

354

CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

UNITED NATIONS
DEVELOPMENT PROGRAMME

PLAN AGUA SUBTERRANEA

HIDROGEOQUIMICA EN LOS VALLES
DE TULUM Y ULLUM - ZONDA
PROVINCIA DE SAN JUAN

■ estudio de la salinidad
del agua subterránea
y superficial.-

por **pedro lohn**

— SAN JUAN —
REPUBLICA ARGENTINA

71534

FE DE ERRATAS

354

PAGINA 13, párrafo 4, donde dice: "y con el superior e inferior...", debe decir: "y en parte con el superior e inferior..."

párrafo 10, donde dice: "es posible conocer...", debe decir: "fue posible conocer..."

PAGINA 17, párrafo 24, donde dice: "dindica...", debe decir: "indica..."

PAGINA 18, párrafo 2, donde dice: "S", debe decir: " δ "

PAGINA 22, párrafo 8, donde dice: "en una alícuota la muestra...", debe decir: "en una alícuota de la muestra..."

PAGINA 25, párrafo 29, donde dice: "D.A 1959 \pm 1...", debe decir: "A.D. 1959 \pm 1..."

PAGINA 26, párrafo 2, donde dice: " $\delta_{18} = \pm - 15\%$...", debe decir: " $\delta_{18} = - 15 \%$..."

PAGINA 28, párrafo 22, donde dice " $\delta_{18} = \pm - 15,8 \%$...", debe decir: " $\delta_{18} = - 15,8 \%$..."

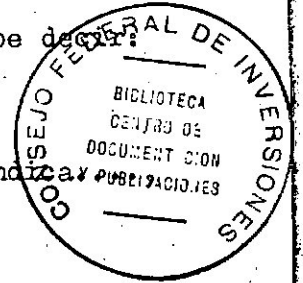
PAGINA 30, párrafo 2, donde dice: "pero su condición...", debe decir: "pero por su condición..."

PAGINA 34, párrafo 3, donde dice: "o bien estaría en...", debe decir: "o bien se estaría en..."

PAGINA 35, párrafo 7, donde dice: "tal vez que, a medida...", debe decir: "que tal vez, a medida..."

PAGINA 36, párrafo 23, donde dice: " $\delta_{18} = \pm - 8,7 \%$...", debe decir: " $\delta_{18} = - 8,7 \%$..."

PAGINA 36, párrafo 24, donde dice: "(alrededor de $\pm - 15 \%$)", debe decir: "(alrededor de $- 15 \%$)"



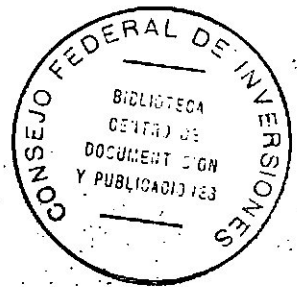
PAGINA 42, párrafo 4, donde dice: "El contenido de ^{18}O ...", debe decir:
"El valor de $\delta_{18} (^{18}\text{O})$..."

párrafo 7, donde dice: "y un contenido de ^{18}O menor...", debe decir: "y un contenido de $\delta_{18} (^{18}\text{O})$ mayor,..."

CATALUNYA

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO



PLAN AGUA SUBTERRANEA

HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA Y SUPERFICIAL
DE LOS VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA
PROVINCIA DE SAN JUAN
ESTUDIO DE LA SALINIDAD

por

QUIMICO PEDRO LOHN
Hidrogeoquímico

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 el tanto no representa necesariamente los puntos de vista de estas organizaciones.

MAYO 1970

SAN JUAN

REPUBLICA ARGENTINA

INDICE

	<u>PAG.</u>
A. RESUMEN.	1
B. OBJETIVOS.	2
C. AREAS QUE COMPRENDE EL ESTUDIO	3
D. ORIGEN DE LA INFORMACION. ANALISIS QUIMICOS.	4
E. COLABORACION	5
F. TRABAJOS PREVIVOS	5
G. CUENCA VALLE DE TULUM. CONDICIONES GENERALES	5
H. EL RIO SAN JUAN Y SU COMPOSICION QUIMICA	8
I. CANALES.	10
J. DESAGUES	10
K. DESCRIPCION DE LAS FORMACIONES ACUIFERAS,BAJO EL ASPECTO QUIMICO	10
1. Sección acuífera I ó área de recarga	11
2. Sección acuífera II ó Sección acuífera superficial	12
3. Sección acuífera III ó Sección acuífera superior-inferior.	12
4. Sección acuífera IV ó Sección acuífera inferior.	13
L. MUESTRAS DE AGUA PARA SU ANALISIS QUIMICO. PROGRAMAS DE MUESTREO.	13
1. Agua Subterránea	13
2. Agua Superficial	15
3. Para análisis isotópico.	15
M. GENERALIDADES.	15
N. EL AGUA SUBTERRANEA Y SU COMPOSICION QUIMICA	19
O. PLANOS HIDROGEOQUIMICOS.	21
P. SALINIDAD DEL AGUA. SOLIDOS DISUELTOS.	22
Q. PLANO DE SOLIDOS DISUELTOS	23
1. Descripción.	23

- (a) Area de recarga. Sólidos disueltos entre 350 y algo más de 1.000 mg/l. 24
- (b) Area hidrogeoquímica central. Sólidos disueltos menores a 750 mg/l. 26
- (c) Area hidrogeoquímica periférica 29
 - i. Subárea occidental norte 30
 - ii. Subárea occidental sur 31
 - iii. Subárea oriental 33
 - iv. Subárea noreste 35;
 - v. Subárea sur. 35
- R. SUBCUENCA ULLUM-ZONDA 37
 - 1. Condiciones generales 37
 - 2. Programa de muestreo. 38
 - 3. Plano de sólidos disueltos. Descripción 39
- S. CONCLUSIONES. 41
 - 1. Valle de Tulum. 41
 - (a) Area de recarga y sección acuífera superior-inferior III. . 41
 - (b) Río San Juan. 42
 - 2. Valle de Ullum-Zonda. 42
- T. RECOMENDACIONES 44
 - 1. Muestreo. 44
 - (a) Agua subterránea. 44
 - (b) Agua superficial. 44
 - (c) Indicaciones generales. 45
 - 2. Análisis químicos 45
 - 3. Generales 45
 - 4. Legales 46

U. BIBLIOGRAFIA. 47

FIGURAS

1. AREAS EN ESTUDIO POR EL PLAN AGUA SUBTERRANEA
2. SECCIONES ACUIFERAS BAJO EL ASPECTO QUIMICO
- 3.1. FRECUENCIA DE MUESTREO POR DEPARTAMENTOS DE LOS VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA
- 3.2. DISTRIBUCION DE MUESTRAS SEGUN EL CONTENIDO SALINO TOTAL
4. MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES

GRAFICOS

1. VARIACION DEL CONTENIDO IONICO Y DE LA SALINIDAD TOTAL DEL AGUA SUBTERRANEA DE LA CUENCA TULUM
2. DIAGRAMA DE MEZCLAS

PLANOS

1. COMPOSICION QUIMICA REPRESENTATIVA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
2. CURVAS DE SOLIDOS DISUELTOS

TABLAS

- 1, 2, 3, 4. COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN
5. COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA DE LAS CUENCAS TULUM Y ULLUM-ZONDA

HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA Y SUPERFICIAL
DE LOS VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA
PROVINCIA DE SAN JUAN. ESTUDIO DE LA SALINIDAD

A. RESUMEN

De las diferentes áreas seleccionadas para su estudio, se ha iniciado la interpretación hidrogeoquímica en las cuencas de agua subterránea, de los Valles de Tulum y Ullum-Zonda.

Se han analizado en forma completa, en el moderno laboratorio montado por el Plan Agua Subterránea, muestras de agua subterránea y superficial. Los datos obtenidos, han permitido efectuar trabajos de correlación, para determinar el origen, evolución y contaminación del agua contenida en las cuencas estudiadas. También, ha sido posible establecer algunas de las bases necesarias para fundamentar las normas técnico-legales, que ineludiblemente deberá preparar la provincia, para una adecuada administración y preservación de este costoso recurso.

Se ha introducido el análisis isotópico como un método moderno complementario, para conocer o confirmar algunas de las características hidrogeológicas o hidrogeoquímicas del agua. Las muestras han sido acondicionadas en el laboratorio del Plan Agua Subterránea, y enviadas a Holanda y Suiza para su procesamiento.

En el Valle de Tulum se han diferenciado por su salinidad, diversos comportamientos químicos del agua subterránea, cuya composición está estrechamente vinculada con el agua del río San Juan, ya sea directa o indirectamente.

La interpretación hidrogeoquímica revela la existencia de dos áreas principales: una central, de baja salinidad, menor a 750 mg/l, con una zona de sólidos disueltos inferior a 300 mg/l y una segunda, periférica, con salinidades variables, superiores a 750 mg/l. Esta última está muy relacionada con el área de recarga y el borde de cuenca, y contiene agua con marcadas variaciones en su composición y mineralización total. Este hecho, ha permitido subdividirla para su

mejor descripción.

Algunas zonas en particular, como las comprendidas en los departamentos de Pocito, Albardón, Angaco, Caucete y 25 de Mayo, merecen una atención especial por la salinidad de sus aguas, y en ellas, deben tomarse inmediatas medidas para evitar el avance de la contaminación de acuíferos.

En la actualidad se está perforando tarjetas IBM, para la computación electrónica de datos químicos, y en el futuro se darán a conocer los resultados.

La subcuenca Ullum-Zonda, presenta características químicas semejantes a las vistas para la de Tulum, aunque en forma general la composición es más uniforme.

También aquí el río San Juan ejerce una importante influencia, aunque el agua para riego, constituiría la principal recarga.

Las salinidades varían, entre menos de 300 mg/l a más de 1.000 mg/l. Los bordes de cuenca, el agua proveniente de Matagusanos y Maradona, y la evapotranspiración, son los factores que afectan en una mayor medida al agua subterránea.

Se han tomado también aquí muestras para su análisis isotópico, a fin de determinar el origen y evolución de la misma.

B. OBJETIVOS

Los trabajos hidrogeoquímicos del Plan Agua Subterránea, estudian la composición química del agua superficial y subterránea, de las diferentes áreas seleccionadas, y en función de ella, determina las posibilidades de su aplicación, en especial al riego, de gran importancia económica para estas zonas áridas y semiáridas del país.

La aplicación de diagramas de Schoeller, Piper, Durov, Stiff, triangulares, de mezclas y otros, el uso de relaciones iónicas y la confección de mapas hidrogeoquímicos, ha permitido correlacionar los datos obtenidos a partir de los análisis químicos, de muestras de agua especialmente seleccionadas, y de esta

forma, explicar el origen de su contenido mineral y las causas de sus variaciones.

Debido a la carencia de datos químicos apropiados y seguros (que correspondieran a varios períodos hidrológicos), y a la limitada duración del Proyecto, no ha sido posible establecer en un mayor grado las modificaciones de la composición del agua subterránea, en función del tiempo, de la explotación, y de las distintas condiciones de recarga de la cuenca. Pero a pesar de ello, se han determinado sus características químicas básicas, las que servirán para proseguir con la ineludible investigación futura, exigida por la dinámica del agua.

Los resultados obtenidos también serán útiles para programar el mejoramiento de la calidad del agua, ya sea por medio de una recarga artificial de los acuíferos, o por la aplicación de otros métodos convenientes.

Las conclusiones generales que se darán, permitirán fijar o adecuar las normas técnico-legales para el control y la administración del agua subterránea, las que deberán impedir la salinización de zonas acuíferas actualmente aptas para diversos usos, prevenir el avance de aguas salinas, y/o evitar la intercomunicación de acuíferos, con aguas de calidades inadecuadas.

C. AREAS QUE COMPRENDE EL ESTUDIO

El Plan Agua Subterránea, hasta su finalización en diciembre de 1970, continuará realizando su investigación hidrogeoquímica en cinco áreas seleccionadas; tres, en la provincia de San Juan, en los valles de Tulum - Ullum-Zonda, Valle Fértil y del Bermejo, y dos, en la provincia de Mendoza, en las zonas del río Mendoza y del río Tunuyán, las que hacen un total de 20.000 kilómetros cuadrados, aproximadamente (1). Figura 1.

Los estudios se iniciaron primeramente en la provincia de San Juan, para los Valles de Tulum y Ullum-Zonda, en dos cuencas de agua subterránea prácticamente independientes: la denominada Valle de Tulum, con una superficie de unos 3.700 kilómetros cuadrados, y la subcuenca Ullum-Zonda, con una superficie de unos 124 kilómetros cuadrados.

D. ORIGEN DE LA INFORMACION. ANALISIS QUIMICOS

Los elementos fundamentales para obtener una correcta interpretación hidrogeoquímica, lo constituyen los análisis químicos de muestras de agua convenientemente seleccionadas, complementados con datos hidrogeológicos básicos.

Los análisis deben ser completos y exactos, para que la interpretación que se logre, sea un fiel reflejo de las características químicas de las aguas en estudio (4).

En el año 1966, se dió comienzo a la recopilación de los datos químicos, de una gran parte de las perforaciones existentes en el Valle de Tulum, pero la mayoría sólo contaba con análisis incompletos, inapropiados para su uso en los trabajos de correlación.

Esta situación obligó a la instalación de un moderno laboratorio, que inició su labor en 1967, y desde entonces, se ha contado con una información de óptima calidad, es decir, con análisis completos y exactos.

Con la determinación de la totalidad de los iones principales, incluyendo algunos elementos menores, se pudo efectuar un permanente control analítico, logrando los datos requeridos para las tareas programadas, y para su computación electrónica.

El estudio y control previo, de unos 2.500 análisis químicos oficiales, ha permitido comprobar que un gran porcentaje de ellos, no contaba con datos básicos tales como condiciones de extracción y origen de las muestras; y en algunos casos, se verificaron errores en la información analítica. Estas causas obligaron lamentablemente a desechar la mayoría, ya que no daban más que una idea aproximada, e insegura, de las características de las muestras estudiadas, y del comportamiento del agua subterránea.

Por tal motivo, en estos trabajos de interpretación, se han utilizado únicamente aquéllos ejecutados por el laboratorio del Plan Agua Subterránea.

E. COLABORACION

Muy importante ha sido la colaboración del Departamento de Hidráulica, que facilitó los análisis químicos de los legajos técnicos de las perforaciones.

De igual manera ha sido muy útil la cooperación del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Provincia, facilitando los análisis de agua que realiza.

Cabe destacar, el valioso apoyo prestado por los propietarios de las perforaciones, quienes permitieron en todo momento, cumplir con el muestreo.

Muy meritoria ha sido la labor desempeñada por todo el personal de la sección Hidrogeoquímica del Plan Agua Subterránea, tanto en la toma de muestras, como en la ejecución de los análisis químicos, planilleo, cálculos, dibujo y dactilografía.

F. TRABAJOS PREVIOS

No se tiene conocimiento de otros trabajos hidrogeoquímicos, relacionados con la zona en estudio. Algunas publicaciones sólo hacen mención a la calidad del agua para determinadas aplicaciones, y en su mayoría, se refieren en especial, al agua superficial.

G. CUENCA VALLE DE TULUM. CONDICIONES GENERALES

El planteo geológico previo, delimitó con alguna precisión, las cuencas de agua subterránea de las áreas seleccionadas (2). Los límites de las mismas han sido definidos teniendo en cuenta la distribución de las formaciones acuíferas y no acuíferas, como también datos hidrológicos e hidrogeoquímicos complementarios.

La cuenca Valle de Tulum, está limitada al este, por la sierra Pié de Palo; al oeste, por la sierra Chica de Zonda y de Villicum; al norte, por la divisoria de agua superficial con el Valle del Bermejo; y al sur, arbitrariamente

por el límite político entre las provincias de San Juan y Mendoza.

En general, las formaciones consideradas como no acuíferas que delimitan la cuenca y constituyen su base, son de edad precámbrica, paleozoica, y terciaria, mientras que el relleno aluvial portador de agua, en su mayor parte es de edad cuartaria. Este último, fue depositado en un ambiente continental, bajo condiciones áridas semejantes a las actuales. Está compuesto principalmente por el material fluvio-lacustre aportado por el río San Juan, reflejando la estructura del subsuelo, las numerosas variaciones sufridas, tanto en su cauce, como en su caudal. Mediante el apoyo geofísico, ha sido posible dimensionar su forma, diferenciando los acuíferos y acuicludos, tal como están representados en el diagrama en panel de la figura 2.

La zona que corresponde al antiguo cono aluvial del río San Juan, debido a la presencia de rodados y gravas muy gruesas (formaciones con alta permeabilidad), se considera la principal área de recarga (Forbey área), y el agua subterránea se comporta en ella como libre.

Los sedimentos del resto del valle, están integrados por material de diferente tamaño, y su distribución irregular, tanto horizontal como vertical, debida a las variaciones históricas del río San Juan, adopta una estructura lenticular de gravas, gravillas y arenas con intercalaciones de limos y arcillas. Estas últimas, forman capas impermeables y semipermeables, denominadas acuicludos, que permiten al agua de los acuíferos que encierran, se comporte como confinada o semiconfinada. La granulometría del aluvión, disminuye en general hacia el norte, este y sur, a partir del área de infiltración.

De acuerdo con la geología puede interpretarse que dentro de la cuenca, existen tres formaciones acuíferas principales, más o menos definidas: un acuífero único, que incluye al área de recarga, y otros dos, denominados respectivamente: superior e inferior, que se comunican con el anterior (2).

La presencia de fallas de diferente edad geológica, dan una configuración particular al subsuelo. La más importante sería la denominada Falla Tulum, que

orientada en dirección noreste-sureste, corre desde la sierra Pié de Palo, por la parte occidental del cerro Valdivia hacia el sur. Afectaría netamente a la formación acuifera inferior, en cambio la superior, evidenciaría sólo una disminución en el espesor del relleno que recubre el basamento levantado.

Debido a movimientos tectónicos antiguos, se observan dentro del valle, dos afloramientos metamórficos precámbricos, llamados cerro Valdivia y Barboza. Entre ambos, el basamento impermeable se encuentra a poca profundidad, y el material depositado sobre él, es de un espesor no superior a los 100 metros, aumentando a unos 250 metros hacia el este, en dirección a la sierra Pié de Palo. La franja formada por el basamento terciario levantado, separaría a la cuenca en dos subcuencas, denominadas Tulum superior y Tulum inferior, esta última, abierta hacia el sureste. Bajo el aspecto químico, las dos formarían una sola unidad, no justificándose en este sentido su división.

La cuenca principal, Valle de Tulum, abarca a la totalidad de los departamentos Capital, Rivadavia, Santa Lucía, Chimbab, Rawson, San Martín, 9 de Julio y Pocito. Parcialmente a Albardón, Angaco, Caucete, 25 de Mayo y Sarmiento.

La existencia de barreras que impiden o limitan el movimiento del agua, ha permitido diferenciar otras subcuencas, más o menos independientes entre sí, cuyo nombre y ubicación pueden consultarse en el plano 2.

Debido a que en el valle reina un clima árido, y el agua es destinada principalmente a la agricultura, se debe recurrir al riego artificial de los cultivos, mediante la distribución del agua del río San Juan. Para ello existe una amplia red de canales, con unos 1.100 kilómetros impermeabilizados y unos 4.000 kilómetros de tierra. Además, se cuenta con un sistema de drenaje para las aguas para riego, las que a veces son utilizadas nuevamente, para irrigar tierras bajas.

Como los caudales del río San Juan, que dependen principalmente de las condiciones nivológicas de la cordillera, han disminuído notablemente en estos últimos años, las necesidades de riego han debido complementarse con agua subterránea. La extracción actual, se estima en unos 200 hectómetros cúbicos por año, a

través de unas 6.000 perforaciones particulares, y varias baterías de pozos construidas por el gobierno (3).

Es indudable entonces, la importancia que tiene conocer en detalle, las características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas de la cuenca, para lograr así, una distribución racional y una eficiente administración del agua subterránea, las que permitirán preservar adecuadamente este costoso recurso.

H. EL RIO SAN JUAN Y SU COMPOSICION QUIMICA

Como gran parte de la recarga de la cuenca de agua subterránea, está relacionada con el río San Juan, es importante conocer el origen de sus componentes químicos, y su variación con el caudal.

El río San Juan, formado por la unión de los ríos de Los Patos y Castaño, en el lugar denominado Las Juntas, drena las aguas originadas principalmente por los deshielos cordilleranos. Figura 4. El de Los Patos, que contribuye con un 80% de su caudal total, está integrado por los ríos de Los Patos Superior y Blanco, y recibe al Calingasta (permanente) y Ansilta (temporario). El río Castaño, que aporta el 20% restante, está integrado por el San Francisco y Atutía, que escurren aguas cordilleranas de baja salinidad. Las cuencas imbríferas de Los Patos, Calingasta y San Juan, abarcan una superficie de 14.600, 6.400 y 5.000 kilómetros cuadrados respectivamente (3)

El río San Juan desde Las Juntas, con una longitud de unos 80 kilómetros, llega a través de la quebrada de Ullum hasta el Valle de Tulum, recibiendo en su recorrido, al Uruguay y al Sasso, permanentes de escaso caudal. El agua es retenida en el dique Ignacio de la Roza, y sólo pasa sobre él, cuando excede las necesidades de riego, o la capacidad de los sistemas de distribución.

La recarga directa por su lecho, se produciría en una mayor proporción, en el tramo comprendido entre el dique y el puente de Albardón, y en estos años de bajos caudales, no ha sido muy significativa. Una mayor infiltración proviene del agua para riego, y de los canales por pérdidas en su conducción, cuya evalua

ción cuantitativa puede consultarse en los trabajos de Hsu, H. (3) y Coria, D. (14).

El caudal del río San Juan que depende de las condiciones nivológicas cordilleranas, en estos últimos años ha descendido notablemente, llegando a un promedio de 28 y 17 metros cúbicos por segundo, para los años 67-68 y 68-69.

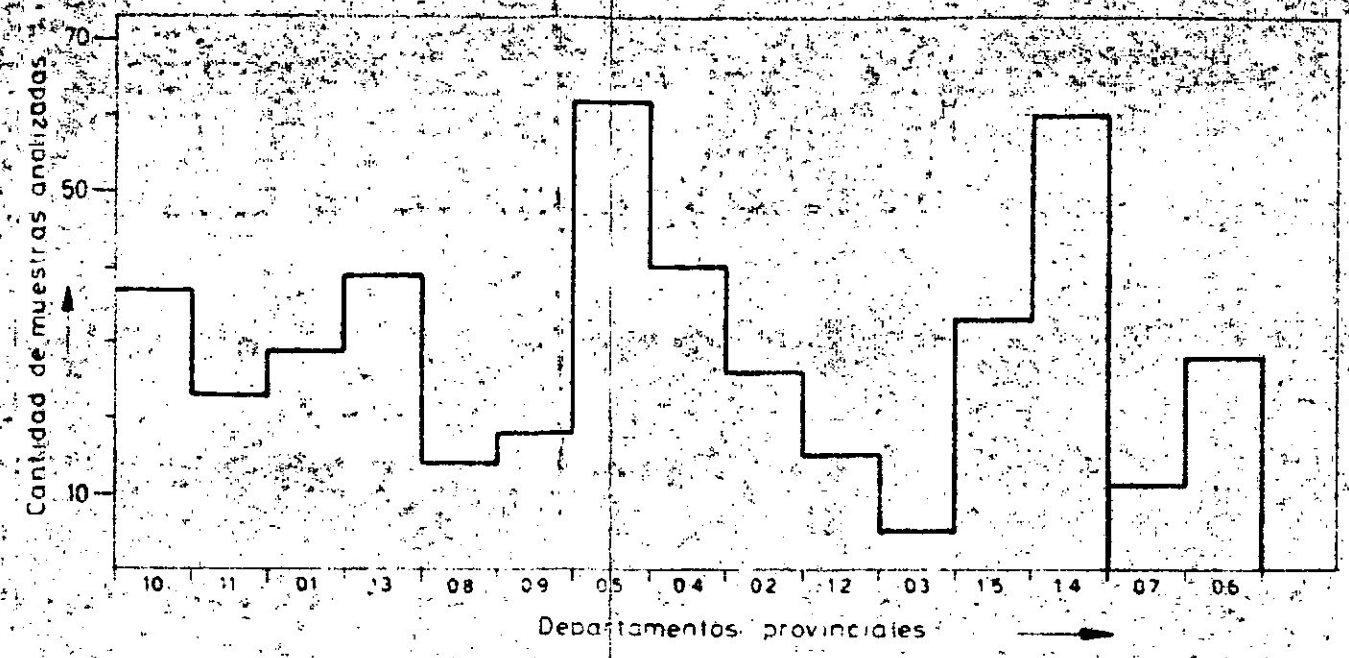
Se ha tratado de tomar muestras de los diferentes ríos que le dan el actual carácter químico, aunque estas tareas se han visto entorpecidas por las grandes distancias y los difíciles accesos a algunos lugares. En las tablas 1; 2, 3 y 4 se da la composición química de estos ríos, mientras que en la figura 4 puede consultarse la ubicación de la toma de muestras.

La composición química del río San Juan, no se ha visto afectada mayormente por el caudal en el período de tiempo que ha durado el muestreo. Por esta razón, puede considerarse como composición promedio, la que corresponde a las distintas muestras tomadas en el puente de Ullum, identificadas con el N° 7 en la tabla 3.

La salinidad del río San Juan, tiene su origen principalmente en el río de Los Patos Superior (680 mg/l), la que es disminuida por los ríos de baja salinidad, Castaño y Calingasta, con valores de sólidos disueltos, de 158 mg/l y 149 mg/l respectivamente. El contenido elevado de calcio, sodio, sulfato y cloruro, se origina en el mismo río, y, para una muestra extraída en el lugar denominado Las Hornillas, se tienen respectivamente para estos iones, los siguientes valores en me/l: 6.29, 2.78, 6.14 y 2.23. El pasaje de las aguas sobre formaciones de yeso, disuelve las sustancias solubles, que le dan su carácter químico particular.

Los ríos Castaño y Los Patos (aguas abajo del río Calingasta), aportan principalmente los iones bicarbonato, con un contenido de 2.23 y 2.52 me/l, respectivamente. Las aguas de los ríos temporarios, de la Deheza, La Travesía y de la Ciénaga, también poseen una gran concentración de bicarbonato, superior a los 2.00 me/l.

FRECUENCIA DE MUESTREO POR DEPARTAMENTOS DE LOS VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA



REFERENCIAS

CODIGO DE DEPARTAMENTOS

01	Capital
02	Rivadavia
03	Santa Lucia
04	Rawson
05	Petite
06	Zonda
07	Ullum
08	Chimbas
09	9 de Julio
10	Albardón
11	Angaco
12	San Martín
13	Caucete
14	25 de Mayo
15	Sarmiento

Gráfico 1

DISTRIBUCION DE MUESTRAS SEGUN EL CONTENIDO SALINO TOTAL

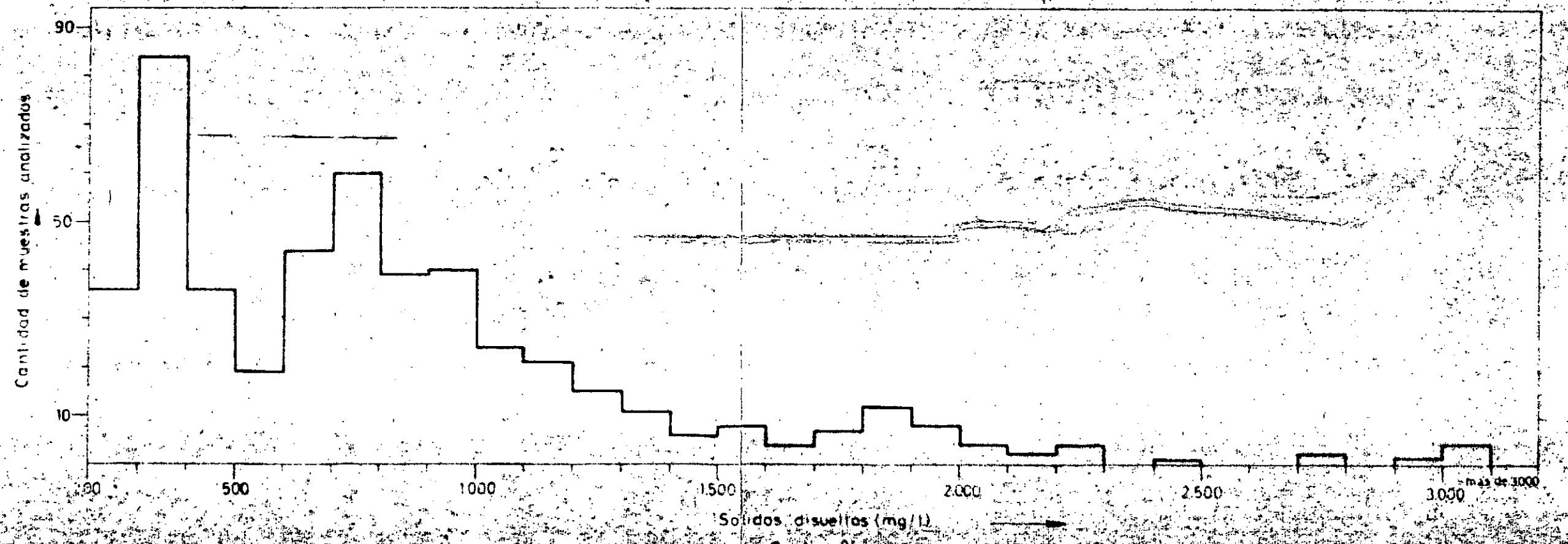


Gráfico 2

Figura 3

El boro tendría su origen principalmente en los ríos Los Patos Superior y Los Patos, y secundariamente en el Castaño.

I. CANALES

El agua distribuida por los canales para riego, proviene directamente del río San Juan, y por lo tanto su composición química resulta similar.

Alguna variación puede encontrarse en aquellos que reciben aguas de las baterías de pozos. En el caso de la construida en el departamento de Zonda, en donde el agua subterránea es algo mineralizada (alrededor de unos 600 mg/l de sales totales promedio, respecto a unos 370 mg/l para el río), el aumento de salinidad en el canal, dependerá de las cantidades mezcladas, aunque de todos modos, no será muy significativo. Es importante considerar en la proyección de baterías, la composición química del agua subterránea, que según las zonas de ubicación, podrá o no ser desfavorable para el agua de los canales distribuidores.

J. DESAGUES

La composición química de las aguas provenientes de ciertos desagües, es muy variable, con salinidades extremas. Como algunas veces estas aguas son utilizadas para riego, es conveniente determinar previamente las condiciones en que pueden ser aplicadas.

Debido a las sequías de estos últimos años, en general, los desagües no han conducido agua, y por ello no se ha completado el muestreo.

K. DESCRIPCION DE LAS FORMACIONES ACUIFERAS, BAJO EL ASPECTO QUIMICO

La etapa previa para planear el muestreo de agua subterránea, consistió en estudiar en detalle la estructura del subsuelo. Para ello se emplearon los diversos cortes geológicos, que seccionan a la cuenca en dirección este-oeste y norte-sur, tal como están representados en el panel de la figura 2.

De acuerdo a los estudios geológicos, existe en coincidencia con el antiguo cono aluvial del río San Juan, un acuífero único, que en gran parte se comporta como libre. Hacia el este, se dividiría por la presencia de capas impermeables o semipermeables (acuicludos superior e inferior), en dos acuíferos confinados o semiconfinados, designados también superior e inferior, respectivamente. Hacia el este y sureste de la falla Tulum, se tendría sólo un acuicludo superior y un acuífero confinado inferior. El acuicludo, sería una continuación del superior ubicado del lado occidental de la falla, mientras que el acuífero, sería una prolongación del acuífero superior situado en igual posición. Sin embargo, en la parte suroriental de la cuenca, el acuífero está considerado como una continuación del inferior, o bien como una mezcla de ambos. Para un mayor detalle, pueden consultarse los trabajos mencionados en la cita bibliográfica, (2), (5), (6).

En adelante los acuíferos serán llamados secciones acuíferas, manteniendo la denominación de los acuicludos, y en la figura 2, está esquematizada su distribución. Bajo el punto de vista químico, el relleno aluvial de la cuenca está diferenciado de la siguiente manera:

1. Sección acuífera I ó área de recarga

La sección acuífera I, de espesor variable, de 0 a unos 440 metros, corresponde al área de recarga o zona de infiltración, y se comporta como un acuífero libre. Está formada por gravas gruesas, compuestas por rodados de riolitas, granitos, dioritas, grauvacas, areniscas, calizas, etc. El material ha sido aportado principalmente por el río San Juan, aunque algunas calizas y dolomitas, pueden haber sido depositadas por ríos menores, provenientes de la sierra Chica de Zonda.

Debido a la gran permeabilidad de esta sección acuífera, el agua contenida a poca profundidad, unos 40-60 metros, está muy afectada por evapotranspiración, la que es favorecida por las rígidas condiciones climáticas, agua para riego, aguas servidas, agua de canales, etc., lo que en definitiva se traduce en

una variación en el grado de salinidad, tanto vertical como horizontal. Por la insuficiente cantidad de pozos profundos, no se han obtenido datos, para profundidades mayores a las indicadas.

La sección acuífera I, se corresponde con el denominado Forbey Area de Hansen, y con una parte del acuífero único de Rocca.

2. Sección acuífera II ó Sección acuífera superficial

La sección acuífera superficial II, se refiere en particular a las intercalaciones acuíferas del acuícludo superior A. Está formada en general por arenas finas, limos y arcillas, y su espesor es de unos 100 metros. El agua que contiene es muy mineralizada, razón por la cual, está poco explotada en la actualidad, y por ello, no fue posible obtener suficientes datos como para conocer convenientemente sus características químicas.

La sección acuífera superficial II, está incluida dentro del acuícludo superior de Hansen y Rocca.

3. Sección acuífera III ó Sección acuífera superior-inferior

La sección acuífera III, que se llamará en adelante, superior-inferior, limita al oeste con el área de recarga, siendo una continuación de ésta. Su espesor es variable, llegando a unos 350 metros en el sur de la cuenca. Se encuentra por debajo del acuícludo superior A, y por ello presenta condiciones confinantes o semiconfinantes.

La composición litológica es variada, estando formada por una alternancia de gravas de regular tamaño, y arenas gruesas, con intercalaciones de limos y arcillas, disminuyendo la granulometría de los sedimentos, hacia el sureste. En los bordes de cuenca, se encuentran materiales provenientes de las sierras colindantes.

De acuerdo a lo ya manifestado, parece existir una continuidad de es

ta sección acuífera en todo el valle, a ambos lados de la falla de Tulum, que parece no haberla afectado mayormente.

La sección acuífera III, se corresponde con el acuífero superior de Hansen y con el superior e inferior de Rocca.

4. Sección acuífera IV ó Sección acuífera inferior

La sección acuífera inferior IV, se encontraría únicamente al oeste de la falla Tulum, separada de las formaciones acuíferas anteriores, por el acuífudo inferior B. Su espesor es muy importante, llegando en el centro de la cuenca, a unos 400 metros. Debido a la escasa cantidad de pozos que llegan a ella, no es posible conocer en forma detallada, las características químicas del agua.

La sección acuífera IV, se corresponde con el acuífero inferior, de Hansen y Rocca.

L. MUESTRAS DE AGUA PARA SU ANALISIS QUIMICO. PROGRAMAS DE MUESTREO

Interpretados los antecedentes recopilados, fue preparado un programa de muestreo, que permitió correlacionar los datos y extraer conclusiones respecto a las características químicas de las aguas estudiadas. La toma de muestras se ajustó a rígidas especificaciones y a normas determinadas. (4), (7), (8).

1. Agua Subterránea

Para encarar racionalmente el programa de muestreo de agua subterránea, se debía contar con estudios geológicos de superficie, subsuelo, e hidrológicos, a fin de ubicar aquellas perforaciones que no tuvieran varios tramos de filtros, y permitieran extraer muestras de agua de formaciones acuíferas determinadas, evitando en lo posible, resultados imprecisos o no relacionables entre sí.

Analizados los perfiles geológicos de las perforaciones censadas, y comprobados algunos datos por medio de muestras de perforaciones preseleccionadas,

se planificó el muestreo, el que de todos modos, podía ser ordenado a medida que se obtuvieran nuevos detalles, y se conocieran los estudios simultáneos, de las restantes especialidades integradas en el Proyecto.

Teniendo en cuenta la superficie a estudiar, de unos 3.700 kilómetros cuadrados, se programó extraer muestras cada 3 a 7 kilómetros cuadrados, y obtener así una red suficientemente densa, como para lograr una adecuada representatividad química, de los diferentes horizontes acuíferos.

Se trató de muestrear cada una de las formaciones definidas, pero, la limitada cantidad de perforaciones en actividad en la sección acuífera superficial, abandonadas en general por la elevada salinidad del agua, no permitió cumplir el programa previsto para la correlación de sus datos.

Esta situación se repitió con la sección inferior, la que debido a la profundidad en que se encuentra su techo, no es alcanzado generalmente por los pozos, con excepción de aquellos lugares en donde se acerca a la superficie.

La toma de muestras en el área de recarga, y en la sección acuífera superior-inferior (I y III), ha sido posible ejecutarla de acuerdo a lo programado, por lo que la interpretación hidrogeoquímica, se referirá principalmente a las características químicas del agua contenida en ellas.

La densidad de muestreo, fue intensificada en las zonas de mayor complejidad en la composición del agua, y hasta el presente, se han analizado en forma completa, unas 500 muestras.

En el momento del muestreo, con un adecuado instrumental de campaña, se hicieron in-situ determinaciones de conductividad específica, hierro, pH, temperatura, y cuando los estudios lo exigían, alcalinidad y dureza. Estos datos permitieron controlar y ajustar el programa, sin mayores pérdidas de tiempo.

En la figura 3, gráfico 1, se puede observar la cantidad de muestras tomadas en cada departamento del Valle de Tulum.

2. Agua Superficial

Para definir el grado de relación, entre la composición química del agua subterránea y superficial, fue programada la toma de muestras en las cuencas imbríferas de los ríos Los Patos, Calingasta y San Juan, además de vertientes, arroyos, canales y desagües. En algunos casos, las muestras fueron extraídas periódicamente, a fin de determinar las variaciones con el tiempo y caudal.

Se han analizado más de 100 muestras de aguas superficiales, y la ubicación de los lugares muestreados, pueden consultarse en la figura 4.

3. Para análisis isotópico

Teniendo en cuenta las posibilidades ofrecidas por los radioisótopos, carbono 14 (^{14}C), tritio (^3H) y oxígeno 18 (^{18}O), se preparó un muestreo en aquellos lugares, en donde era menester contar con datos complementarios que permitieran definir el origen del agua, aportes laterales, como a otros parámetros hidrogeológicos.

La toma de muestras se realizó de acuerdo a las normas especiales que requiere su extracción, realizando en el campo, determinaciones de alcalinidad y dureza.

El muestreo se efectuó en el área de infiltración, en diferentes secciones acuíferas, en lugares en donde se evidenciaban químicamente distintos aportes, y, en perforaciones con posibilidades de intercomunicación de acuíferos. En el mapa 2 puede consultarse su ubicación.

Algunas muestras han sido procesadas en el Laboratorio de Física, de la Universidad de Groningen, Holanda, mientras que otras, se están analizando en el Instituto de Física, de la Universidad de Berna - Suiza (9).

M. GENERALIDADES

Desde el punto de vista químico, el agua subterránea contenida en el aluvión de la cuenca Valle de Tulum, se caracteriza por su heterogeneidad, presentan

do diferencias horizontales y verticales en su composición.

En cambio, las aguas superficiales relacionadas con esta cuenca, acusan variaciones menores.

Las aguas se han caracterizado mediante la determinación de los siguientes iones principales: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-), elementos menores como el flúor (F^-) y boro (B). Además de sílice (SiO_2), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), nitrato (NO_3^-), pH y conductividad específica.

La recarga de agua subterránea está estrechamente relacionada con el río San Juan, ya sea directamente, por una infiltración a través de su lecho, como indirectamente, por el riego y las pérdidas de canales, aunque en algunas zonas, se produce también por aportes laterales, desde el borde de la cuenca.

La mineralización del agua de infiltración, que varía en su recorrido a través de los suelos, y en las formaciones acuíferas atravesadas, puede alterar la composición química del agua subterránea, la que dependerá en gran parte, de las características de la recarga.

La mayor parte de las sustancias disueltas, provendrían de: el agua de infiltración; la disolución de los materiales solubles que integran las rocas acuíferas; las reacciones químicas con los sedimentos y, los intercambios iónicos con limos o arcillas.

Las variaciones del contenido salino total, como de la concentración relativa de los iones individuales del agua, pueden deberse a: la composición de las formaciones acuíferas; el tiempo de contacto, el que está en relación directa con la permeabilidad; el contenido de sales solubles en los sedimentos; la composición química variada o los diferentes orígenes de las aguas de infiltración (río, riego, etc); intercambios iónicos; concentración por evapotranspiración; condiciones climatológicas; y, por la magnitud de la explotación, la mano del hombre.

En consecuencia, la composición química del agua subterránea, reflejará

todos los cambios físico-químicos, sufridos a partir del momento en que se puso, en contacto con las formaciones acuíferas, lo que permite determinar su origen, evolución, movimiento, y en algunos casos, las zonas de contaminación, tan comunes en algunas partes del valle de Tulum.

La aplicación de los llamados "environmental isotopes" del agua superficial y subterránea, permiten también conocer o confirmar alguna de estas características, considerando la variación de las propiedades radioactivas (10), (11) y (12).

Los isótopos de un elemento, son átomos que tienen en su núcleo, el mismo número de protones (igual número atómico: Z) y difieren en el número de neutrones (N), es decir, en su número de masa ($A = Z + N$).

Cuando el núcleo de un isótopo es inestable, se transforma espontáneamente en otro hasta lograr su estabilización, y el proceso se conoce con el nombre de desintegración radioactiva. En este caso se está en presencia de un radioisótopo, de lo contrario, de un isótopo estable. Las propiedades y leyes de la desintegración son las que se utilizan en los estudios hidrogeológicos.

Entre los isótopos estables, y de mayor interés hidrogeoquímico, figura el del oxígeno, oxígeno 18 (^{18}O).

La composición de este isótopo en una muestra de agua, se refiere en términos de la desviación relativa por mil, comparando la concentración del mismo, respecto a un standard arbitrario denominado SMOW (Standard Mean Ocean Water), y se expresa como sigue:

$$\delta_{18} = \frac{R - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

en donde R, dindica para el caso del oxígeno, la relación isotópica de $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ (11).

El valor del fraccionamiento $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$, depende de la temperatura de con

densación de las precipitaciones, disminuyendo el contenido de ^{18}O a medida que decrece la temperatura, o viceversa. La comparación de datos de δ en aguas de infiltración y subterránea, permite determinar por consiguiente su origen. Esto es posible cuando se establece la temperatura de condensación, la que estará en relación directa con la altura a la que se han formado las aguas superficiales de recarga. Los ríos de alta montaña, tienen valores de δ_{18} , más bajos que aquellos formados a menor altura. Tal es el caso del río San Juan, cuyas aguas se originan en la alta cordillera (9), (13).

Entre los radioisótopos del agua, de mayor interés hidrológico, figuran el tritio (^3H) y el carbono 14 (^{14}C).

El tritio, isótopo radioactivo del hidrógeno, es un emisor de radiaciones beta, y tiene un período de semidesintegración de 12,26 años (11). Se ha originado principalmente, por efecto de las radiaciones cósmicas sobre los componentes atmosféricos, y se encuentra en concentraciones muy bajas en el agua natural. Las explosiones nucleares efectuadas desde 1952, han elevado algo sus valores normales.

Con el tritio pueden determinarse edades del agua, de hasta 25-30 años, aunque los datos pueden estar afectados por contaminaciones radioactivas ambientales. También permite establecer mezclas de aguas subterráneas con aguas de infiltración de corta edad.

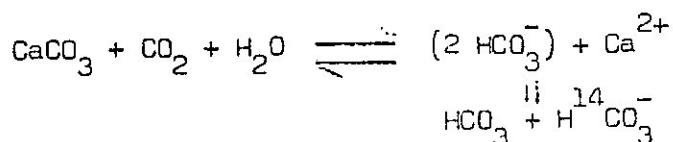
El ^{14}C , radioisótopo del carbono, es un beta emisor y tiene un período de semidesintegración de 5.568 años, aunque investigaciones recientes la estiman en 5.730 años (11).

El ^{14}C , es producido por efecto de la radiación cósmica, sobre la atmósfera superior, mediante la acción de neutrones sobre átomos de nitrógeno. Por oxidación pasa a anhídrido carbónico ($^{14}\text{CO}_2$), el que se mezcla con el CO_2 atmosférico.

Debido a la baja presión parcial de este gas, el agua de lluvia tiene disuelta una pequeña cantidad, y por lo tanto, la parte que se infiltra en la tierra aportará una ínfima concentración de ^{14}C al agua subterránea.

La descomposición de materia orgánica, y la respiración de las plantas,

producen en la parte superior de los suelos, una mayor cantidad de anhídrido carbónico, y debido a su presión parcial, se disuelve en una mayor concentración en el agua que los atraviesa. Este CO_2 , puede disolver a los carbonatos minerales de los suelos de acuerdo con la siguiente ecuación, y el equilibrio dependerá de su presión parcial:



Surge de aquí, teóricamente, que el carbono de los bicarbonatos formados, proviene, la mitad del anhídrido carbónico, y la otra mitad de los carbonatos. Como estos últimos, debido a su edad, no contienen ^{14}C , el radioisótopo tendrá su origen únicamente, en el carbono del CO_2 biogénico, disuelto en el agua durante su pasaje a través de los suelos (11).

Mediante la determinación de la concentración de ^{14}C en el agua subterránea, es posible establecer su edad, flujo y velocidad. Los detalles pueden consultarse en la bibliografía especializada (9), (10), (11), (12), (13).

N. EL AGUA SUBTERRÁNEA Y SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

Como las muestras de agua extraída, corresponden en su mayor parte al área de recarga y a la sección acuífera superior-inferior, en adelante todo dato químico, se referirá a estas formaciones.

En la tabla 5 se dan los valores máximos, mínimos y promedio, de las principales características determinadas por los análisis químicos. La división en departamentos del Valle de Tulum, obedece sólo a razones prácticas, y no está relacionada de manera alguna con la interpretación hidrogeoquímica.

Posteriormente, se incluirá un listado de todos los datos químicos, preparado mediante la computadora electrónica.

Además, los análisis pueden consultarse en el informe interno de Lohn, P. (15). Las concentraciones se han expresado en miligramos por litro (mg/l), milie-

equivalentes por litro (me/l) y % de miliequivalentes (% me).

La representación de los análisis mediante diagramas circulares, ha permitido seleccionar zonas con iguales características químicas, y su distribución en el mapa 1, demuestra la heterogeneidad del agua subterránea de la cuenca en estudio.

Los iones que predominan en las aguas analizadas son: calcio, sodio, magnesio, potasio, sulfato, bicarbonato y cloruro. El ión Carbonato está ausente en la mayoría de las muestras, y únicamente en pocas del departamento de Angaco, fue encontrado en muy baja concentración.

El contenido de sílice (SiO_2) es variable, de 1.6 a 74 mg/l, con un promedio de 28 mg/l.

Las concentraciones de hierro (Fe^{2+}), y manganeso (Mn^{2+}) son muy bajas, y en general, la sensibilidad de los métodos analíticos empleados, no permiten su determinación. Los fluoruros (F^-) varían de 0.1 a 7.2 mg/l, con un promedio aproximado de 0.79 mg/l.

Los nitratos (NO_3^-) están ausentes en aguas de las zonas profundas y confinadas, y llegan a un máximo determinado de 74 mg/l, para aguas poco profundas, o que están contaminadas. El boro es muy variable, y se han registrado concentraciones entre 0.5 y 7.8 mg/l (0.73 mg/l de promedio).

El pH tiene un valor medio de 7.5 y la temperatura está generalmente en relación con la profundidad, es decir, con el grado geotérmico, y oscila entre 11° C y 31.5° C para las muestras analizadas.

Los valores iónicos, y sus relaciones relativas, permiten vincular al agua subterránea con las aguas de infiltración, la composición de los acuíferos y los cambios químicos.

En el caso de esta cuenca, las relaciones Ca/Na y Mg/Ca dependen de las formaciones acuíferas, y de los intercambios iónicos, en cambio, la relación $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4$, principalmente de los aportes superficiales, los que se caracterizan por su

elevado contenido en bicarbonatos.

En el gráfico 1 se muestran las variaciones iónicas y de la salinidad del agua subterránea, según una línea de flujo tal como está indicada en el plano 2. Se observan en él claramente, las modificaciones que ocurren durante su movimiento, tales como: concentración, precipitación, cambios iónicos y en algunos casos, contaminación. Se ha representado además en forma esquemática, los perfiles de los pozos muestreados, indicando las profundidades de los filtros.

D. PLANOS HIDROGEOQUÍMICOS

Para estudiar las modificaciones de la composición química del agua de la cuenca Valle de Tulum, se han utilizado diversos mapas hidrogeoquímicos. Estos, que resumen las características químicas consideradas como las más representativas, pueden dar en general, una idea bastante clara del origen, aportes y evolución del agua subterránea, además de las posibles contaminaciones, que pueda sufrir durante su movimiento a través de las formaciones acuíferas.

Para su confección han debido utilizarse datos de análisis de muestras extraídas en diferentes fechas y épocas. Lo que ha sido posible, debido a que durante el período de estudio, las variaciones de las características químicas, en general no han superado el 20%, estando la mayoría, por debajo del 5%, valor práctico aceptable. De todos modos, a medida que se continúen los trabajos hidrogeoquímicos en esta área, se podrá aumentar su precisión, aunque tal vez se necesitarán varios períodos hidrológicos, para lograr un adecuado ajuste. Este conocimiento permitirá además, preparar en el futuro, un modelo matemático químico.

Las curvas trazadas, unen puntos de iguales valores, referidos siempre a una misma sección acuífera, de forma tal, que el paso de una a otra, permite estudiar los cambios horizontales de las variables representadas.

En este trabajo se tratará únicamente al plano de sólidos disueltos, analizando de este modo, las distintas salinidades del agua subterránea, de gran utilidad práctica por su aplicación inmediata.

Las demás características químicas, se verán en informes sucesivos.

P. SALINIDAD DEL AGUA. SÓLIDOS DISUELTOS

La salinidad o mineralización del agua, se refiere al contenido total de sales solubles disueltas. Se expresa en términos de los denominados sólidos disueltos (SD), y su valor puede ser determinado en forma analítica o mediante cálculos (7), (15).

El laboratorio del Plan Agua Subterránea ha utilizado los dos métodos. El analítico consiste en obtener en una alícuota la muestra, el residuo de evaporación secado a 180° C. Este dato, no siempre representa el peso total de todas las sustancias disueltas en el agua, puesto que no se tienen en cuenta, las pérdidas y ganancias de peso que pueden ocurrir durante el proceso.

Por el método de cálculo, se determina el contenido salino, sumando cada uno de los elementos analizados, en mg/l. Este valor tampoco es exacto, debido a que en general no se determina la totalidad de los constituyentes del agua.

En realidad, el término de sólidos disueltos, estará definido por el método empleado y por consiguiente, siempre representará una aproximación del valor real.

Las diferencias entre el residuo de evaporación, y los sólidos disueltos calculados para las muestras analizadas, están por debajo de 5-10% de forma tal, que los valores son reemplazables entre sí.

Se ha comprobado también, que existe una relación práctica entre los sólidos disueltos (SD), en mg/l, y la conductividad específica (CE) en micromhos/cm, la que responde a la siguiente expresión:

$$SD = 0.73 \text{ CE} \quad (1)$$

en donde 0.73, representa la constante de proporcionalidad, que depende, tanto del contenido salino total, como del contenido iónico, y varía en general, para las diferentes fuentes de agua (17).

La relación, permite interpretar fácilmente los valores de sólidos disueltos, en términos de la conductividad específica, o viceversa, y por ello, las conclusiones que se darán aquí, serán válidas indistintamente para cada uno de estos parámetros.

En la figura 3 gráfico 2, puede observarse la distribución de las muestras tomadas según el contenido salino.

Q. PLANO DE SOLIDOS DISUELTOS

Los valores utilizados para preparar el plano que muestra las variaciones de la salinidad del agua subterránea, son los que se refieren al residuo de evaporación a 180° C, aunque en adelante, se los denominará genéricamente, sólidos disueltos (SD).

No se ha realizado este mismo estudio, para la conductividad específica, debido a que no es incluida comunmente en los análisis químicos de la provincia. De todos modos la relación 1, permitirá transformar un valor a otro, con una aproximación que estará dentro de las finalidades prácticas de este trabajo.

Las curvas se han trazado de forma tal, que el paso de una a otra, refleje una variación constante de los sólidos disueltos. En aquellos lugares en donde había una mayor densidad, por razones de claridad se omitieron algunas. De la misma forma, cuando ha sido necesario aclarar problemas locales, se han agregado otras intermedias, que no corresponden a los intervalos seleccionados. En el plano 2 adjunto, se han trazado las curvas de sólidos disueltos cada 150 mg/l.

1. Descripción

Del análisis del plano de sólidos disueltos, surge que no existe una variación química uniforme. Se observa claramente, la influencia del río San Juan, de las zonas cultivadas, como de los bordes de la cuenca.

En forma general, pueden definirse dos áreas hidrogeoquímicas principales, con modificaciones definidas en su salinidad:

La primera, central, limitada por la curva de 750 mg/l, encierra aguas con una mineralización inferior. La segunda, periférica, bordea a la anterior y llega hasta el borde de cuenca, y contiene aguas de una salinidad total superior a los 750 mg/l y debido a su variado comportamiento, ha sido dividida en subáreas para una mejor interpretación.

Se describirá a continuación al área de recarga y luego a las otras áreas con ella conectada.

(a) Área de recarga. Sólidos disueltos entre 350 y algo más de 1.000 mg/l.

El área de recarga está formada por el antiguo cono aluvial del río San Juan, y su alta permeabilidad, favorece las modificaciones que sufre la composición química del agua subterránea. Limita al este con el área hidrogeoquímica central, y comprende a la totalidad de los departamentos de Rivadavia y Capital, gran parte de Chimbabue, y parcialmente de Albardón, Pasito y Rawson.

La salinidad varía desde un mínimo de 310 mg/l hasta valores algo superiores a los 1.000 mg/l.

Las curvas de sólidos disueltos, que encierran al río San Juan, entre el dique José Ignacio de la Roza y el puente de Albardón, indican claramente que se produce una recarga directa por su lecho. El área que abarca la curva de 600 mg/l, coincide notablemente con la zona que corresponde a la mayor infiltración del río (3).

Los valores más bajos de esta zona (310 mg/l), y semejantes a los del río San Juan, corresponden a muestras de perforaciones ubicadas en la margen derecha, lo que puede deberse a un aporte continuo de éste, ya sea por aguas del subálveo o por pérdidas del dique. En cambio, los obtenidos en la izquierda son algo superiores, tal vez por una mezcla con aguas más salinizadas, provenientes de la subcuenca del Villicum.

Como gran parte del año el agua del río San Juan no sobrepasa al



dique, su influencia es limitada, y por lo tanto no es suficiente para disminuir la salinidad del agua, en la mayor parte del área de recarga.

La mineralización del agua contenida en los primeros 50 metros de esta sección acuífera libre, se debe a que una gran parte de la recarga, proviene del agua de percolación de los suelos irrigados. La elevada evapotranspiración y recirculación, favorecida por la permeabilidad de los suelos, hace que la salinidad respecto a la del río, llegue a más del doble en algunas zonas (ver gráfico 1). El rápido movimiento del agua, impide en cierto modo, que este aumento sea mayor. Su velocidad, además de la constitución de las rocas acuíferas, en general sin arcillas, no favorece a reacciones tal como el intercambio iónico, común en otras zonas de la cuenca.

La cantidad de nitratos encontrada en el departamento Capital, de 73 mg/l, y en el de Pocito, de 58 mg/l, permite pensar que también existe una importante contaminación con aguas superficiales, provenientes, tanto de aguas negras, como del riego, por disolución de abonos.

Un factor importante en esta área, que también define al carácter del agua subterránea, es el CO_2 formado por la actividad biológica de las plantas. Su alta concentración favorece la disolución de las calizas y dolomitas de la sección acuífera, elevando el contenido de bicarbonato, calcio y magnesio, respecto a los sulfatos y cloruros (gráfico 1).

Es posible que el aumento de salinidad se haya producido sólo en la parte superior del área de recarga, lo que permitiría encontrar agua menos mineralizada a mayor profundidad. Lamentablemente no existen perforaciones que permitan comprobar esta hipótesis.

El análisis isotópico señala que el agua del área de recarga es reciente. Es así, que mediante la determinación de ^{14}C , ha sido posible establecer la corta edad del agua de las perforaciones N° 08-26-226 del departamento de Chimbas y 05-34-49 de Pocito; donde se ha obtenido una edad corregida, de A.D. 1960 \pm 1 y D.A. 1959 \pm 1, respectivamente (9). Por otro lado, la determinación

de la desviación del contenido isotópico $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, dió en ambos casos un valor de $\pm 1\%$, similar al de los tributarios del río San Juan, originados en la alta cordillera. Por lo tanto el origen del agua subterránea para los niveles muestreados, estaría vinculado con este río, ya sea en forma directa o indirecta.

Trabajos de recarga artificial, mediante una adecuada infiltración con agua del río, permitirían disminuir la salinidad del agua subterránea de esta área. Para ello deberían aprovecharse las características favorables, que se encuentran en la zona del lecho, demarcada por la curva de 600 mg/l.

(b) Area hidrogeoquímica central. Sólidos disueltos menores a 750 mg/l.

El área central, de forma elíptica más o menos alargada, con su eje mayor orientado de noreste a suroeste, abarca una superficie de aproximadamente 880 kilómetros cuadrados, es decir, sólo un 25% del total estudiado. Comprende a los siguientes departamentos: la parte oriental de Albardón, la mayor parte de Angaco y San Martín, el este de Chimbas y Santa Lucía, la casi totalidad de Rawson y 9 de Julio, el sur de Pocito y el borde occidental de Caucete y 25 de Mayo.

Limita al oeste con el área de recarga vista anteriormente, y el agua se comporta como confinada o semiconfinada. Las profundidades de producción de las perforaciones muestreadas son variables, alcanzando en algunos casos los 150-200 metros.

La curva de sólidos disueltos de 750 mg/l, encierra aguas de menor salinidad con dos zonas interesantes por sus bajos valores:

La primera y más importante por su superficie, está ubicada en el centro, y abarca parte de los departamentos de Rawson, 9 de Julio y San Martín. Los datos obtenidos son inferiores a los 300 mg/l, los más bajos determinados hasta el momento para el agua subterránea de la cuenca. El mínimo, de 269 mg/l, corresponde al pozo N° 09-26-91, con una profundidad de extracción de 80 a 120 metros.

La segunda, más pequeña, se encuentra en la parte norte y ocupa la porción noroccidental del departamento de Angaco. Está limitada por una curva de 450 mg/l; con un mínimo de 320 mg/l.

En general, si se considera que el agua que recarga a la sección acuífera superior-inferior, proviene del área I, con una salinidad que supera los 750 mg/l, (en algunos casos con valores de sólidos disueltos mayores a 1.000 mg/l) se produciría una disminución, en el sentido del flujo del agua subterránea. Este fenómeno se observa claramente, en el pasaje de la curva de 750 mg/l a la de 300 mg/l. Ver plano 2.

Este hecho difícil de explicar, no es normal que ocurra, más aún si se tiene en cuenta que se produce en formaciones acuíferas confinadas, en donde la permeabilidad menor, la presencia de arcillas y el movimiento más lento, debería favorecer el aumento del contenido mineral total. En el gráfico 1, se puede ver claramente esta disminución, tanto de la salinidad como de algunos iones.

Se ha comprobado que dentro de esta área confinada, ocurre un neto cambio iónico de Ca, Mg por Na, K, un decrecimiento de los bicarbonatos y un incremento de los sulfatos. Los cloruros varían poco, lo que permite afirmar que no habría una conexión de esta sección acuífera, con la superficial, en donde los cloruros son bastante elevados.

La baja salinidad del agua subterránea de la zona central (menor de 300 mg/l), y la que tiene actualmente el río San Juan (mínima de 355 mg/l), ha ce pensar que proviene de una antigua recarga del río, el que tal vez debido a condiciones distintas y a un mayor caudal, estaba menos mineralizado.

Si se verificara esta hipótesis, se confirmaría que entre esta área y la de recarga, se está en presencia de una mezcla de aguas de diferentes épocas, es decir, de aguas antiguas (poco mineralizadas), con aguas recientes (más salinas) procedentes de la actual infiltración.

Los elementos que avalarían esta hipótesis son los siguientes:

a. Si se tienen en cuenta las muestras extraídas de perforaciones ubicadas en el área de recarga, y que representarían su composición actual (simbolizada por I), y muestras del área central, que corresponderían a la antigua infiltración (composición II), se observa que entre las dos zonas, existe una mezcla de las aguas I y II.

Si la composición I está representada por muestras de los pozos, N° 1-46-12, 1-47-13, 1-47-18, 3-48-56 y 4-30-878 y la II, de los N° 3-52-374, 4-58-108 y 4-52-490, del gráfico 2 surge que el agua de los pozos N° 3-47-618, 4-32-754, 2-38-30 y 3-44-47, responden a las siguientes mezclas porcentuales: 71% de I y 29% de II; 68% de II y 32% de I; 63% de II y 37% de I; y 80.5% de I y 19.5% de II, respectivamente. En cambio en muestras de las perforaciones, N° 4-50-84, 4-50-52 y 8-24-173, ubicadas en la misma zona, no se evidencia esta mezcla, tal vez debido a modificaciones por efectos superficiales (concentración o riego).

En el diagrama 2, se ha representado la composición iónica máxima y mínima de las aguas I y II, aguas formadas por la mezcla de estas dos, deben cumplir la condición de que, además de los valores de la salinidad total, deben coincidir dentro de las áreas rayadas, las concentraciones iónicas equivalentes, caso contrario, es probable que no se esté en presencia de una mezcla.

b. La edad de una muestra de la zona con baja salinidad (pozo N° 04-58-749 con una profundidad de extracción de 62 a 100 metros), mediante la determinación con ^{14}C se obtuvo como resultado 2000 ± 70 años. El valor de la desviación isotópica de ^{18}O , de $\delta_{18} = \pm - 15.8\%$, indica que su origen está vinculado con el río San Juan, y estos datos permiten deducir, que el agua corresponde a una antigua recarga.

En el futuro se completará el estudio con radioisótopos, en muestras de la zona intermedia (entre la de recarga y la central), a fin de tener nuevos elementos de juicio, que permitan confirmar la hipótesis mencionada.

Si se verifica este origen para el agua del área central, la zona menos salinizada disminuirá a medida que se intensifique su extracción, y avan

cen las más mineralizadas que la rodean.

Hacia el este, y según el movimiento del agua, se produce nuevamente un aumento de la salinidad y del contenido iónico. Gráfico 1. La sedimentación más fina en la zona de confinamiento, la presencia de arcillas, una posible intercomunicación natural o artificial, con las formaciones acuíferas superiores, serían las causas de estas variaciones.

Al sur se manifiesta también este hecho, aunque no se ha determinado su origen, debido a la limitada cantidad de perforaciones entre los cerros Barboza y Valdivia. La poca profundidad del basamento terciario en esta zona, y por ende, el escaso relleno aluvial, induciría a pensar que la salinidad del agua, puede estar afectada por una mayor concentración por evaporación, como por aquellas contenidas en el sustrato arcilloso. Como dato ilustrativo, puede mencionarse en esta zona, al pozo N° 04-70-1032 del departamento de Rawson, que dió un valor de 6.100 mg/l para los sólidos disueltos.

La continuidad de la sección acuífera superior-inferior III, estaría confirmada por la composición química similar de las muestras extraídas a ambos lados de la Falla Tulum. Si ésta, hubiera intercomunicado a las secciones acuíferas III y IV, podría establecerse que la composición del agua en ambas sería igual, pues en caso contrario, se habrían evidenciado cambios en el lado este de la falla.

La deformación de las curvas, entre el cerro Barboza y la sierra Pié de Palo y al oeste de la línea que forma los cerros Barboza y Valdivia, puede deberse a las condiciones de extracción. En general, las cuñas que se producen, están dirigidas a las zonas de mayor depresión de los niveles.

(c) Área hidrogeoquímica periférica

Rodeando el área hidrogeoquímica central, se ha diferenciado de acuerdo al comportamiento del agua subterránea, un área periférica. Por su variación salinidad, fue dividida de acuerdo a sus características en cinco subáreas, de-

nominadas: occidental norte, occidental sur, oriental, noreste y sur. Según su ubicación, corresponde incluir también el área de recarga, pero su condición hidrogeológica particular, ya fue tratada anteriormente.

- i. Subárea occidental norte. Sólidos disueltos entre 440 mg/l y 2.250 mg/l.

Esta subárea, de forma triangular, se extiende al norte del río San Juan, y comprende a la totalidad del departamento de Albardón, además incluye a las subcuencas de Villicum y de la Loma de Las Tapias. El límite oriental está dado por la curva de 750 mg/l del área hidrogeoquímica central.

La salinidad varía desde un mínimo de 416 mg/l hasta unos 2.250 mg/l.

Las formaciones acuíferas cercanas al borde de cuenca, se encuentran a poca profundidad, presentándose como un acuífero libre. Las profundidades de las perforaciones muestreadas, generalmente son inferiores a los 50 metros. Más al este, el agua se comporta como confinada y por hundimiento del basamento impermeable, aumenta considerablemente el espesor del relleno aluvial. En esta zona, los pozos en muchos casos superan los 100 metros.

En la subcuenca Loma de Las Tapias, el agua subterránea proveniría de una recarga directa del río San Juan, y por ende la salinidad de sus aguas es baja, aunque la escasa cantidad de datos, impide sacar mayores conclusiones.

En la subcuenca Villicum, el origen podría vincularse con las aguas provenientes de la sierra del mismo nombre y de la zona de La Laja y el Salado. Los valores de sólidos disueltos, superiores a los 1.000 mg/l (con un máximo de 2.250 mg/l para el pozo N° 10-52-242), permiten suponer que, además de aportes mineralizados, el escaso relleno aluvial, favorecería un aumento de la salinidad por una concentración por evapotranspiración. La mayor cantidad de sulfatos, indicaría por otro lado, una disolución de las formaciones acuíferas relacionadas con el terciario. Si se consideran los valores de los sólidos disueltos, de las

vertientes del Salado y de La Laja de 8.790 mg/l y 6.580 mg/l respectivamente, se puede tener una idea de la salinidad de los aportes del noroeste.

En aquellos lugares, en donde el conglomerado terciario que forma el basamento es poco profundo, puede esperarse cierta influencia del agua contenida en él. Para el pozo perforado por el Plan Agua Subterránea en el departamento de Albardón, con el N° 10-28-212 (VT 17), se obtuvo un valor de 11.150 mg/l para la salinidad total.

A medida que el agua avanza hacia la subcuenca Tulum, y aumenta el espesor del relleno aluvial, se produce una mezcla con aguas provenientes de la zona central, disminuyendo el contenido salino.

Es decir que en esta subárea, la composición del agua depende de las diferentes condiciones locales, tales como, aportes laterales, concentración por evapotranspiración y mezcla de aguas.

- ii. Subárea occidental sur. Sólidos disueltos entre 500 mg/l y 2.800 mg/l.

Esta subárea se extiende desde el sur del área de recarga, hasta el cerro Valdivia, y limita al este, con el área hidrogeoquímica central. La franja de aproximadamente un kilómetro de ancho, cercana al borde de cuenca, sería una continuación de la zona de infiltración donde el agua se comporta como libre. En la parte restante, se presentan condiciones de confinamiento.

El agua subterránea tiene una salinidad que varía entre algo más de 500 mg/l, hasta un máximo de 2.780 mg/l, para el pozo N° 05-51-42 del departamento de Pocito, con una profundidad de extracción de 46 a 64 metros.

La zona comprendida entre el borde de cuenca y la curva de 900 mg/l, ubicada entre el área de recarga y la localidad de La Rinconada, contiene agua de baja salinidad, entre 500 y 900 mg/l. Estas aguas podrían estar vinculadas con aportes de la sierra Chica de Zonda y con pérdidas de los canales que la atraviesan. Se necesitarían mayores datos para verificar este origen, aunque

los elevados valores de la relación HCO_3/SO_4 , de 0.90 y 1.30 indican claramente la influencia de aguas superficiales, que se caracterizan en general por su elevado contenido de bicarbonatos.

Al este y sur de esta zona, se encuentran aguas más salinizadas. La relación HCO_3/SO_4 disminuye a un mínimo de 0.11, debido a un aumento de sulfatos, que podrían provenir de la disolución del yeso contenido en las formaciones acuíferas, donde tendrían una constitución algo diferente al resto. La mayor salinidad de las aguas, se encuentra en el centro de la cuña comprendida por la curva de 900 mg/l y en el borde de cuenca, entre La Rinconada y el cerro Valdivia.

La forma de las curvas de sólidos disueltos, puede deberse a los efectos del bombeo, el que facilitaría la intercomunicación con formaciones acuíferas superiores, con aguas de diferentes salinidades y composición.

El hecho de que al sur de La Rinconada, parte de las curvas de sólidos disueltos se mantengan paralelas al borde de cuenca, permite pensar en la existencia de aportes laterales. La disminución de la salinidad en dirección al este, de más de 1.200 a 900 mg/l, indicaría que éstos serían de poco caudal. La elevada salinidad, disminuye por dilución con aguas menos salinas, ya sea provenientes del área hidrogeoquímica central, o, de los canales no impermeabilizados que pasan por el lugar.

Un cálculo estimado puede aclarar algo esta situación. Si se tienen en cuenta los valores de salinidad, de las vertientes ubicadas en la zona mencionada y fuera del borde de cuenca, como los Baños de La Lechuzá y de Las Chilcas, cuyas aguas tienen una conductividad específica de 5.800 y 4.700 micromhos/cm respectivamente, puede aceptarse que la conductividad promedio de los aportes sería de 5.250 micromhos/cm, lo que equivale a una salinidad de 3.830 mg/l, aproximadamente. El promedio de los sólidos disueltos en la franja en estudio, es de 1.400 mg/l, mientras que la del agua proveniente del centro, puede ser de 750 mg/l. La relación de mezcla, de acuerdo con estos datos, es 1 a 3.5, es decir,

por una parte de los aportes laterales, habría 3.5 partes de agua menos mineralizada. Si se conociera el volumen de los aportes laterales, que en general serían subterráneos, podría calcularse la salinidad de los mismos.

Entre el borde de cuenca y el cerro Valdivia (límite entre las subcuencas Tulum y Los Berros), se produce un levantamiento del fondo, que impediría el paso de agua de esta subárea a la parte sur. En caso de que ocurriera, sería de escaso volumen, pues de otro modo el agua contenida en la zona de Los Berros, debería estar afectada por la salinidad elevada de las provenientes del norte, y de lo cual no hay evidencias.

iii. Subárea oriental. Sólidos disueltos, variables entre menos de 1.000 mg/l a más de 8.000 mg/l.

La subárea oriental, se extiende al este de la zona central, llegando hasta la sierra Pié de Palo. Abarca el extremo sureste del departamento de San Martín, y la totalidad de Caucete y 25 de Mayo.

La sección acuífera muestreada presenta condiciones confiantes. La constitución de las formaciones es en general variable, con grandes cambios en la transmisibilidad. La granulometría del relleno se hace menor hacia el sureste, y en los bordes de cuenca se observa una sedimentación proveniente de la sierra Pié de Palo.

El origen del agua subterránea encontrada en esta subárea, es difícil de explicar hasta tanto no se conozca en detalle las características y forma del subsuelo, las que pueden tener una influencia directa sobre ella. La variada salinidad de 1.000 a 8.000 mg/l, puede deberse a que:

a: El agua subterránea tiene su origen en aquellas provenientes de la zona central, las que durante su movimiento a través de sedimentos cada vez más finos, aumentarían su salinidad. La presencia de capas arcillosas, producen un neto intercambio iónico de Ca, Mg por Na, K. La brusca disminución de la relación HCO_3/SO_4 , de alrededor de 0.60 a menos 0.25, y en algunos lugares, in

feriores a 0.10, da una clara idea de la diferente constitución del acuífero.

b: El acuícludo superior no sería completamente impermeable, o bien estaría en presencia de una comunicación natural (zona de fallas, aunque no relacionada con la Falla Tulum), con la formación acuífera superior con agua altamente salinizada, la que se vería facilitada por el intenso bombeo. El aumento de los cloruros respecto de los encontrados para el agua del área central, podría deberse a esta intercomunicación (ver gráfico 1).

c: Existen aportes salinizados, provenientes de la sierra Pié de Palo, de ambiente metamórfico, que en su mayor parte está rodeado por formaciones de edad terciaria, en donde el agua tiene altos valores de sólidos disueltos. Como ejemplo, puede citarse en el borde de cuenca, al pozo N° 13-43-256, que arrojó una salinidad de 3.000 mg/l.

El aumento de la relación HCO_3/SO_4 a valores superiores a 0.50, indicaría la influencia de aguas superficiales (mayor cantidad de bicarbonatos) provenientes de la sierra Pié de Palo.

d: Se produce, por la mano del hombre, una intercomunicación de formaciones acuíferas, con aguas de diferentes salinidades. Esto se debe en general, a inconvenientes en la terminación de pozos, rotura de cañería y a la mala ubicación de los filtros, lo que ocurre la mayoría de las veces, por desconocimiento de la composición del agua de las capas atravesadas por la perforación.

La forma en cuña de las curvas, indicaría una notable influencia del bombeo.

Las causas nombradas darían a esta subárea el carácter químico variable de sus aguas. Sólo de esta forma sería posible explicar la presencia de aguas con tan diversa mineralización.

Al sur (sur de la coordenada 6.484), en el departamento de 25 de Mayo, al este del río San Juan, la escasa cantidad de perforaciones no ha permitido conocer que ocurre con la composición química del agua subterránea. Sólo

pueden mencionarse algunos datos aislados, entre los que seguramente se encontrará su salinidad. Se observa la existencia de áreas con una mineralización total, variable entre 750 a más de 1.000 mg/l, para profundidades de extracción entre 150 y 250 metros. Al sureste, en el pozo N° 14-72-183 (VT 14), perforado por el Plan en el puesto de Vialidad Nacional sobre la ruta Nacional N° 147, se ha extraído una muestra con una salinidad de 1.170 mg/l, (filtros de 370 a 385 metros). Este hecho señalaría tal vez que, a medida que se avance hacia el sureste, es necesario alcanzar o superar estas profundidades, para lograr un agua con sólidos disueltos cercanos a 1.000 mg/l.

iv. Subárea noreste

La subárea noreste comprende el norte y noreste del departamento de Angaco, y el borde oriental de San Martín cercano a la sierra Pié de Palo. Limita al oeste, con la curva de 750 mg/l del área central.

El espesor del relleno disminuye en dirección al borde de cuenca, lo que permite que el agua subterránea se acerque a la superficie, y por evaporación se formen las salinas que se encuentran al pié de la sierra (2).

La cantidad de perforaciones es escasa, lo que ha impedido realizar un muestreo adecuado.

Es posible, teniendo en cuenta alguno de los datos obtenidos, que el origen del agua está vinculado con el área central y con la sierra Pié de Palo.

v. Subárea sur. Sólidos disueltos entre 850 y más de 1.200 mg/l.

La subárea sur comprende la parte extrema de los departamentos de Pocito y Rawson (a partir de la línea que une a los cerros Valdivia y Barboza) y a la totalidad de Sarmiento.

Entre ambos cerros, el basamento impermeable levantado impide que el espesor del relleno aluvial supere los 70 metros, aumentando en general, hacia el sur y sureste. Está casi totalmente integrado por arenas con in-

tercalaciones de arcillas, lo que favorece, durante el movimiento a través de ellas, algunos cambios en la composición del agua.

El departamento de Sarmiento tampoco se ha podido muestrear convenientemente por dificultades en la extracción, y por la profundidad de los pozos disponibles.

En esta subárea, el agua subterránea tiene una salinidad comprendida entre los 850 y 1.000 mg/l, con algunos valores superiores a los 1.200 mg/l, aunque el comportamiento químico es más uniforme que el visto para la subárea oriental.

El hecho de que la relación HCO_3/SO_4 , sea superior a 0.50 en el borde occidental de la cuenca, cerca de la localidad de Cañada Honda, indicaría la existencia de aportes importantes desde la sierra Chica de Zonda, dado que la presencia de calizas influiría para elevar estos valores. Tal vez, el agua subterránea de esta subárea sur, sea una mezcla de aguas de diferentes orígenes: del oeste, de la zona central y del subárea oriental.

La salinidad más homogénea que no depende de la profundidad, permite suponer que los sólidos disueltos sean inferiores a los 1.000 mg/l, para profundidades superiores a los 200 metros.

En esta subárea se ha extraído una muestra para su análisis isotópico, lo que ha permitido comprobar que la edad del agua del pozo N° 15-38-19 (profundidad de extracción de 229-256 metros), de 13.200 ± 150 años, es la más antigua de las examinadas hasta ahora.

La desviación isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, de $\delta_{18} = \pm - 8.7\%$, difiere de los valores encontrados para aguas de otras zonas hidrogeoquímicas (alrededor de $\pm - 15\%$), lo que indicaría que su origen no está relacionado con el río San Juan, si no, con aguas superficiales formadas a menor altura que los ríos andinos. Este hecho justifica aún más, que la recarga provendría principalmente del oeste, tal vez de la sierra Chica de Zonda, o de la subcuenca Los Berros.

En esta última subcuenca, poco muestreada, se han determinado valores para los sólidos disueltos, comprendidos entre 692 mg/l (pozo N° 15-20-199, VT 9) y 960 mg/l (N° 15-98-203, VT 18). La perforación realizada por el Plan en la quebrada de La Flecha, hasta llegar a las calizas, determinó una salinidad de 992 mg/l. En la vertiente Berros Arriba, el valor es de 682 mg/l.

Es posible que en esta subcuenca se encuentren aguas con salinidad inferior a los 1.000 mg/l.

R. SUBCUENCA ULLUM-ZONDA

1. Condiciones generales

El valle de Ullum-Zonda ubicado al oeste del Valle de Tulum, está limitado al este, por las sierras Chica de Zonda y del Villicum; al oeste, por las sierras Alta de Zonda y de la Deheza; al norte se prolonga con el Valle de Matagusanos y al sur, con el Valle de La Ciénaga. Por sus características hidrogeológicas, la cuenca de agua subterránea ha sido dividida en tres subcuencas llamadas Ullum-Zonda, Ullum norte o Matagusanos y Ullum sur o La Ciénaga, abarcando una superficie total de unos 778 kilómetros cuadrados.

Los estudios hidrogeoquímicos se refieren a la subcuenca Ullum-Zonda, de 124 kilómetros cuadrados. Las sierras que la delimitan al este, están compuestas principalmente por calizas y dolomitas paleozoicas, mientras que la del oeste, por grauvacas, lutitas y areniscas del paleozoico superior, y dacitas y andesitas del terciario (2).

Los estudios geológicos-geofísicos han determinado para la cuenca una estructura en forma de graben, con una profundidad de unos 500 metros en el centro. El relleno aluvial está formado por rodados medianos a gruesos, con algunas capas impermeables (arcillas) al noreste de Ullum. Este material fue depositado en su mayor parte por el río San Juan, y en menor proporción por arroyos temporarios de la sierra Chica de Zonda, de donde provendrán seguramente las calizas y dolomitas encontradas. El agua subterránea se comporta principalmente

como libre, y sólo la parte nororiental de la subcuenca, podría ser confinada.

La recarga se produce por el río San Juan y por percolación del agua para riego, aunque también por aportes laterales y de las otras subcuencas.

Este valle se comunica con el de Tulum a través de la quebrada de Ullum y Zonda. Por la primera pasa actualmente el río San Juan, mientras que la segunda corresponde a su antiguo cauce.

La descarga de agua subterránea se produce por derrame superficial, subterráneo, como por evaporación y bombeo. Las dos primeras, se producen por las quebradas mencionadas, formándose por el ascenso del agua, la ciénaga que se encuentra del lado occidental de la sierra Chica de Zonda.

La evapotranspiración alcanza un valor considerable, mientras que el bombeo es de una importancia relativa, aunque puede aumentar actualmente por la construcción de la batería de pozos en el departamento de Zonda.

La superficie cultivada alcanza un 42% de la superficie total de la subcuenca.

2. Programa de muestreo

Debido a las características de la subcuenca, es decir, ausencia de secciones acuíferas definidas, la toma de muestras fue realizada de forma tal, que permitiera obtener datos de profundidades relacionables entre sí.

La escasa cantidad de perforaciones en condiciones de ser muestreadas, las variadas profundidades de producción, no han permitido cumplir adecuadamente el programa previsto.

En el Valle de Ullum, los pozos muestreados alcanzan profundidades que oscilan alrededor de los 60-70 metros, mientras que en el Valle de Zonda, sólo llegan a 20-30 metros, con excepción de los de la batería, en donde son más profundos.

Estudios previos de algunos datos, han permitido utilizar todos los

análisis de las muestras tomadas, pues no se registraron mayores variaciones de la composición, para las profundidades mencionadas; salvo en las formaciones acuíferas muy superficiales.

3. Plano de sólidos disueltos. Descripción

Las consideraciones generales hechas para la cuenca de Tulum, son también válidas para esta subcuenca.

La cantidad de muestras tomadas, no permite ajustar mayormente los estudios de salinidad, aunque de todos modos, dan una idea bastante clara, del comportamiento químico del agua.

Los sólidos disueltos varían, desde valores menores de 300 mg/l, hasta más de 1.200 mg/l, con un máximo de 1.420 mg/l para el pozo N° 06-60-11 del departamento de Zonda.

A grandes rasgos ocurre aquí una situación semejante a la vista para la cuenca Valle de Tulum.

En el caso de Zonda, se tiene en el centro, aguas con salinidades menores a los 300 mg/l, con un mínimo de 262 mg/l, las que tal vez están relacionadas con la antigua recarga del río San Juan mencionada para Tulum, y que aún no han sido concentradas por evapotranspiración.

En este sentido, es interesante mencionar los datos obtenidos para el pozo N° 06-54-48, VT 16, perforado por el Plan Agua Subterránea, cuyos ensayos dieron para los sólidos disueltos: 420 mg/l, 290 mg/l, 279 mg/l para una ubicación de los filtros de 24 a 80, 89 a 108 y 125 a 160 metros, respectivamente. Esto significa que se estaría en presencia de una estratificación en la composición del agua, disminuyendo la salinidad a medida que aumenta la profundidad, es decir, en donde son menores las posibilidades de una concentración por evaporación, y a más de 80 metros, el origen del agua, sería el mismo de la zona menos mineralizada.

La salinidad aumentaría hacia el sur y los bordes de cuenca, en par-

ricular el occidental. Esto se debería a aportes del valle de La Ciénaga o también llamado de Maradona, y al agua para riego de las zonas cultivadas.

La batería de pozos permitirá en el futuro, conocer la evolución de la composición química, en función de las variaciones del potencial hidráulico producido por el bombeo. Es de esperar que la salinidad obtenida en los pozos ubicados más al sur, aumente por avance de aportes más salinos del Valle de La Ciénaga.

En el Valle de Ullum pueden distinguirse tres zonalidades en la salinidad del agua.

Una primera estaría vinculada directamente con la actual infiltración del río San Juan, sin variaciones por concentración y riego. Las salinidades son inferiores a los 450 mg/l.

La segunda comprende aguas con sólidos disueltos menores a 300 mg/l, y se encuentran en la parte nororiental de Ullum, tal vez en la zona de confinamiento. La salinidad menor a la del río puede deberse a una antigua recarga del río San Juan, o bien al agua de los ríos temporarios de La Deheza y La Travesía, aunque principalmente a este último.

La tercer zona, se encuentra en el lado noroccidental, y contiene las aguas más mineralizadas de este departamento. Su origen puede estar relacionado con el agua del río San Juan, pero las favorables condiciones de evapotranspiración, han hecho elevar su salinidad. También el riego (elevado contenido de nitratos), y aportes del noroeste, podrían aumentar su contenido mineral.

Se han extraído muestras para análisis isotópico, a fin de obtener otros datos, que permitan definir el origen y las variaciones de las aguas de esta subcuenca.

S. CONCLUSIONES

1. Valle de Tulum

(a) Area de recarga y sección acuífera superior-inferior III

i. El agua subterránea presenta vertical y horizontalmente, un comportamiento químico heterogéneo. Las salinidades varían de menos de 300 mg/l a más de 8.000 mg/l.

De acuerdo a esto se han diferenciado dos áreas hidrogeoquímicas principales:

Una central con sólidos disueltos menores a 750 mg/l, y otra periférica, con más de 750 mg/l. Esta última, a su vez ha sido dividida en 6 subáreas llamadas: de recarga, occidental norte, occidental sur, oriental, noreste y sur.

ii. El área hidrogeoquímica central, es la más importante por su baja salinidad. Abarca una superficie de unos 800 kilómetros cuadrados, y contiene agua con los menores sólidos disueltos determinados hasta ahora.

iii. La composición del agua subterránea está estrechamente vinculada con el río San Juan, el riego y las pérdidas en los canales. Secundariamente, con aportes laterales provenientes del borde de cuenca.

iv. La salinidad, disminuye en general con la profundidad.

v. El bombeo provoca en algunas zonas, el avance de aguas salinas.

vi. La construcción de pozos favorece en algunos departamentos la intercomunicación de formaciones acuíferas con aguas mineralizadas, contaminando las de baja salinidad.

vii. El análisis isotópico ha permitido confirmar el origen prin-

cipal del agua subterránea. Mediante la determinación de ^{14}C , se ha establecido que a medida que el agua avanza según las líneas de flujo, la edad aumenta desde pocos años en el área de recarga, a más de 6.000 en el departamento de 25 de Mayo. El contenido de ^{18}O igual al del río San Juan, establece que ambos tienen el mismo origen.

En cambio, el agua subterránea de la subárea sur, tiene una edad mucho mayor, más de 13.000 años, y un contenido de ^{18}O menor, lo que indica que su origen está relacionado con aguas superficiales de menor altura que las andinas.

(b) Río San Juan

i. La composición del río San Juan durante el período muestreado, se ha mantenido bastante uniforme, no habiendo experimentado mayores cambios con el caudal, aunque éste, no ha variado mayormente en estos años.

ii. La salinidad, como el contenido de calcio, sodio, sulfato y cloruro, proviene del río Los Patos Superior, mientras que el elevado bicarbonato se origina en los ríos Castaño y Los Patos (aguas abajo del río Calingasta).

2. Valle de Ullum-Zonda

(a) El agua subterránea tiene una salinidad y composición más homogénea que la contenida en la cuenca Tulum.

(b) La salinidad varía de menos de 300 mg/l a más de 1.400 mg/l.

(c) La composición está vinculada con el río San Juan, pero principalmente con el agua para riego. Algunos aportes laterales provenientes de los Valles de La Ciénaga y Matagusanos, aumentan su salinidad en el sur y noreste de la subcuenca.

(d) La mineralización disminuye con la profundidad.

(e) El bombeo favorece el avance de aguas más salinas.

(f) La batería de pozos en Zonda permitirá comprobar en función del bombeo, algunas de las variaciones mencionadas. Es de esperar en ella, que las aguas de los pozos ubicados más al sur de la subcuenca, se salinicen por las aguas provenientes del Valle de La Ciénaga.

T. RECOMENDACIONES

1. Muestreo

(a) Agua subterránea

i. Establecer una red de muestreo periódica (semestral y/o anual) para controlar las variaciones de la composición con el tiempo, la extracción, la recarga, el riego, etc.

ii. Muestrear las diferentes secciones acuíferas definidas:

a. Area de recarga I, para comprobar la disminución de la salinidad con la profundidad.

b. Superficial II, para conocer la composición y los valores límites de los sólidos disueltos, además de determinar su relación con otras formaciones. Es conveniente densificar el muestreo en los departamentos de Cauca y 25 de Mayo.

c. Inferior-Superior III, para ajustar los diferentes mapas hidrogeoquímicos, en particular, el de sólidos disueltos.

d. Inferior IV, para conocer la composición del agua que contiene, y comprobar su baja salinidad.

iii. Preparar una red, para el análisis isotópico de ^{14}C , ^3H y ^{18}O . Estos datos permitirían establecer o confirmar el origen del agua subterránea, además de algunos aportes. También podrá comprobarse en algunas zonas, la contaminación de acuíferos y la influencia de aguas superficiales. Facilitarán la obtención de datos tales como flujo, velocidad, transmisibilidad, etc.

(b) Agua superficial

i. Continuar con el muestreo periódico del río San Juan, para establecer las variaciones de su composición con el caudal.



ii. Completar la toma de muestras de los diferentes aportes del río San Juan.

iii. Extraer muestras de vertientes, (especialmente del lado oriental de la sierra Chica de Zonda), arroyos, canales, desagües, y definir su relación con el agua subterránea.

(c) Indicaciones generales

Los diferentes programas de muestreo deberán ser preparados, controlados y dirigidos, por el profesional que realice la posterior interpretación hidrogeoquímica, y en ningún caso, por el personal de los laboratorios químicos.

Para cumplir alguna de las etapas indicadas, será necesario contar con perforaciones adecuadas, especialmente profundas. Hasta tanto no se ejecuten, ya sea oficialmente o en forma privada, no se lograrán datos de profundidades superiores a las actuales, y por lo tanto, no será posible evaluar la calidad de una gran parte de las reservas de agua subterránea.

2. Análisis químicos

Los análisis químicos necesarios para los trabajos de interpretación, deben ser completos, con la determinación individual de cada ión. Esto permite, además de obtener datos adecuados, efectuar un permanente control analítico.

Los mismos deberán contar, indefectiblemente, con la información hidrogeológica básica, y muy particularmente origen de la muestra, ubicación del muestreo, profundidades de extracción, temperatura in-situ, y otros de igual importancia.

3. Generales

(a) Controlar los límites de las zonas con elevadas salinidades, en particular en los departamentos de Pocito, Angaco, Albardón, Caucete y 25 de Mayo.

(b) Delimitar permanentemente, en base a la composición química, las zonas aptas para la explotación del agua subterránea.

(c) Controlar la terminación de los pozos, para lograr una correcta .aislación de los acuíferos con aguas salinas.

(d) Planificar el bombeo para evitar el avance de aguas mineralizadas.

(e) Evitar que disminuya el área hidrogeoquímica central, que contiene aguas de baja salinidad.

(f) Mejorar en algunas zonas la calidad del agua subterránea, por medio de una recarga artificial.

4. Legales

(a) Establecer las áreas químicamente apropiadas, para la explotación y uso del agua subterránea.

(b) Fijar las medidas técnico-legales, necesarias para el control en la terminación de perforaciones, para evitar la contaminación de acuíferos.

(c) Exigir el cierre definitivo de aquellos pozos con problemas irreparables en su construcción, como roturas, mala ubicación de filtros, etc., y que puedan intercomunicar acuíferos con aguas salinas.

U. BIBLIOGRAFIA

- 1) C.F.I. - U.N.D.P. -Investigación de las Aguas Subterráneas en el Noroeste Argentino. Convenio celebrado entre el Gobierno Argentino y el Fondo Especial de las Naciones Unidas. Plan de Operaciones (1959)
- 2) ROCCA, J.A. -Geología del Valle de Tulum y Ullum-Zonda. Plan Agua Subterránea. San Juan. República Argentina. Inédito (1969).
- 3) HSU, H.H. -Measurement of River Infiltration along Río San Juan. Memorandum Hidrology Nº 4. Plan Agua Subterránea. San Juan. República Argentina. Inédito. (1968).
- 4) HEM, J.D. -Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geol. Survey Water Supply Paper 1473. (1959).
- 5) HANSEN, W.R. -Informe final del Experto Hidrólogo para el período completo, ARG.-108, SB. Plan Agua Subterránea. San Juan. República Argentina. Inédito. (1968).
- 6) SERRES, Y.F. -Final Report of Full Term Expert Geophysicist. ARG-108-CE. Plan Agua Subterránea. San Juan. R. Argentina. Inédito (1968).
- 7) A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. -Métodos Standard para el Exámen de Aguas y Aguas de Desecho. Editorial Interamericana, S.A. (1962).
- 8) LOHN, P. -Instrucciones para la toma de muestras de agua para su análisis químico.
Análisis en campaña e información de datos.

- Comunicación interna Plan Agua Subterránea. San Juan. R. Argentina. Inédito (1967).
- 9) LERMAN, J.C. -Natural Isotopes in Ground Water. Preliminary Survey in Valley Tulum. San Juan. R. Argentina. Physics Laboratory University of Groningen, Netherlands.
- 10) I.A.E.A. -Tritium and other Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Technical Reports Series N° 73. Vienna (1967).
- 11) I.A.E.A. -Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Technical Report Series N° 91. Vienna (1968).
- 12) I.A.E.A. -Isotopes in Hydrology. Proceedings of a Symposium. Vienna (1967).
- 13) LERMAN, J.C. -Agua Subterránea en Bahía Blanca. Investigación con Isótopos. Ciencia e Investigación. Tomo 24. (1968).
- 14) CORIA, D. -Infiltración en el Río San Juan. Area del Modelo. Plan Agua Subterránea. San Juan. R. Argentina. Inédito (1969).
- 15) LOHN, P. -Análisis Químicos de Agua Subterránea de los Valles de Tulum, Ullum y Zonda. Comunicación Interna Hidrogeoquímica N° 4. Plan Agua Subterránea. San Juan. R. Argentina. Inédito (1969).
- 16) RAINWATER, F.H. y THATCHER, L.L. -Methods for Collection and Analysis of Water Samples. Geol. Survey Water Supply Paper 1454. (1960).
- 17) LOHN, P. -Relación entre el Contenido Salino y la Conductividad Eléctrica Específica del Agua Subterránea del Valle de Tulum. Plan Agua Subterránea. San Juan. R. Argentina (1969).

Este trabajo se terminó de imprimir en
los Talleres del Plan Agua Subterránea,
Santa Fé 10-Este - 2° Piso, Provincia
de San Juan, el día 10 de octubre de
1970.

COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

(Análisis químicos ejecutados por el Instituto del Plan Agua Subterránea)

Tabla 2

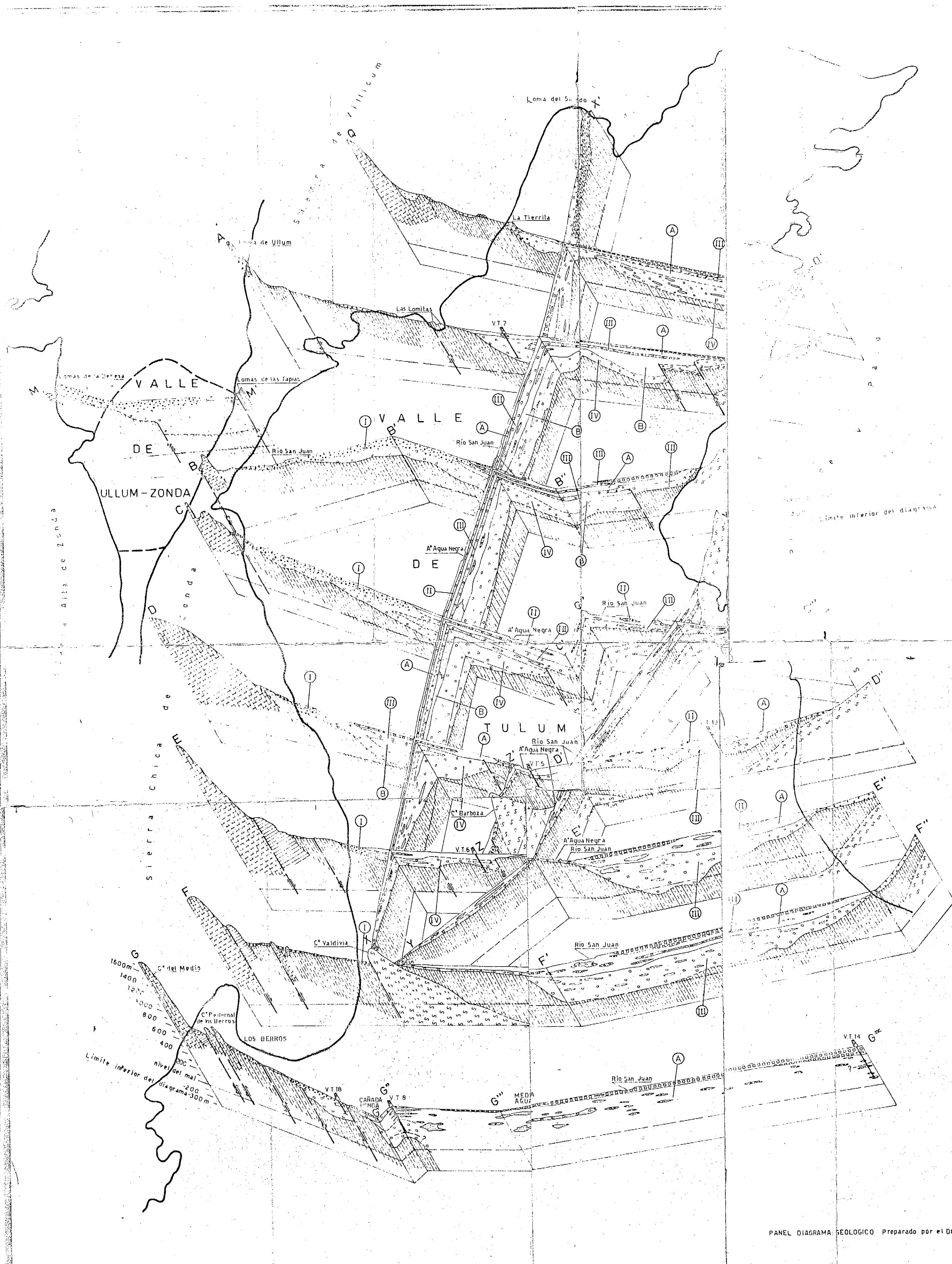
LUGAR DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL m ³ /seg	SILICE (SiO ₂)		HIERRO (Fe ⁺⁺)		MANGANESO (Mn ⁺⁺)		CALCIO (Ca ⁺⁺)		MAGNESIO (Mg ⁺⁺)		SODIO (Na ⁺)		POTASIO (K ⁺)		CARBONATOS	BICARBONATOS (HCO ₃ ⁻)		SULFATOS (SO ₄ ⁻²)		CLORUROS (Cl ⁻)		FLUORUROS (F ⁻)		NITRATOS (NO ₃ ⁻)		BORO (B)	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA (micromhos/cm a 25°C)	RESIDUO DE EVAPORACION A 180°C	SOLIDOS DISUELTOS CALCULADOS	TEMPERATURA	PH	DUREZA TOTAL en Ca CO ₃	RELACION ADSORCION SODIO (RAS)	POR CIENTO SODIO SOLUBLE (PSS)	CARBONATO SODIO RESIDUAL (CSR)	NUMERO DE MUESTRAS	IDENTIFICACION
			mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l		mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l												
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	19/07/68	16	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	3.59	9.1	0.75	34	1.48	2.2	0.06	0.0	0.0	139	2.28	131	2.73	28	0.79	0.4	0.02	1.1	0.02	0.20	560	366	360	9.0	7.8	218	1.0	25.2	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	26/07/68	21	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	3.59	6.9	0.57	35	1.52	2.0	0.05	0.0	0.0	140	2.29	129	2.68	28	0.79	0.4	0.02	0.9	0.01	0.37	550	373	357	10.0	8.0	209	1.1	26.5	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	02/08/68	21	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	3.59	8.2	0.67	31	1.35	2.6	0.07	0.0	0.0	138	2.26	128	2.66	27	0.76	0.4	0.02	0.8	0.01	0.18	550	368	361	10.0	7.8	213	0.9	23.8	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	09/08/68	19	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	3.59	9.3	0.77	34	1.48	1.5	0.04	0.0	0.0	139	2.28	131	2.73	28	0.79	0.4	0.02	1.0	0.02	0.30	560	376	359	8.0	7.7	219	1.0	25.2	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	16/08/68	21	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	73	3.64	7.9	0.65	33	1.44	2.4	0.06	0.0	0.0	136	2.23	128	2.66	28	0.79	0.4	0.02	0.7	0.02	0.34	562	374	353	12.0	7.7	214	1.0	24.9	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	23/08/68	19	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	75	3.74	10	0.82	25	1.09	1.6	0.04	0.0	0.0	138	2.26	121	2.52	29	0.82	0.4	0.02	0.6	0.01	0.28	558	351	343	10.0	7.5	228	0.7	19.2	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	30/08/68	19	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	3.59	9.4	0.77	34	1.48	2.1	0.05	0.0	0.0	136	2.23	132	2.75	28	0.79	0.4	0.02	0.7	0.01	0.20	553	366	359	13.0	7.8	218	1.0	25.1	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	13/09/68	19	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	73	3.64	11	0.90	32	1.39	1.8	0.05	0.0	0.0	142	2.33	133	2.77	27	0.76	0.4	0.02	0.8	0.01	0.10	560	374	363	7.5	7.7	227	0.9	23.2	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	11/10/68	16	13	0.00	0.00	0.00	0.00	70	3.49	2.3	0.19	47	2.04	2.2	0.06	0.0	0.0	138	2.26	131	2.73	28	0.79	0.6	0.03	0.0	0.00	0.18	560	375	363	20.5	7.7	185	1.5	35.3	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	29/11/68	18	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	73	3.64	8.7	0.72	38	1.65	2.1	0.05	0.0	0.0	118	1.93	153	3.18	35	0.99	0.4	0.02	0.0	0.00	0.26	600	402	384	22.0	7.8	219	1.1	27.2	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	06/12/68	14	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66	3.29	12	0.99	33	1.44	2.8	0.07	0.0	0.0	113	1.85	145	3.02	29	0.82	0.3	0.02	1.1	0.02	0.14	574	374	360	18.0	8.0	214	1.0	24.9	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	20/12/68	15	16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	68	3.39	10	0.82	34	1.48	2.3	0.06	0.0	0.0	108	1.77	145	3.02	31	0.87	0.4	0.02	0.7	0.01	0.44	579	392	361		7.8	211	1.0	25.7	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	20/01/69	18	16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	69	3.44	9.5	0.78	29	1.26	3.9	0.10	0.0	0.0	108	1.77	143	2.98	29	0.82	0.5	0.03	0.8	0.01	0.10	572	358	354	22.0	7.8	211	0.9	22.6	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	24/01/69	19	20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	89	4.44	7.5	0.62	40	1.74	4.6	0.12	0.0	0.0	144	2.36	169	3.52	37	1.04	0.5	0.03	1.1	0.02	0.30	707	452	440	22.0	7.4	253	1.1	25.1	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	30/01/69	20	16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	70	3.49	9.5	0.78	30	1.30	3.2	0.08	0.0	0.0	124	2.03	138	2.87	24	0.68	0.5	0.03	1.6	0.03	0.21	562	360	354	22.0	7.5	215	0.9	23.0	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	04/02/69	56	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	85	4.24	7.7	0.63	46	2.00	3.5	0.09	0.0	0.0	167	2.74	166	3.46	25	0.70	0.6	0.03	1.8	0.03	0.28	688	441	439	22.0	7.4	243	1.3	28.7	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	28/02/69	19	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	63	3.14	7.9	0.65	31	1.35	2.2	0.06	0.0	0.0	112	1.84	130	2.71	25	0.70	0.3	0.02	0.5	0.01	0.23	528	335	328	19.0	7.8	189	1.0	26.0	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	17/12/69	51	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	65	3.24	5.9	0.49	33	1.44	2.1	0.05	0.0	0.0	105	1.72	131	2.73	25	0.70	0.8	0.04	0.9	0.01	0.23	518	342	328	21.0	7.8	186	1.1	27.6	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	15/01/70	37	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66	3.29	12	0.99	18	0.78	1.9	0.05	0.0	0.0	93	1.52	136	2.83	26	0.73	0.1	0.01	0.0	0.00	0.12	532	322	318	22.0	7.6	213	0.5	15.3	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	09/06/70	20	1.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	78	3.89	5.7	0.47	35	1.52	2.2	0.06	0.0	0.0	142	2.33	131	2.73	31	0.87	0.5	0.03	0.4	0.01	0.05	591	365	356	9.5	7.7	218	1.0	25.6	0.00		
RIO SAN JUAN - Puente de Ullum.	06/08/70	21	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	79	3.94	8.6	0.71	40	1.74	1.8	0.05	0.0	0.0	144	2.36	147	3.06	34	0.96	0.5	0.03	1.1	0.02	0.30	613	412	398	8.0	8.1	233	1.1	27.0	0.00		

COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

(Análisis químicos ejecutados por el Laboratorio de Plan. Agua Subterránea)

Tabla 4

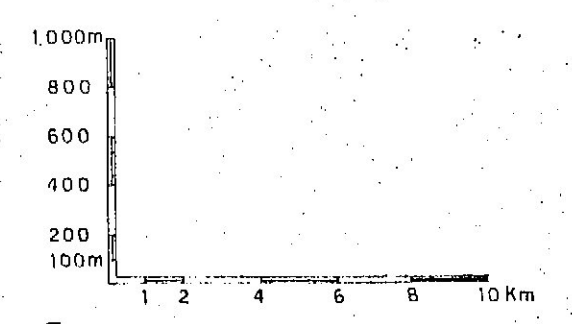
LUGAR DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL m ³ /seg	SILICE (SiO ₂)		HIERRO (Fe ⁺⁺)		MANGANESO (Mn ⁺⁺)		CALCIO (Ca ⁺⁺)		MAGNESIO (Mg ⁺⁺)		SODIO (Na ⁺)		POTASIO (K ⁺)		CARBONATOS (CO ₃)		BICARBONATOS (HCO ₃)		SULFATOS (SO ₄)		CLORUROS (Cl ⁻)		FLUORUROS (F ⁻)		NITRATOS (NO ₃)		BORO (B)	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA (micromhos/cm a 25°C)	RESIDUO DE EVAPORACION A 180°C	SOLIDOS DISUELTOS CALCULADOS	TEMPERATURA °C	PH	DUREZA TOTAL en CaCO ₃	RELACION ADSORCION SODIO (RAS)	POR CIENTO SODIO SOLUBLE (PSS)	CARBONATO SODIO RESIDUAL (CSR)	NUMERO DE MUESTRAS				
			mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l												mg/l	me/l	mg/l	me/l
RIO LOS PATILLOS	05/01/70	0.5	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	74	3.69	12	0.99	10	0.44	1.4	0.04	0.0	0.00	89	1.46	168	3.50	3.4	0.10	0.2	0.01	1.2	0.02	0.0	494	348	324	7.4	7.7	233	0.3	8.5	0.00						
RIO CASTAÑO - Puchuzán.	29/01/69	6	16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49	2.44	7.1	0.58	22	0.96	2.5	0.06	0.0	0.00	136	2.23	66	1.37	14	0.39	0.5	0.03	0.0	0.00	0.30	410	250	245	19.3	7.5	152	0.8	23.8	0.00						
RIO CALINGASTA - Puente de Calingasta.	18/01/67	0.1	14	0.00	0.00	0.03	0.00	35	1.75	6.4	0.53	16	0.70	0.8	0.02	1.0	0.03	112	1.84	40	0.83	3.5	0.10	0.7	0.04	0.0	0.00	0.0	261	168	171		8.5	113	0.7	23.3	0.00						
RIO LOS PATOS - Puente de Calingasta.	18/08/70	12	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	100	4.99	0.5	0.04	54	2.35	2.3	0.06	0.0	0.00	154	2.52	184	3.83	38	1.07	0.4	0.02	1.0	0.02	0.35	700	485	471	16	8.1	251	1.5	31.6	0.00						
RIO CALINGASTA - Lugar "La Estrechura".	28/01/69	0.3	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22	1.10	4.2	0.35	6.0	0.26	2.2	0.06	0.0	0.00	68	1.11	29	0.60	1.5	0.04	0.6	0.03	0.0	0.00	0.07	184	118	109	17.5	7.1	73	0.3	14.7	0.00						
RIO CALINGASTA - Lugar "La Estrechura".	18/08/70	0.2	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	1.35	4.6	0.38	10	0.44	0.8	0.02	0.0	0.00	79	1.29	37	0.77	3.1	0.09	0.7	0.04	1.7	0.03	0.13	219	149	137		7.8	88	0.5	20.1	0.00						
RIO LOS PATOS - Estac. Aforo "La Plateada"	17/01/67	53	8.4	0.36	0.01	0.1	0.00	54	2.69	6.8	0.56	37	1.61	1.0	0.03	1.0	0.03	74	1.21	136	2.83	23	0.65	0.2	0.01	1.2	0.02	0.19	426	283	306	11.0	8.4	163	1.3	32.9	0.00						
RIO LOS PATOS - Estac. Aforo "La Plateada"	28/01/69	21	11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	77	3.84	8.7	0.72	30	1.30	3.5	0.09	0.0	0.00	100	1.64	162	3.37	30	0.85	0.7	0.04	0.0	0.00	0.14	593	378	372	21.9	7.6	229	0.9	21.8	0.00						
RIO LOS PATOS - Estac. Aforo "La Plateada"	17/08/70	14	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	87	4.34	7.6	0.63	44	1.91	2.3	0.06	0.0	0.00	99	1.62	189	3.93	49	1.38	0.5	0.03	0.4	0.01	0.33	665	462	443	8.0	7.8	248	1.2	27.5	0.00						
RIO TEATINOS - Antes unión Río Mercedesario.	31/12/69	4	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	466	23.25	20	1.64	32	1.39	3.0	0.08	0.0	0.00	80	1.31	1200	24.98	0.4	0.01	0.2	0.01	4.6	0.07	0.06	2520	1810	1780	11.2	7.4	1250	0.4	5.3	0.00						
RIO MERCEDARIO - Antes unión con Río Teatinos	31/12/69	8	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	113	5.64	9.0	0.74	35	1.52	3.3	0.08	0.0	0.00	84	1.38	258	5.37	42	1.18	0.1	0.01	0.6	0.01	0.41	794	520	512	13.8	7.6	321	0.9	19.0	0.00						
RIO MERCEDARIO - antes unión a Río Los Patos	05/01/70	12	9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	118	5.89	9.4	0.77	39	1.70	3.3	0.08	0.0	0.00	81	1.33	278	5.79	49	1.38	0.1	0.01	0.6	0.01	0.47	837	556	547	9.0	7.9	333	0.9	20.1	0.00						
RIO VOLCAN - Refugio Ing. D. Sardina.	05/01/70	14	8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	103	5.14	14	1.15	35	1.52	1.6	0.04	0.0	0.00	70	1.15	250	5.20	51	1.44	0.1	0.01	0.0	0.00	0.0	783	510	498	16.8	7.8	315	0.9	19.4	0.00						
RIO LOS PATOS - Antes conflu. Río Blanco.	17/01/67	28	8.7	0.62	0.02	0.1	0.00	83	4.14	8.6	0.71	48	2.09	2.0	0.05	0.0	0.00	76	1.24	214	4.46	40	1.13	0.1	0.01	1.8	0.03	0.27	580	421	445	12.0	8.1	244	1.3	29.9	0.00						
RIO LOS PATOS - Antes conflu. Río Blanco.	17/08/70	8	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	127	6.34	13	1.07	64	2.78	3.1	0.08	0.0	0.00	114	1.87	296	6.16	81	2.28	0.4	0.02	0.6	0.01	0.26	965	680	655	8.1	8.1	372	1.4	27.1	0.00						
RIO BLANCO - Antes de unión Río Los Patos	28/01/69	9	11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38	1.90	4.9	0.40	13	0.03	1.3	0.03	0.0	0.00	85	1.39	62	1.29	6.1	0.17	0.6	0.03	0.5	0.01	0.15	297	180	179	20.8	7.7	115	0.5	19.4	0.00						
RIO LOS PATOS - Pasarela de Tamberías.	18/01/67	50	8.5	0.16	0.01	0.07	0.00	55	2.74	6.0	0.49	37	1.61	0.8	0.02	0.0	0.00	78	1.28	130	2.71	22	0.62	0.2	0.01	1.6	0.03	0.19	420	277	300	14.0	8.2	161	1.3	33.1	0.00						
RIO LOS PATOS - Puente de Scrocayenas.	17/08/70	13	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	89	4.44	7.7	0.63	41	1.78	2.4	0.06	0.0	0.00	97	1.59	187	3.89	51	1.44	0.6	0.03	0.3	0.01	0.35	704	458	441		7.8	254	1.1	25.8	0.00						
RIO LOS PATOS - En Las Hornillas.	28/01/69	11	11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	119	5.94	9.9	0.81	52	2.26	3.5	0.09	0.0	0.00	118	1.93	267	5.56	57	1.61	0.2	0.01	0.0	0.00	0.37	880	585	578	18.0	7.3	337	1.2	24.8	0.00						
RIO LOS PATOS - En Las Hornillas.	17/08/70	8	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	126	6.29	13	1.07	64	2.78	3.1	0.08	0.0	0.00	114	1.87	295	6.14	79	2.23	0.4	0.02	0.7	0.01	0.41	971	680	652	6.0	8.0	367	1.4	27.2	0.00						



REFERENCIAS

EDAD GEOLOGICA	SIMBOLO	LITOLOGIA
CUATERNARIO	[Symbol]	Terreno salinizado
	[Symbol]	Limo y arcilla
	[Symbol]	Arena
	[Symbol]	Grava, gravilla y arena
TERCIARIO	[Symbol]	Grava moderna y reciente
	[Symbol]	Grava del cono aluvial del Río San Juan, arroyos temporarios y relleno del valle Ullum-Zonda
	[Symbol]	Travertino
	[Symbol]	Grava antigua
PALEOGENO MEDIO Y SUPERIOR	[Symbol]	Conglomerados
	[Symbol]	Dacitas y andesitas
PALEOGENO INFERIOR	[Symbol]	Limolitas, arcillitas y areniscas
	[Symbol]	Lutitas y areniscas
PRIMARIO	[Symbol]	Calizas y areniscas
	[Symbol]	Calizas y areniscas

- [Symbol] Contacto geológico
- [Symbol] Contacto geológico dudoso
- [Symbol] Falla y sentido del movimiento relativo
- [Symbol] Pozo perforado por el Plan Agua Subterránea
- [Symbol] Limite de cuenca de agua subterránea
- [Symbol] Limite de subcuenca de agua subterránea

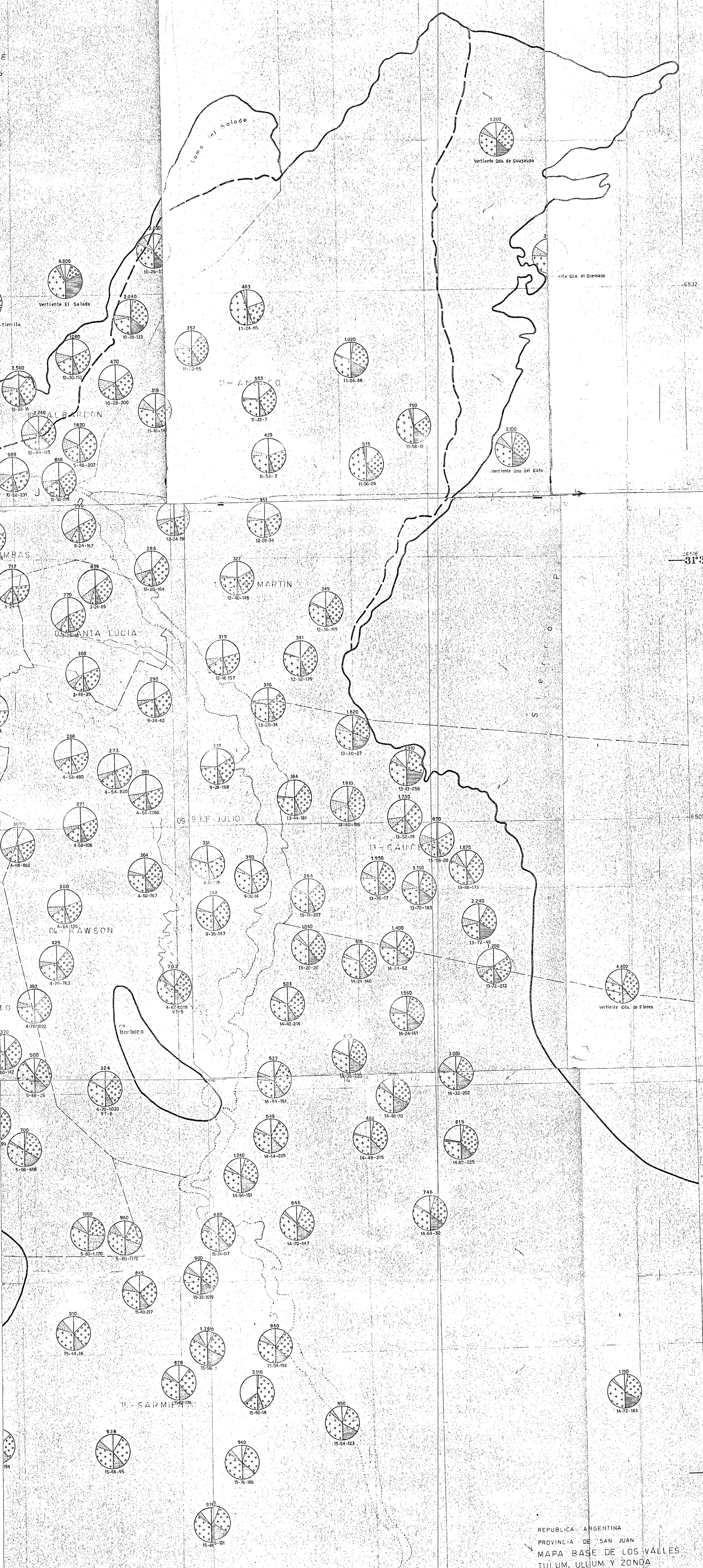


- I Area de recarga
- II Sección acuífera superficial
- III Sección acuífera superior-interior
- IV Sección acuífera interior
- A Acuícludo superior
- B Acuícludo inferior

CFI	LINDP
PLAN AGUA SUBTERRANEA	
PROVINCIA DE SAN JUAN REPUBLICA ARGENTINA	
VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA	
SECCIONES ACUIFERAS DIFERENCIADAS	
BAJO EL ASPECTO QUIMICO	
Preparó	Fecha año 1969
PEDRO LOHN	Figura Nº 2
Hidrogeológico	

68°30'

2572



31°30'

6500

6450

6450

32°

REFERENCIAS

DIAGRAMA CIRCULAR
 1910 = Sólidos disueltos calculados en mg/l.
 Ca HCO₃
 Mg SO₄
 Na+K Cl

COMPOSICION QUIMICA PORCENTUAL

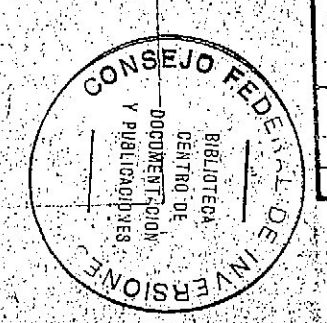
Nº de pozo
 La concentración de los iones se expresa en porcentajes de me. respecto a la suma de cationes y aniones.

- 05-POCITO Numero y nombre de departamento
- Límite de cuenca de agua subterránea
- - - Límite de subcuenca de agua subterránea
- Dique
- - - División política departamental
- Barranca

REPUBLICA ARGENTINA
 PROVINCIA DE SAN JUAN
 MAPA BASE DE LOS VALLES
 TULUM, ULLUM Y ZONDA
 Fecha Mayo 1969
 Preparado en base al trabajo del Dr. P. Pecca

Escala 1:100.000
 100m 500m 1000m 2000m 3000m 4000m 5000m 6000m 7000m 8000m 9000m 10000m

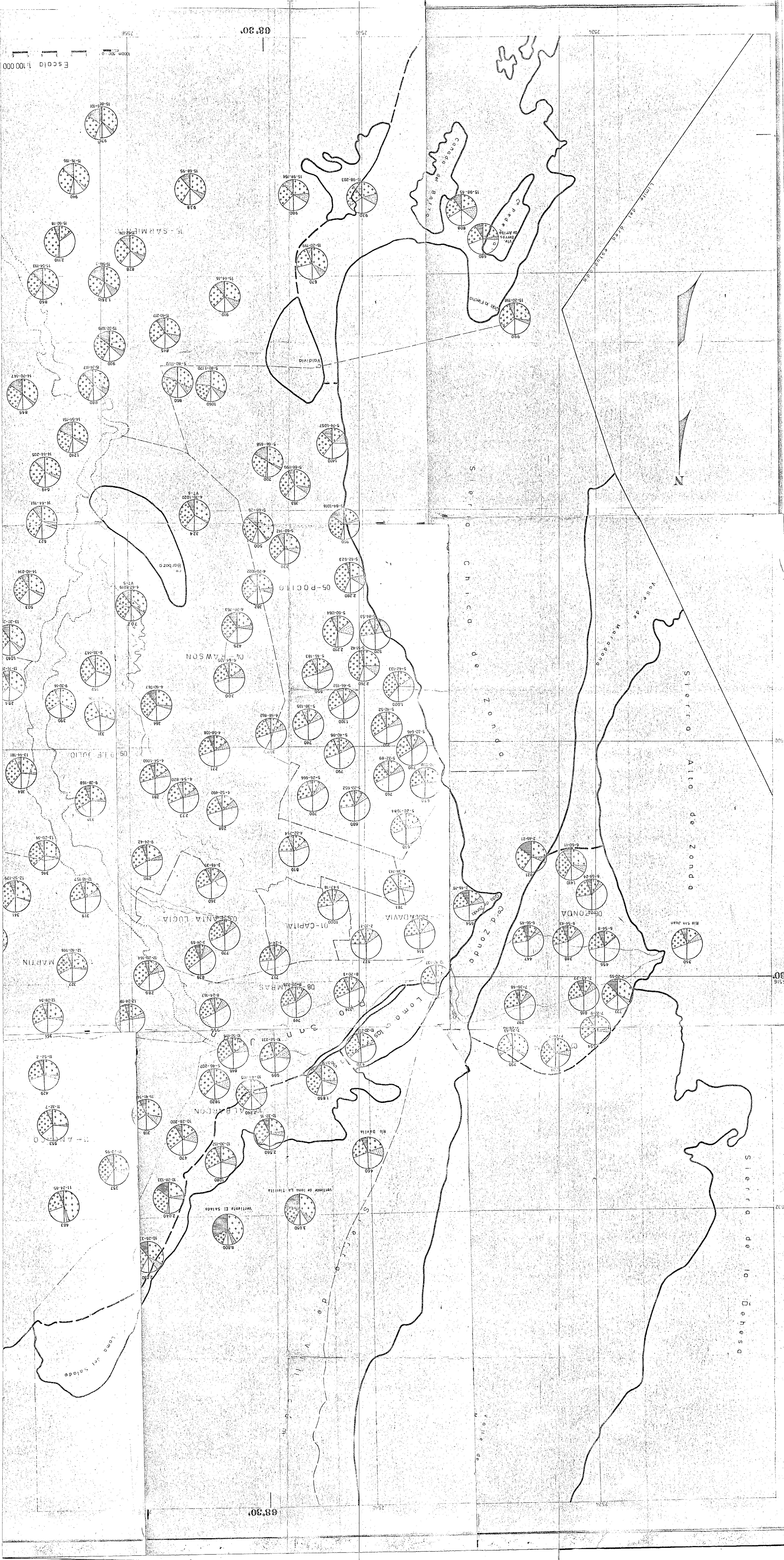
C.F.I.		U.N.D.P.	
PLAN AGUA SUBTERRANEA			
COMPOSICION QUIMICA REPRESENTATIVA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS			
Preparó	Milosavl Joukl	Nº	1
Dibujó	Osvaldo E. Guevara	Fecha	Noviembre 1969
Revisó	Milosavl Joukl		



68°30'

2556

2572



REFERENCIAS

UBICACION DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

- 14-48-70 N° de departamento - N° de sección - N° de pozo
- Pozo particular
- 7.840 Sólidos disueltos (Residuo de evaporación en mg/l.)
- VT-6 Pozo perforado por el Plan Agua Subterránea
- △ Con determinación de edad (^{14}C) y contenido de ^{18}O
- ▲ Para su análisis isotópico
- Agua superficial
- Vertiente
- ⊙ Vertiente con el valor de la conductividad específica del agua en micromhos/cm
- 1350 Curva de sólidos disueltos
- - - 1350 Curva hipotética de sólidos disueltos
- y □ Secciones acuíferas muestreadas: I - área de recarga - III - sección superior - inferior

- Corte según una línea de flujo
- Dirección de la falla Tulum
- Limite del área de recarga
- Dirección de la falla Tulum
- Limite del área de recarga
- Limite departamental
- Limite de la zona muestreada
- ▲ Arroyo
- CAUCEJE Localidad departamental

08 Código departamental

Departamentos

- 01 Capital
- 02 Rivadavia
- 03 Santa Lucía
- 04 Rawson
- 05 Pocito
- 06 Zonda
- 07 Ullum
- 08 Chimbas
- 09 9 de Julio
- 10 Albardón
- 11 Angaco
- 12 San Martín
- 13 Caucete
- 14 25 de Mayo
- 15 Sarmiento

Capital

- Curso de agua permanente
- - - Curso de agua temporario
- Dique
- Limite de cuenca de agua subterránea
- - - Limite de subcuenca de agua subterránea

CUENCAS

SUBCUENCAS

- A1 Pie de Palo
- A2 Villicum
- A3 Lomas de las Tapias
- A4 Los Berrós
- A5 Tulum Superior
- A6 Tulum inferior
- B1 Central
- B2 Valle de Ullum-Zonda
- B3 La Ciénaga

CFI UNDP

PLAN AGUA SUBTERRANEA
 PROVINCIA DE SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA
 VALLES DE TULUM Y ULLUM-ZONDA

CURVAS DE SÓLIDOS DISUELTOS

(Residuo de evaporación a 180°C en mg/l)

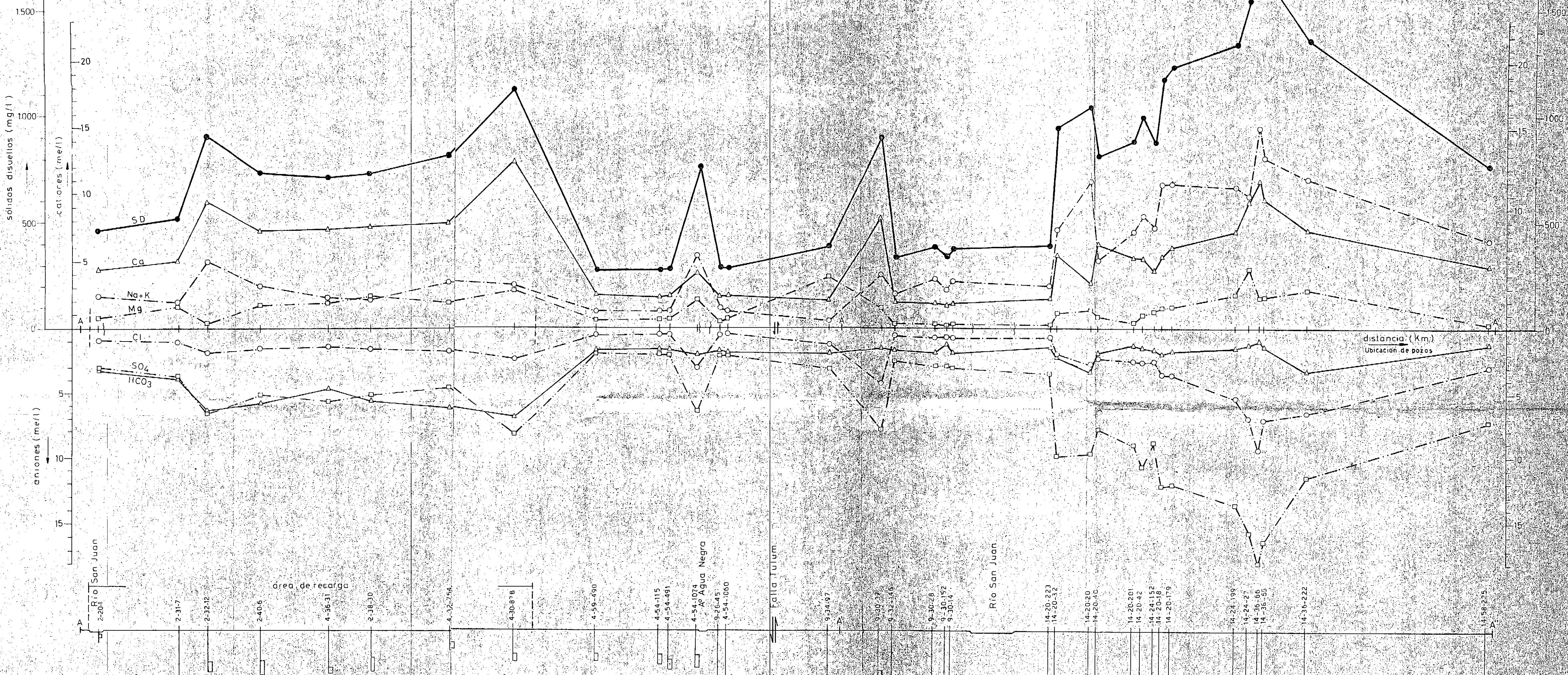
Referidas a los acuíferos I y III

Preparó PEDRO LOHN Fecha: Mayo 1959
 Hidrogeológicos Plano No 2



68° 30' Escala 1:43210 5 km

Mapa base preparado por Dr. J.A. Dorra - Mayo 1959



REFERENCIAS

- Sólidos disueltos
- △ Calcio, Bicarbonato
- Sodio + Potasio, Cloruro
- Magnesio, Sulfato
- A A A Corte según una línea de flujo
- A° Arroyo
- || Falla
- || Limite del área de recarga
- || Limite de los cauces de ríos o arroyos

Representación esquemática de las perforaciones

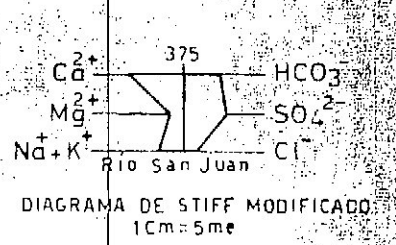
240-6 N° de departamento - N° de sección - N° de pozo

□ Filtro

Escala vertical 0 100 200m

Escala horizontal 0 5 km

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL RIO SAN JUAN		
iones	mg/l	me/l
Calcio	73	3,62
Magnesio	11	0,70
Sodio+Potasio	13	1,53
Bicarbonato	131	2,45
Sulfato	137	2,85
Cloruro	26	0,80
Sólidos disueltos	375	
me. totales		11,67



C.F.I. PLAN AGUA SUBTERRANEA U.N.D.P.

PROVINCIA DE SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA

VALLÉS DE TULUM Y ULLUM - ZONDA

VARIACION DEL CONTENIDO IONICO Y DE LA SALINIDAD TOTAL DEL AGUA SUBTERRANEA DE LA CUENCA TULUM Según la línea de flujo A A A'

Preparado PEDRO LOHN Fecha: Mayo 1969

Hidraquímico (Argentina) Grafico: 1