor parte de los pozos muestreados, tal como se desprende del informe de Agie, J. (5).

La extensión conocida de este bloque levantado va desde el norte de San Agustín, con un ancho de aproximadamente 10 Kms., hasta cerca de la localidad de Chucuma, con un ancho de 1 Km., lo que significa que los pozos ubicados al sur de esta localidad pertenecen todos al bloque hundido.

c) en el bloque oriental hundido que forma un graben de espesor de unos 280 metros, se encuentra un aluvión cuartario formado principalmente por gravas, arenas y limos, disminuyendo la permeabilidad con la profundidad (3).

En general este graben estaría muy poco muestreado debido a la escasa cantidad de pozos perforados en la zona al este de la falla, con excepción / de los ubicados al sur de Chucuma. Esto se debe a que en general los niveles de agua en la parte norte se encuentran muy bajos, mientras que a medida que se aproximan al sur el agua se encuentra a menores profundidades.

El movimiento del agua de acuerdo a las curvas equipotenciales (6) sería hacia el sur, en donde debido a la topografía superficial baja se produce una zona de descarga (4), y por las condiciones de elevada evaporación se forman las salinas de Mascasín, nivel de base a las aguas superficiales (2).

En las sierras se producen precipitaciones anuales del orden de 250 mm. de promedio (7) con valores mayores para ciertos lugares y períodos, forman así una serie de cuencas imbríferas, que según su importancia tienen mayor o menor influencia sobre las aguas subterráneas.

En general, la red hidrográfica superficial está formada por ríos temporarios, el río del Valle y de Las Tumanas principalmente, son ríos más o menos permanentes. El primero es desviado para su embalse, aunque existen evidencias que no es retenido totalmente, lo que justifica la influencia comprobada sobre la composición del agua subterránea en la zona de San Agustín.

Debido a la presencia de diaclasas y fracturas de las sierras de Valle Fértil, de La Huerta y también en la provincia de La Rioja en la Sierra de Chepes, se observan una serie de vertientes con caudales pobres.

Las zonas cultivadas coinciden en general con la distribución de los pozos (5). Existe alguna vegetación de freatófitas, las que se agrupan siguiendo cierta alineación, debida tal vez a la existencia de agua subterránea poco profunda, a lo largo de ríos actualmente secos. Esto podría indicar la presencia de una red de drenaje natural, tal como se deduce de la fotografía aérea, está señalado en el trabajo de Rocca, J.A. (1).

Para conocer mayores detalles sobre estas breves consideraciones de consultarse la bibliografía señalada en este trabajo.

F. MUESTREO;

El muestreo de los pozos fue programado en base al censo realizado en todo el Valle Fértil, en donde se han tenido en cuenta tanto la distribución de los pozos perforados como de los llamados pozos baldes. Como la cantidad de pozos perforados es baja, no tendría valor separar a estos dos tipos de pozos a fin de poder extraer conclusiones respecto a posibles diferencias entre el agua de ambos, en especial debido al efecto de evaporación facilitado en los menús profundos, aunque teóricamente no deberían existir mayores diferencias. En cuanto a la distribución ha debido respetarse la natural, y sólo algunos pozos

forados por el Plan han permitido contar con datos químicos aislados en las partes profundas de la cuenca.

No existe en la mayoría información sobre las condiciones de los mismos, como perfiles, niveles, etc.

Las profundidades de los pozos muestreados varían y, en general, son poco profundos, con excepción de los ubicados en el bloque hundido. En los pozos baldes no ha sido posible aplicar técnicas muy depuradas para la toma de las // muestras, ya que no puede extraerse el agua acumulada para obtener la del acuífero. Esto podría justificar la falta de reproductibilidad encontrada en los resultados de algunas muestras tomadas en un mismo pozo.

Por razones de trabajo no ha sido factible extraer muestras para un mismo y corto período de tiempo, aunque se ha comprobado que en general la composición no varía mayormente con éste. Se ha podido así utilizar la mayoría de los análisis en los trabajos de interpretación. Las variaciones encontradas, teniendo en cuenta análisis ejecutados en diversas épocas, permiten establecer que las diferencias de salinidad son inferiores al 20%, con gran parte menores al 10%. En muy pocos casos se han registrado variaciones superiores al 20%.

Se han tomado también muestras de algunos ríos, y en especial en aquellas épocas en que traen agua los temporarios. Algunas vertientes también han sido analizadas. En la provincia de La Rioja se han muestreado algunos pozos baldes y vertientes a fin de poder utilizar sus datos para relacionar químicamente toda la cuenca, dividida políticamente, por la extensión de los estudios. Las muestras fueron sacadas durante el período comprendido entre el año 1967 y fin del año 1969. La frecuencia del muestreo surge claramente de la siguiente tabla:

TABLA 1

FRECUENCIA DEL MUESTREO DURANTE LOS AÑOS 1967 - 1969

AÑO	AGUAS SUBTERRANEAS	AGUAS SUPERFICIALES	TOTAL	POR CIENTO DEL TOTAL
1967	33	6	39	21
1968	18	11	29	16
1969	105	9	114	63
SUMA	156	26	182	100

G. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA:

El estudio de la composición química del agua subterránea ha sido / dividido arealmente tanto por la distribución zonal de los pozos muestreados, como por las variaciones del contenido salino, tal como puede observarse en el plano 1 en base a las curvas de isosalinidad.

En algunos casos ha sido necesario dividir arbitrariamente las zonas de estudio, y debido a la escasez de datos en ciertas partes del valle no siem- pre ha sido factible relacionar un área con otra.

Por estas razones se ha dividido el área en estudio en cinco zonas principales. Ver plano 3.

1. ZONA I - SUBCUENCA NORTE:

Es la subcuenca comprendida entre la sierra de Valle Fértil y la Loma Negra.

Se observa en general una heterogeneidad en la composición quími ca del agua subterránea. La mayor salinidad se encuentra en el borde occidental hasta la zona cercana a la localidad de Balde del Rosario, disminuyendo hacia / el sureste, con algunas zonas de baja salinidad menores a 1000 mg/l, cercanas al borde y que se encuentran bajo la influencia de la cuenca imbrifera denominada Asilán (8).

La composición química del agua subterránea de esta subcuenca no es posible definirla completamente debido a la escasa cantidad de pozos muestreados y la gran distancia existente entre ellos. Esto permite sacar únicamente información de tipo general. Los datos resultantes de los análisis efectuados sobre las muestras extraídas en esta zona, están ubicados en el diagrama I.

Según la composición es factible distinguir dos grupos, denomina dos "1" y "2", cuyos valores relativos promedio son los siguientes:

TABLA 2

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL AGUA SUBTERRANEA EN %me DE LOS GRUPOS DE LA ZONA I

GRUPO	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	RELACIONES	
	% me			% me			rCa/rNa	rHCO ₃ /rSO ₄
1	8,7	3,9	37,7	4,6	26,4	18,6	0,22	0,18
2	17,0	9,0	25,0	15,4	21,4	11,9	0,69	0,74

No se incluye el promedio de los sólidos disueltos debido a la gran diferencia existente entre sus valores, lo que no daría resultados reales.

Analizando los valores consignados se observa una clara diferencia entre los dos grupos, en particular en los de las relaciones rCa/rNa y rHCO₃/rSO₄, ver diagrama II.

(a) GRUPO 1:

En general las aguas que forman el grupo 1 son alcalinas con un contenido de Na+K superior al 34%. Los bicarbonatos se mantienen inferiores al 6%, y el contenido de cloruros varía entre 13,8% y 27,8%.

El mayor contenido de bicarbonatos (14%), el menor de cloruros (10,1%) y el menor contenido salino (1140 mg/l) corresponde al pozo N° 152.

Los mayores valores de salinidad de este grupo corresponden a 7210 mg/l (pozo N° 139) y 5220 mg/l (pozo N° 141).

Las aguas correspondientes a este grupo fueron extraídas de pozos ubicados en la zona de Los Baldecitos, Balde del Rosario y sólo dos ubicados cerca del borde oriental de esta subcuenca, los N° VF5 y 154.

Las aguas cercanas a la localidad de Los Baldecitos, pozos N° 151, 152 y 153, si bien tienen diferentes contenidos de sólidos disueltos (2300, 1140 y 2680 mg/l respectivamente), pueden tener un origen similar. Las aguas más salinas pueden ser el resultado de una concentración mayor sobre las aguas de / recarga, facilitada por la poca profundidad del relleno y por las condiciones de

acuifero libre.

Más al sur, en la localidad de Balde del Rosario, se ha encontrado otra agrupación de pozos baldes con los N° 139,140 y 141, los que han sido muestreados y cuyos análisis químicos indican que allí se tiene el mayor grado de mineralización (7.220, 2.490 y 5.220 mg/l). El origen y evolución de las aguas sería similar al que ocurre en las anteriormente mencionadas.

Estas aguas no afectarían significativamente a las menos salinas que se encuentran más al sur y al este de la subcuenca, tal vez debido a su lento movimiento o al poco caudal de las mismas.

Las aguas muestreadas en dos épocas diferentes, en junio de 1967 y abril de 1969 en un mismo pozo, el N° 139, arrojan valores de salinidad muy diferentes y dan un ejemplo típico de aguas concentradas por evaporación.

Esto se demuestra por el siguiente cálculo, expresándose la concentración de iones en me/l con respecto a la suma de cationes y aniones.

TABLA 3

CALCULO DE LAS VARIACIONES DE COMPOSICION QUIMICA EN me/l DEL AGUA DEL POZO N° 139

N° ANÁLISIS	FECHA	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	SD. calculados	RESIDUO DE EVAPORACION
		me/l			me/l			mg/l	
91	6/67	15,0	6,7	66,8	3,3	35,8	49,1	5.540	5.560
1.307	4/69	23,7	14,3	104,7	4,2	58,7	79,0	8.890	8.920

COMPOSICION CALCULADA

T	24,1	10,9	109,0	5,3	57,6	79,0	8.920	8.940
D	-0,4	+3,4	-4,3	-1,1	+1,1	0	-30	-20

En donde:

T = composición teórica del agua menos concentrada (análisis N° 91) después de producirse la concentración por evaporación, en un /

grado de acuerdo al contenido de cloruros.

D =diferencia entre la composición del agua en estudio (análisis N° 1387) y la composición teórica (T).

Se observa que todos los iones han aumentado su concentración en casi igual medida como los cloruros, lo que permite afirmar que la primera muestra se ha concentrado por evaporación, sin que se hayan producido otros cambios. Los valores de las diferencias (D) son despreciables, teniendo en cuenta los contenidos iónicos elevados y la gran diferencia de tiempo entre ambas tomas (2 años).

Teniendo en cuenta las condiciones de extracción de la muestra, dado que fue tomada desde un tanque instalado en el pozo, pueden ocurrir tres posibilidades:

- a) que la concentración haya ocurrido en el tanque del molino,
- b) que la concentración se haya producido en el pozo,
- c) que la concentración se haya producido en el acuífero.

De estas tres posibilidades es muy difícil establecer ahora, cual ha ocurrido en realidad.

En los dos años transcurridos se han tenido también condiciones climatológicas diferentes, húmedas y secas. Sería muy conveniente estudiar las variaciones de concentración del agua de este pozo, a fin de determinar el origen de las mismas.

Del lado este, cerca del borde de cuenca limitado por la Loma Negra se han muestreado dos pozos; uno, el VF5 perforado por el Plan arrojó un contenido salino de 1.910 mg/l para el agua extraída de una profundidad de 40 metros. Hasta los 71 metros los ensayos no han indicado cambios en la conductividad eléctrica del agua ensayada. El otro, correspondiente al N° 154, con 1.820 mg/l, se encuentra más al sur, en la zona denominada Pan de Azúcar.

La composición química de las aguas de estos dos pozos es

bastante similar entre sí según el diagrama I, a pesar de la distancia que los separa, siendo el contenido salino menor del que arrojan las aguas antes tratadas. Debido a la poca cantidad de perforaciones que permitan efectuar correlaciones, es difícil decidir sobre el origen de estas aguas. Sólo pueden señalarse que éstas pueden tener cierta influencia sobre las que corresponden al grupo 2 que se verá seguidamente, ya que su movimiento según las curvas equipotenciales sería hacia el sur. No se descarta la posibilidad de que estas aguas pasen las quebradas de la Loma Negra, tal como se evidencia de la observación del mapa incluido en el informe de Rocca, J.A. (1), y por lo tanto, podrían tener una cierta incidencia sobre las aguas de las otras partes del valle.

(b) GRUPO 2:

Contrariamente a lo encontrado para el grupo 1, éste tiene mayores cantidades de calcio, variables entre 15,0 y 18,2% y de magnesio, entre 5,6 y 16,2% para el pozo N° 142 (ver diagrama I). El contenido de bicarbonatos es mayor y varía entre 12,8 y 22,3, mientras que los cloruros se mantienen por debajo de 17,1%.

El mayor contenido de calcio, magnesio y bicarbonatos, menores cloruros y como así también sólidos disueltos más bajos, indicarían la existencia de aportes mayores de los ríos del lado occidental provenientes de la cuenca imbrífera denominada Asilán, con bajos contenidos salinos.

De los cuatro pozos con aguas pertenecientes a este grupo, dos corresponden al borde occidental y están ubicados al sur de Balde del Rosario, mientras que los dos restantes (N° VF2 y 66) están ubicados a la salida de esta subcuenca.

Si se tiene en cuenta los valores de sólidos disueltos se observa que la salinidad de las aguas de los dos pozos ubicados del lado occidental (N° 142 y 150), disminuye hacia el sur, de 1.340 a 765 mg/l respectivamente, siendo además menor que las aguas encontradas en Balde del Rosario.

Esta disminución de la salinidad permite suponer que las ///

aguas más concentradas del norte tendrían una influencia despreciable sobre la composición de las aguas encontradas en estos lugares, las que serían de poca salinización. Estas aguas de bajo contenido de sólidos disueltos por el flujo de una corriente bastante importante del lado occidental de esta subcuenca, que se realimenta principalmente por los aportes superficiales en épocas de lluvia.

De acuerdo a datos obtenidos sobre la composición de aguas de algunas vertientes ubicadas en la zona cercana al río Cachiyuyo (1), y que indican una baja mineralización con variaciones entre 426 y 1.030 mg/l, podría estimarse la posibilidad de aportes de aguas poco salinas por flujo subsuperficial.

Lamentablemente debido a la escasez de datos en la zona suroccidental de la subcuenca, tanto sobre la composición de las aguas como de los aportes que se producen, no es posible ajustar más las consideraciones hechas anteriormente.

Si se consideran ahora los dos pozos ubicados a la salida de esta subcuenca, los N° 66 y 122, las aguas encontradas aquí tienen una composición parecida (ver diagrama) a las aguas de la zona occidental tratada anteriormente, es decir de los pozos N° 142 y 150, pero con una salinidad menor, 689 y 894 mg/l respectivamente.

La composición de estas aguas sería el resultado de la mezcla de aguas menos salinizadas, vertientes del lado suroccidental (Asilán), con las provenientes del borde oriental con una mayor salinización, aportes que serían de un volumen inferior a los anteriores. De otra manera no podría explicarse la composición de las aguas que salen de esta subcuenca, tal como es señalado por los estudios hidrológicos, con un caudal anual de $1,5 \text{ Hm}^3$ (7).

2. ZONA II.- VILLA DE SAN AGUSTÍN Y ALREDEDORES.

La zona II incluye a los alrededores de la Villa San Agustín, abarca una franja del bloque levantado de la falla, cuyos límites son al nor

la localidad de Usno algo al sur de la salida de la subcuenca norte, y al sur / hasta unos 3 Km. de la localidad de San Agustín. Existe en esta área la mayor / cantidad de pozos de todo este valle, ya que tiene una densidad que varía de 0,5 a 1 pozo por Km².

En el diagrama III en donde se ha representado la composición de las aguas muestreadas en esta zona, y de acuerdo a su evolución y distancia del borde de cuenca, pueden separarse en tres grupos, tal como serán tratados posteriormente. La separación entre el grupo 1 y 2 no es muy neta, sino que principalmente se observan mayores diferencias en el contenido de bicarbonatos. La relación promedio $rHCO_3/rCl$ de cada grupo permiten justificar mejor esta separación (tabla 4). El pasaje gradual del grupo 1 al 2, indicaría la presencia de una recarga continua (ver diagrama IV).

TABLA 4

VALORES PROMEDIOS DE LA RELACION $rHCO_3/rCl$ PARA LOS GRUPOS DE AGUA DE LA ZONA II

GRUPO	$rHCO_3/rCl$
1	2,9
2	1,7
3	0,4

Algunas aguas sin embargo constituyen excepciones a los grupos y por lo tanto serán estudiadas en forma separada.

Teniendo en cuenta la composición de los tres grupos no existe una mayor variación en el contenido de cationes, las aguas son alcalinas y su contenido de Na+K varía entre 22,6 y 35,8% y el de calcio entre 9,4 y 19,0%. En cambio el rango de variación de los aniones es más amplio, así los bicarbonatos varían entre 2,3 a 27,9% y los cloruros de 5,3 a 22,7%. La salinidad total varía entre 494 y 3.590 mg/l. La composición promedio de los tres grupos está señalada en la tabla 5.

TABLA 5

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO EN % me Y me/l DE LOS GRUPOS DE AGUA DE LA ZONA II

	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
	% me			me/l		
Ca	13,9	13,3	14,5	4,01	4,40	9,24
Mg	8,1	7,4	3,4	2,24	2,48	2,03
Na+K	28,3	29,5	32,3	7,94	9,87	20,20
HCO ₃	21,1	14,9	5,4	5,91	4,94	3,17
SO ₄	20,6	25,4	28,3	5,70	8,43	18,07
Cl	8,0	9,4	16,2	2,23	3,18	10,00
SD calc. mg/l				858	1060	2040

De la observación de esta tabla se ven claramente los cambios de composición más importantes entre los diferentes grupos, así se observa que las aguas son netamente alcalinas, bicarbonatadas, sulfatadas para el grupo 1, mientras que para los restantes son alcalinas sulfatadas.

En los tres grupos se observa que entre los cationes, el calcio y el sodio más potasio casi no varían, mientras que el contenido de magnesio disminuye con el aumento de salinidad.

En cuanto a los aniones se ve que no existen grandes diferencias en el contenido de sulfatos, mientras que los bicarbonatos y los cloruros crecen con el aumento de los sólidos disueltos, produciéndose aquí las mayores variaciones entre los grupos.

(a) GRUPO 1:

Los pozos muestreados, con aguas pertenecientes al grupo 1, (excepto el N° 28) están ubicados en el área comprendida entre la desembocadura del río del Valle, la margen derecha del mismo y (ver detalle en el plano 2) la

coordenada Gauss-Kruger 6.608 Km.

Teniendo en cuenta la composición del río del Valle y la del grupo 1 (diagrama N° III) se observa la influencia de la recarga de aquél, tanto en forma directa cuando lleva agua por el lecho a través del valle o bien en forma indirecta, tanto por el subálveo como por el agua que pasa por el dique. Este efecto sería muy importante, ya que permitiría un aporte continuo, tal como se evidencia también analizando las curvas equipotenciales de esta zona. De otra forma no sería posible explicar en un acuífero libre la composición tan uniforme de las aguas de este grupo, tanto en su contenido salino como en cationes y aniones.

La salinidad del agua subterránea aumenta respecto a la del río del Valle (561 mg/l de sólidos disueltos) a un valor promedio de 858 mg/l, llegando a un máximo de 1.300 mg/l para el agua del pozo N° 11. Las aguas de los pozos más cercanos al borde de cuenca, tal como los N° 10, 11 y 13, arrojan un aumento del contenido salino; manteniéndose una composición semejante a las del grupo, lo que indicaría una concentración mayor por evapotranspiración a la ocurrida en los restantes pozos.

En base a la composición del río Usno, similar a la del río del Valle (diagrama III) puede pensarse que producirá sobre la composición del agua subterránea un efecto similar al visto para el del Valle, el que será más notorio en las zonas cercanas a la margen derecha de su lecho.

Por ser el río Usno temporario, su influencia será más significativa en los períodos en que lleva agua. Si bien esta influencia es difícil de confirmar por la escasa cantidad de pozos posibles de muestrearse, los datos obtenidos del pozo N° 63 (ver el plano 2) están de acuerdo con lo afirmado.

Como conclusión, puede decirse que la composición de las aguas pertenecientes al grupo 1 está directamente relacionada con la recarga directa de los ríos y en particular del río del Valle cuya influencia continua es la más importante. También es de suponer que en algún tiempo la mineralización

de éstos habrá sido menor, pues de otra manera no es posible explicar la composición de las aguas menos salinas ubicadas en el diagrama III, debido a que siempre durante la infiltración debe ocurrir algún aumento de sólidos disueltos. La composición y el contenido salino de los ríos ubicados en el diagrama han sido calculados en base al promedio de pocos análisis, representando condiciones muy accidentales ya que éstos varían en una mayor escala con el tiempo y caudal.

(b) GRUPO 2:

Los pozos muestreados con aguas del grupo 2 están ubicados / cerca del lecho de los ríos del Valle y Usno tal como se observa en el plano 3.

Este grupo se caracteriza por tener una salinidad de 814 mg/l a 1.270 mg/l, con un valor promedio de 1.060 mg/l. De acuerdo al contenido salino y a su composición, estas aguas representan la continuación del grupo 1 con una posible influencia de las aguas que salen de la subcuenca norte. La composición de los pozos 66 y VF2 ubicados a la salida de la subcuenca es semejante a la de este grupo, y su influencia se observaría también en las aguas de los pozos N° 143 y 144 ubicados bastante más al noroeste que todos los restantes.

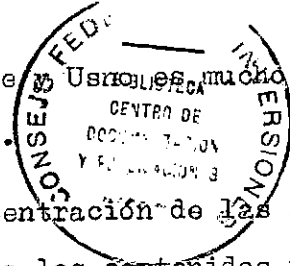
El grupo 2 se distingue del grupo 1, principalmente por el contenido menor de bicarbonatos y mayor de sulfatos, mientras que los demás elementos se mantienen sin mayores cambios. Esto significa que no existiría una // verdadera separación entre ambos grupos, sino que ocurre una transición de uno al otro debido a las causas mencionadas, y que se ve claramente en el diagrama IV.

(c) GRUPO 3:

Las aguas con la composición correspondiente al grupo 3 pertenecen en su mayoría a pozos ubicados en la parte noreste de la de San Agustín y alejados de la margen izquierda de los ríos. Plano 3.

La composición de estas aguas difiere de la de los grupos anteriores, en particular por el contenido de aniones y por su elevado grado de concentración (con pérdidas de bicarbonatos y aumento de cloruros). Esto signifi-

fica que la recarga proveniente de los ríos del Valle Usme es mucho menos importante que la observada para los grupos anteriores.



No es posible justificar una concentración de las aguas menos mineralizadas en un grado tan alto como para llegar a los contenidos minerales encontrados. Así, el contenido de cloruros varía de 2,23 y 3,18 me/l para los dos primeros grupos, a 10,00 me/l para el tercero. Esta concentración no puede ser real si se tiene en cuenta que la distancia que separa a las aguas de los grupos 1 y 2 con 3 es bastante corta y sólo una disminución significativa del caudal y de la velocidad, permitirían tal concentración de las aguas en esta zona noreste.

El origen de la composición de estas aguas puede explicarse también teniendo en cuenta los aportes provenientes del norte de esta cuenca, / los que hasta ahora se desconocen por la ausencia de perforaciones en aquella / parte del valle. Si además se tiene en cuenta la composición de las aguas de la parte oriental de la subcuenca norte (ver lo dicho para la zona I y en base a / los pozos N° 154 y VF5) y que es semejante a la de este grupo, podría existir la posibilidad de un pasaje por la Loma Negra.

Por todo lo dicho la composición de las aguas de este grupo puede explicarse como una mezcla originada por aguas de diferentes orígenes, tan to del norte como laterales.

(d) POZOS N° 145 y 147:

Según el diagrama III se observa que la composición de las aguas de los pozos N° 145 y 147, ubicados cerca del borde de la cuenca (ver el / plano 2) es diferente a la de los grupos tratados, y aunque corresponden a la zo na en estudio se los trata en forma independiente.

Las salinidades de estas aguas son más elevadas que las que corresponden al grupo 3, teniendo 3.920 (pozo N° 145) y 4.540 mg/l (pozo N° 147).

Estas salinidades diferentes se deben también a procesos dis tintos, tal como se deduce del contenido de sulfatos y cloruros. El agua del po zo N° 145 tiene un elevado contenido de cloruros, 20,4 me/l, como resultado de

una concentración debida principalmente a fenómenos de evapotranspiración, mientras que el contenido de sulfatos es de 32,3 me/l.

En cambio el agua del pozo N° 147 ubicado en el borde de cuenca con un contenido de cloruros de 9,32 me/l tiene un mayor contenido de sulfatos, 52,6 me/l, aumento que se debería principalmente a la disolución de sulfatos.

Como el espesor del relleno no es grande, es probable que // las aguas extraídas de este pozo estén en contacto con materiales de edad terciaria, los que se caracterizan en nuestros valles por su elevado contenido de sulfatos y sodio, o bien son producto de la disolución de sales depositadas en los sedimentos. La carencia de más datos no permiten determinar qué procesos / han ocurrido en definitiva.

3. ZONA III:

Esta zona abarca el área comprendida entre el límite sur de la zona II ya descrito, y el límite ubicado a unos 4 Km. al norte de la localidad de Las Tumanas. Al este está limitada por la falla.

La composición química de este grupo (ver diagrama V) representa a aguas sulfatadas alcalinas. El contenido de Na+K es de 31,5 a 39,5% con un máximo de 45,2% para el agua del pozo N° 104, el contenido de bicarbonatos varía entre 3,5 y 10,0% con contenidos elevados para aguas de sólo tres pozos, los N° 95, 104 y 105 llegando a un máximo de 30,0%. La salinidad varía de 871 a 3.210 mg/l.

Los cloruros se mantienen más bajos que los del grupo 3 de la zona II y varían desde 6,6 hasta 13,3% con un máximo de 21,5% (pozo N° 108).

De acuerdo a la ubicación de los pozos y a la diferencia de composición de sus aguas, los promedios del contenido mineral han sido obtenidos sin tener en cuenta los que corresponden a las aguas cercanas al borde de cuenca.

TABLA 6

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO EN me/l Y % me DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA ZONA III

POZOS N°	COMPO- SICION	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	SD CALCULAD. (mg/l)
100-101- 102-106- 109-113	me/l	10,6	1,4	21,1	3,6	22,4	6,9	2210
	% me	15,2	2,4	32,6	4,5	33,7	10,2	

El origen de estas aguas no puede ser posible a partir del grupo 3 de la zona II debido a su contenido salino semejante, dado que para llegar a esta zona tendría que sufrir forzosamente un aumento. La concentración mayor de cloruros y menor de bicarbonatos del grupo 3 afirmaría esta suposición. (Además si estos cambios fueran reales tendría que haber ocurrido una pérdida de cloruros y una ganancia de bicarbonatos, cosa que en general no ocurre).

De igual forma no es posible que el origen esté vinculado con las aguas del borde de cuenca, en base a los datos suministrados por los pozos N° 95, 104, 105 y 108, los que se diferencian de los demás por los distintos contenidos de aniones y cationes. Aquí influyen condiciones diferentes a las que actúan sobre el resto, ya sean aportes laterales de poco caudal como factores favorecidos por el espesor escaso del relleno.

Es así entonces, que el origen más probable serían las aguas del grupo 1 y 2, de la zona de Villa San Agustín.

Además de la concentración por evapotranspiración, estas aguas / aumentarían su salinidad por disolución de sulfatos como lo indica su alto contenido (33,7% me), el cual sería seguido por una precipitación de bicarbonatos (a 4,5% me).

La influencia de las aguas superficiales tiene poca importancia (ver composición pozo N° 105) respecto a lo que ocurre en otras partes del valle, debido a la escasa extensión de la red hidrográfica superficial que desem-

boca a esta zona, ver plano informe Hsu, H.H. (8). La mayor parte de las aguas de lluvia descargan a los ríos del Potrero y La Tala, aportes de los ríos de Valle y La Tumana.

Por lo tanto, y contrariamente a lo que ocurre en las restantes zonas, no se observa una mayor área con aguas poco mineralizadas cercanas al // borde de cuenca. Si bien no existen pozos perforados dentro del área limitada / por el borde de cuenca y la curva de 1.500 mg/l (plano 1), es de suponer que las aguas subterráneas que se encontrarían aquí deberían provenir de las aguas de los grupos 1 y 2 de la zona de San Agustín, pero con una salinidad mayor.

4. ZONA IV-ZONA COMPRENDIDA ENTRE LAS LOCALIDADES DE LAS TUMANAS Y ASTICA;

Esta zona está ubicada en el bloque levantado de la falla en don de el ancho del mismo respecto al borde de cuenca es todavía significativo. Comprende el área ubicada entre las localidades de Las Tumanas, al norte, y unos 5 Km. al sur de Astica.

La zona tiene muy pocos pozos y por lo tanto la información es escasa. Según el diagrama VI la mayoría de las aguas tienen un alto contenido de bicarbonatos, de 23,1% a 36,8%, mientras que el sodio más potasio varía de 13,4% a 37,6%.

En los límites mencionados no se han incluido las aguas de tres pozos con una composición diferente y un mayor contenido salino, superior a los 1.150 mg/l.

La salinidad de las aguas menos concentradas aumenta gradualmente desde los 329 mg/l para el pozo N° 11. ubicado cerca del río La Tumana, hasta los 1.080 mg/l para el pozo N° 117. No se nota en esta zona una relación / entre el contenido salino y la ubicación territorial de los pozos.

La composición de estas aguas por su elevado contenido de bicarbonatos y baja mineralización indica una marcada influencia de aportes superficiales.

La principal recarga de esta área se produce por los ríos Astica y La Tumana. La influencia del primero sería más directa debido a que el río La Tumana se infiltra a varios kilómetros al norte de esta zona.

En el diagrama VI se observa claramente esta situación, la que / en cierta forma es similar a la comprobada para la localidad de Villa San Agustín.

No se observa aquí una influencia de las aguas más salinas del // norte pertenecientes a la zona anterior, las cuales se descargarían directamente por la falla, pues de otra manera habrían afectado a las aguas de esta zona.

Lo mismo sucede con las aguas en estudio, las que escurrirían por la falla, ejerciendo su influencia sobre el agua del pozo VF7.

El agua de los pozos N° 91 y 92 con una composición diferente y mayor mineralización tiene un elevado contenido de sulfatos (31,1 y 32,3%) y bajo contenido de bicarbonatos (14,1% y 12,1%) lo que indicaría un proceso de disolución de sulfatos, tal vez de sedimentos terciarios.

El pozo N° 116, con un valor de sólidos disueltos de 5.120 mg/l, arroja un alto contenido de cloruros (25,0%) lo que permite pensar en una concentración elevada por evapotranspiración, debido a extremas condiciones locales.

5. ZONA 5 - BLOQUE HUNDIDO:

Esta zona incluye al área ubicada en el bloque hundido en donde se tiene un mayor espesor del relleno aluvional.

En general la mayor parte de esta cuenca está poco explotada debido a lo bajo de los niveles de agua. Sólo se conocen en la parte norte y central las perforaciones realizadas por el Plan con los números VF4 y VF7. Más al sur, en donde los niveles son más altos, en la zona sur de Astica, existe una / mayor densidad de pozos.

(a) PARTE NORTE Y CENTRAL, POZOS VF4 Y VF7:

La composición química relativa de los pozos VF4 y VF7 es la siguiente:

TABLA 7

COMPOSICION QUIMICA EN % me DE AGUAS DE LOS POZOS VF4 Y VF7:

Nº DE POZO	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	S.D. mg/l	profundidad de explotación (m)
	% me			% me				
VF4	16,2	7,8	27,0	1,2	26,6	21,2	2.720	178 - 188
VF7	9,9	4,8	36,7	5,7	29,3	13,6	754	201 - 216
VF7	11,8	7,3	35,9	8,7	23,6	12,7	578	110 - 125

El pozo VF4, en donde la cantidad de agua encontrada fue baja, con una elevada mineralización, 2.720 mg/l, tiene una composición semejante a las aguas concentradas del grupo 3 de la zona II (ver diagrama III y VII). No es posible sin embargo, relacionar estas aguas con las de aquel grupo, debido a que se desconocen los diferentes aportes de esta cuenca en la zona en estudio y a que no existen datos. Es posible que la recarga subterránea provenga en parte desde el norte (tal como se mencionó al tratar la subcuenca norte) y parte de la zona de San Agustín.

El VF7, con un rendimiento específico mayor y con una menor salinización, corresponde a extracciones realizadas a diferentes profundidades, con 578 mg/l para los 110-125 metros y 754 mg/l para 201-216 metros.

La composición es semejante a la de las aguas estudiadas en la zona denominada III, pero con una mineralización inferior (1.980 mg/l promedio para la zona III).

El origen de estas aguas puede derivarse de las aguas poco mineralizadas de la zona IV cuya composición evoluciona en el acuífero profundo hasta tomar la que corresponde a la del agua del pozo VF7. Las aguas de la zona

IV se moverían según las líneas de flujo a esta zona y debido a la profundidad de la cuenca no estarían tan expuestas a la evaporación, y por ello la salinidad no se elevaría de un grado como el observado en las zonas menos profundas.

Las aguas encontradas en el pozo VF7 pueden estar también influenciadas por las aguas más mineralizadas provenientes del norte, pero en muy poca proporción. No es posible deducir en qué cantidad debido a la limitada información existente, si bien puede pensarse así por el escaso gradiente hidráulico entre los pozos VF4 y VF7. Esta influencia sería mayor a mayores profundidades tal como lo demuestran los dos análisis químicos mencionados.

La extensión de estas aguas poco mineralizadas del acuífero profundo no ha sido posible estimarla por la falta de datos.

(b) PARTE SUR:

La parte sur de la zona V, que se extiende desde el sur de Astica hasta la Ruta Nacional Nº 20, es la que tiene la mayor cantidad de pozos perforados en el bloque hundido de la cuenca, debido a que los niveles de agua se acercan a la superficie del suelo.

Este fenómeno tiene como consecuencia una mayor concentración por evaporación con el consiguiente aumento de la salinidad de las aguas subterráneas. Los efectos se manifiestan en dirección al sur, en donde se producen grandes depósitos salinos en la zona de Mascasán.

No debe olvidarse la influencia de la evaporación de las aguas superficiales que eventualmente llegan (durante las grandes crecientes) a su nivel de base en este lugar.

Por lo tanto la causa de la elevada salinidad es en ambos casos la concentración superficial. Si se comprobara la existencia de algún contaminante del agua en esta zona, es posible que se encontraría agua menos mineralizada a la obtenida en las partes menos profundas, ya que no estaría mayormente afectada por las aguas más superficiales.

En general la salinidad de estas aguas es alta y aumenta en el sentido sureste alcanzando un máximo determinado de 10.010 mg/l para el pozo N° 125.

Teniendo en cuenta los gradientes hidráulicos y la composición de estas aguas, se observa la existencia de dos aportes diferentes, pudiéndose así dividir a las aguas en dos grupos (ver diagrama VII).

La composición del grupo 1 que comprende el agua subterránea de la mayoría de los pozos de la parte occidental, se caracteriza por su alto contenido de metales alcalinos (28,2%-39,7%), su contenido bajo de bicarbonatos (1,6%-8,7%) y sus cloruros relativamente altos (9,0%-22,7%).

En la parte más oriental, en las aguas de los pozos N° 96, // 124, 125 y 126 que forman el grupo 2, se observa una mineralización algo diferente a la de los restantes, y por lo ya dicho pueden considerarse como resultado de la evolución de aguas provenientes principalmente desde el este de la cuenca.

La composición promedio de los dos grupos es la siguiente:

TABLA 8

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE LAS AGUAS DE LOS GRUPOS DE LA ZONA V

GRUPO	Ca	Mg	Fe+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	SD. CALC. mg/l	r.Mg / r.Ca		
	% me			% me				MAX.	MIN.	PROMEDIO
1	11,2	5,3	34,1	4,7	26,9	17,3	2030	0,70	0,34	0,50
2	16,0	1,7	32,5	1,2	26,3	22,4	6990	0,17	0,07	0,11

Estos dos grupos se diferencian entre sí por sus contenidos de calcio, magnesio y bicarbonatos.

El grupo 1 tiene un menor contenido de calcio pero una mayor concentración de magnesio y bicarbonatos (ver tabla 8) y una menor salinidad // que el grupo 2. Esta diferencia se ve más clara si se tiene en cuenta los valores de la relación de magnesio a calcio expresados en me, donde el grupo 2 ten-

dría la más baja relación en comparación con el grupo 1 (0,11 contra 0,50). Ver diagrama VIII.

(i) GRUPO 1:

Este grupo comprende las aguas con una mineralización inferior a los 5.000 mg/l (ver plano 1). La composición y características que lo separa del grupo 2 pueden apreciarse en la tabla 8 y diagrama VII.

Los pozos muestreados pertenecen a la parte más occidental de la zona.

El origen de estas aguas podría provenir del norte de la cuenca, tal como de la zona IV (Astica y Tumanas) de baja mineralización, a partir de las cuales y durante su movimiento hacia el sur, evolucionarían hasta obtener la composición de este grupo, por pérdidas de bicarbonatos, calcio y magnesio y aumento de los metales alcalinos, cloruros y sulfatos, como se ha observado también en otras partes del valle.

Los efectos que favorecerían a estos cambios serían procesos de disolución, evaporación e intercambio iónico. Este último proceso, tal como lo indica una leve disminución del contenido de magnesio, se produciría en contacto con los materiales arcillosos contenidos en las formaciones acuíferas, si bien no como capas impermeables o confinantes, sino por existir mezclados con las gravas y arenas.

En el diagrama VIII se nota que la mayor relación de $\frac{rMg}{rCa}$ corresponde a las aguas más cercanas al borde de cuenca, a los pozos N° VF6, 76 y 77. Las aguas de los pozos N° 76 y 77 (2.420 y 4.410 mg/l) tienen un contenido salino mucho mayor que la del VF6 (604 mg/l) debido a una alta concentración superficial como lo indica el alto contenido de cloruros, 18,5 y 31,9% respectivamente.

La composición del agua del pozo VF6 difiere del resto del grupo, en particular por el alto contenido de bicarbonatos (21,0%) y por la baja mineralización. Esto indica una influencia directa de las aguas superficiales

les provenientes del oeste, posiblemente de la cuenca imbrífera de Chucuma (8).

No se puede distinguir la extensión de la influencia del río Chucuma sobre la composición del agua del acuífero en una forma similar a / la observada, por ejemplo, en la zona de San Agustín, debido a que se carece de datos entre el borde de cuenca y los restantes pozos, y sólo se puede contar con los datos que aporta el pozo VF6.

El pozo N° 98 con baja mineralización, ubicado al sur de los pozos más salinos, nos indicaría también la existencia de aguas del río Chucuma por encontrarse muy cerca de su lecho. Esto justificaría la gran diferencia entre la salinidad de este pozo y el pozo N° 97 separado del primero a corta distancia y ubicado más al norte.

En un pozo perforado por YPF ubicado en el sondeo de geofísica denominado L9 sobre la ruta N° 20, con una profundidad desconocida, se / ha determinado un valor para los sólidos disueltos del agua de 2.500 mg/l (calculados en base a la conductividad específica). El agua fue extraída de la que se encuentra estancada en la perforación por no existir colocado ningún equipo de extracción, lo que podría indicar la presencia de aguas menos concentradas.

(ii) GRUPO 2:

Este grupo se diferencia del otro por su mayor contenido salino, mayor a 5.000 mg/l, con un máximo determinado de 10.010 mg/l para el pozo N° 125.

Las aguas tienen inferiores contenidos de bicarbonatos con un promedio de 1,2% me y el menor contenido de magnesio 1,7% me, mientras que el contenido de calcio varía en forma semejante a la del grupo 1.

La diferencia entre los dos grupos se observa claramente comparando los valores de la relación $\frac{mMg}{mCa}$, en donde los más bajos corresponden al grupo 2 (ver tabla 8 y diagrama VIII).

Si estas aguas tuviesen el mismo origen que el grupo 1, el contenido de bicarbonatos debería disminuir conjuntamente con el contenido

de Ca, pero en realidad se observa en el diagrama N° VII que el mismo no varía en igual medida, manteniéndose dentro del orden del grupo 1.

Esto significa que el origen de las aguas está relacionado tanto con los aportes del oeste como del este, lo que indican también las // curvas equipotenciales.

Los supuestos aportes subterráneos del este deben ser // bastante mineralizados, aunque no hay evidencia directa por carecer de datos de perforaciones en aquella parte de la provincia de La Rioja.

Se conoce la composición de algunas aguas de vertientes en aquellas zonas. La máxima salinidad determinada fue de 6.720 mg/l para la / vertiente denominada Medanito.

H. CONCLUSIONES;

(a) La composición química del agua subterránea de la cuenca de Valle Fértil es bastante heterogénea. Esta heterogeneidad se debe fundamentalmente a:

1. La condición de acuífero libre, en donde se percibe la influencia de las condiciones locales.
2. La extensión de las cuencas imbríferas superficiales, la influencia de las épocas de lluvias con las crecientes y otras condiciones climatológicas.
3. La influencia de la recarga continua de los ríos del Valle, Usno y Astica.
4. La forma alargada de la cuenca, que debido a la existencia de la falla longitudinal limita localmente los aportes laterales con caudales generalmente pobres y con una composición química diferente.
5. El espesor del relleno aluvial, escaso en el bloque levantado y sus características litológicas.
6. La forma del basamento que permite o impide el movimiento del agua en diferentes direcciones.

(b) En base a las consideraciones anteriores han sido delimitadas en el Valle Fértil 5 zonas con comportamientos propios:

1. ZONA 1 - SUBCUENCA NORTE;

Las aguas más salinas del norte, en general de poco volumen, no afectan mayormente a las aguas menos mineralizadas que salen de esta subcuenca.

En base a esto y a su composición son posibles sólo mayores aportes laterales provenientes de la parte suroccidental.

2. ZONA 2 - VILLA SAN AGUSTIN Y ALREDEDORES;

Según la composición de sus aguas, en esta zona se distinguen 3 grupos.

Los dos primeros de baja mineralización están alimentados principalmente por los aportes de los ríos del Valle y Usno. En cuanto al primero se observa recarga continua, única forma de justificar la composición actual de las aguas del grupo 1 cercano a la desembocadura del río en el valle. El grupo 2 podría estar parcialmente afectado también por aguas de la subcuenca norte.

En cuanto a las aguas del grupo 3, más concentradas, su origen / estaría vinculado tanto a las aguas de los otros grupos como a la recarga por infiltración durante las crecientes, y a aportes del norte.

3. ZONA 3:

La zona 3 comprende a las aguas con un contenido salino algo elevado.

Los aportes provenientes de la sierra son de poco caudal y por lo tanto tienen una influencia limitada sobre el agua subterránea, lo que podría / notarse sólo en algunos lugares cercanos al borde de cuenca.

La recarga principal proviene de los grupos 1 y 2 de la zona de San Agustín. En base a esta circunstancia es posible suponer que entre las zonas 2 y 3 estarían presentes aguas subterráneas de similar o menor contenido salino a los que arroja la zona 3. Las aguas de esta zona que se destacan por su contenido algo elevado de sulfatos se descargan por la falla a la parte hundida.

4. ZONA 4:

Es una zona que en algunos aspectos se parece a la zona 2 de San Agustín. Se encuentra bajo la influencia directa de los aportes de los ríos Astica y de Las Tumaras, con contenidos salinos bajos. Igualmente las aguas subterráneas arrojan también salinidad baja, lo que demuestra que su recarga es / en cierta forma continua. La influencia de las aguas procedentes desde el norte (de la zona 3) no se nota. Las aguas subterráneas provenientes de aquella zona al igual que las de la zona 4 se descargan a la parte profunda de la cuenca (a la zona 5).

5. ZONA 5:

Esta zona comprende al bloque hundido del área estudiada. Las // partes norte y central no se aprovechan para la agricultura y existen allí sólo dos pozos perforados por el Plan Agua Subterránea.

El pozo VF7 en la parte central parece estar influenciado por // las aguas provenientes desde la zona 4 y arroja un contenido salino bajo. La ex- tensión de aguas de este tipo habría que determinarla.

Las aguas de la mayoría de los pozos que se encuentran al sur de esta zona arrojan elevados contenidos salinos, los que aumentan a partir del bor- de de cuenca en dirección al sureste.

En estos lugares, los niveles de las aguas subterráneas se acer- can a la superficie. Su alta salinidad se debe parcialmente a los efectos de la concentración por evapotranspiración y parcialmente a la evaporación de aguas superficiales. Es probable que a mayores profundidades existan aguas menos sa- linas.

La recarga de esta zona se efectúa principalmente desde las zo- nas anteriores, si bien la diferente composición química de las aguas de los po- zos más orientales y sus mayores contenidos salinos, indicarían la presencia de aportes del este, de la Sierra de Chepes.

I. RECOMENDACIONES:

1. Establecer la composición de los posibles aportes subterráneos de baja mineralización provenientes de la zona occidental de la subcuenca norte, desde el río San Antonio hasta la altura de la salida. Esto se podrá determinar mediante la perforación de algunos pozos en esta zona.
2. Definir la composición de los eventuales aportes provenientes del norte / de la cuenca, a través de la zona comprendida al este de la Loma Negra.
3. Intensificar el muestreo en la zona II a fin de establecer más exactamente el límite entre las aguas menos y más mineralizadas con la recarga continua e intermitente. Determinar la influencia de las aguas superficiales de ríos sobre la composición de las aguas más concentradas en los pozos cercanos a los lechos.
4. Determinar la posibilidad de la recarga de la zona III a partir de la II. Comprobar la existencia de aguas menos mineralizadas al sur de Villa San Agustín.
5. Controlar la composición de las aguas de la zona IV (Tumana-Astica) en relación con los caudales de los ríos de esta área.
6. Si bien es de menor importancia por las profundidades de explotación, para el futuro sería conveniente comprobar la extensión de las aguas poco salinas en las proximidades del pozo VF7.
7. Comprobar en la zona sur la existencia de aguas menos salinas con el aumento de las profundidades de extracción.
8. Muestreo superficial y en profundidad de las sales de la Salina de Mascasín a fin de determinar su origen.
9. Establecer posibles cambios en la composición por evaporación de las aguas de pozos baldes (poco profundos) y perforados.
10. Establecer un programa de muestreo para determinar la edad del agua subterránea en base a C_{14} . Realizar además determinaciones de Tritio y O_{18} a fin de delimitar las diferentes recargas.
11. Estudiar el probable mejoramiento de aquellas zonas con aguas de elevada mineralización mediante la recarga de los acuíferos con aguas superficiales.

BIBLIOGRAFIA

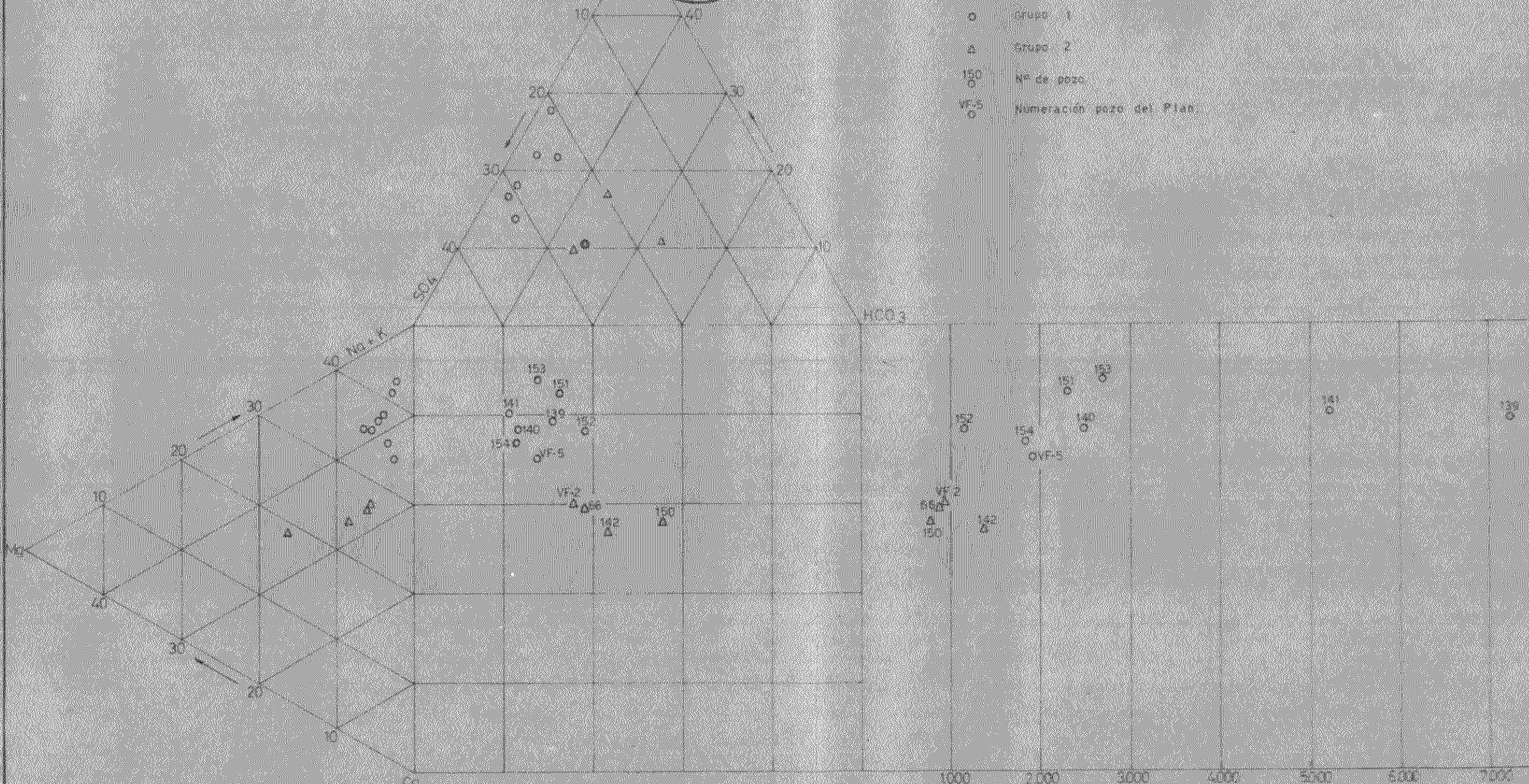
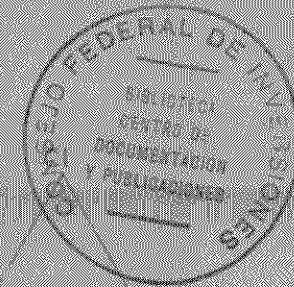
- (1) ROCCA, J.A. (1969) -Estudio Integral de los Recursos Hídricos de Valle Fértil. A. Hidrología. Secretaría Técnica de la provincia de San Juan.
- (2) ROCCA, J.A. (1969) -Geología de Valle Fértil. Plan Agua Subterránea. (San Juan - Argentina).
- (3) SERRES, Y.F. (1968) -Final Report of Full Term Expert Geophysicist ARG-108-CE Plan Agua Subterránea. (San Juan - Argentina) Inédito.
- (4) HANSEN, W.R. (1968) -Informe Final del Hidrólogo Experto ARG-108-SB para el Período Completo. Plan Agua Subterránea (San Juan Argentina).
- (5) VELASQUEZ, J., AGIE, J. -Censo y Acotación de Pozos. Plan Agua Subterránea. Informe N° SJ-III-D-1. (San Juan - Argentina).
- (6) VELASQUEZ, J. -Curvas Equipotenciales y de Igual Variación. Plan Agua Subterránea. Informe N° SJ-III-D-2. (San Juan-Argentina)
- (7) VELASQUEZ, J. -Balance Hidrogeológico. Plan Agua Subterránea. Informe N° SJ-III-D-4. (San Juan - Argentina).
- (8) HSU, H.H. (1969) -Hidrología de la Zona III. Informe Interno del Plan Agua Subterránea (SJ-III-E-1).

PLAN AGUA SUBTERRANEA

VALLE FERTIL - SAN JUAN

ZONA I

Subcuenca norte



Referencias

- Grupo 1
- △ Grupo 2
- 150 N° de pozo
- VF-5 Numeración pozo del Plan

La concentración de los iones se expresa en porcentajes de m^2 respecto a la suma de cationes y aniones

Sólidos disueltos totales en mg/l

Diagrama I

PLAN AGUA SUBTERRANEA
VALLE FERTIL - SAN JUAN

Variación de la relación $r\text{Ca} / r\text{Na}$ con el contenido salino.

ZONA I

Subcuenca norte

Referencias

- Grupo 1
- △ Grupo 2
- 150 N° de pozo
- VF-2 Numeración pozo del Plan

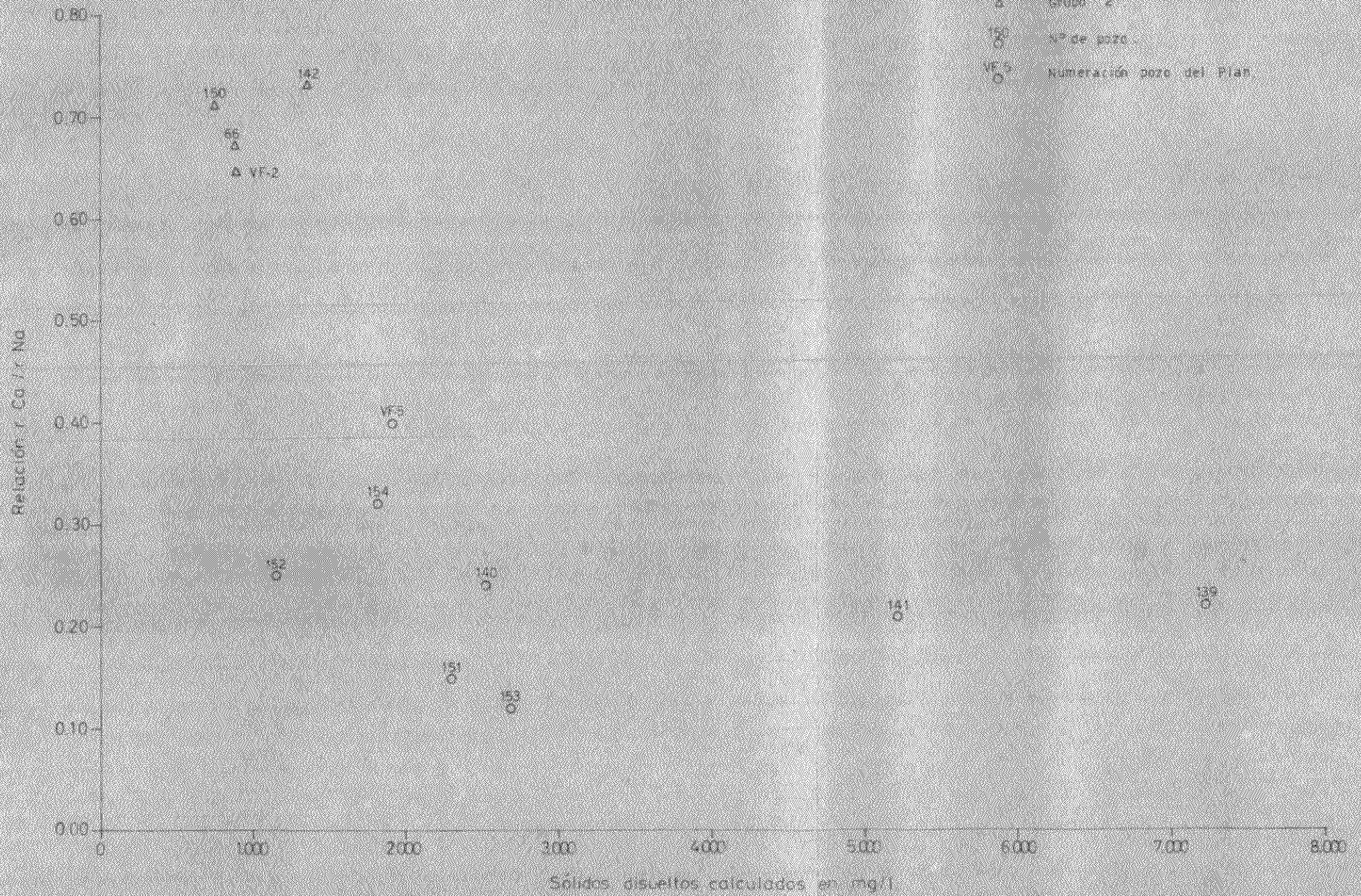


Diagrama II