

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1972

05.72.03

EN - 24 / 76

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

GERENCIA DE ENERGIA

CORRELACION ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS
DE UNA CUENCA. BASES PARA LA APLICACION DE TECNICAS
NUCLEARES E ISOTOPICAS

Héctor Gómez - Humberto Delle Chiaie

Buenos Aires - Argentina

1972

EN - 24 / 76

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

GERENCIA DE ENERGIA

CORRELACION ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS
DE UNA CUENCA. BASES PARA LA APLICACION DE TECNICAS
NUCLEARES E ISOTOPICAS

Héctor Gómez - Humberto Delle Chiaie

Buenos Aires - Argentina

1972

C O N T E N I D O

SECCION	PAGINA
1.0.- INTRODUCCION	1
2.0.- PLANTEO DEL PROBLEMA	3
3.0.- DESCRIPCION E INFORMACION DISPONIBLE DE LAS SUBCUEN- CAS	4
4.0.- ANALISIS DE LAS AGUAS DE AMBAS SUBCUENCAS	7
5.0.- INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS	11
6.0.- POSIBILIDADES DE LAS TECNI- CAS NUCLEARES EN PROBLE- MAS DE ESTA NATURALEZA	14
BIBLIOGRAFIA	21

CORRELACION ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS DE UNA CUENCA. BASES PARA LA APLICACION DE TECNICAS NUCLEARES E ISOTOPICAS

1.0 INTRODUCCION

"Se sabe que una cuenca de agua subterránea"
"puede asemejarse a una gran reserva de agua o bien a un conjunto de"
"almacenamientos en el subsuelo que si están interconectados se afec"
"tan los unos a los otros".(1)

Para mantener el equilibrio hidrológico es pre
ciso, si se quiere conservar indefinidamente estos acuíferos como fuen
tes de abastecimiento, adecuar el balance de las aguas que entran (recar
ga) y salen (extracción) a las posibilidades y necesidades de la cuenca,
sin dejar de contemplar los aspectos económicos, legales y técnicos a-
fectados por cualquier alteración de los regímenes de escurrimiento.(1)

Todo acuífero o subálveo vincula el área de re-
carga o alimentación con la zona de alumbramiento, surgencia o extrac
ción. Si se modifica el escurrimiento natural de la recarga es preciso
prever las alteraciones lógicas que se producirán en la extracción o
surgencia.

Las obras hidráulicas (diques, embalses, pozos
de extracción, sistemas de inundación por recarga artificial, etc.) alte-
ran las naturales condiciones de escurrimiento y drenaje de las aguas
superficiales y subterráneas.

Antes de planificar en áreas de recarga estas o-

bras de ingeniería es necesario buscar, por lo tanto, respuesta a dos preguntas:

- Las aguas superficiales (rios, escurrimientos, etc.) del área de recarga, que se quieren explotar, están vinculadas o interconectadas con las surgencias de la misma cuenca o subcuenca que ya son explotadas con fines de riego, abastecimiento de agua potable a poblaciones, etc.?
- Si es afirmativa la respuesta a la pregunta anterior; Cuál es la extracción límite en la recarga que no afecta el normal aprovisionamiento y uso de las aguas de la descarga?

Buscamos aquí dar respuesta a la primera pregunta.

Las conclusiones que se obtienen contribuyen, sin duda, a resolver el balance hídrico entre recarga y surgencias en las actuales condiciones de alimentación y aprovechamiento. (2)

La decisión de emplear radioisótopos y/o isótopos ambientales para localizar interconexiones, debe estar precedida por estudios y recopilación de los datos aportados por las técnicas convencionales que pueden dar informaciones suplementarias y facilitar la tarea de seleccionar el núclido más apropiado para ejecutar las experiencias definitivas. (Tabla IV).

La selección del trazador más indicado para resolver un problema de aguas subterráneas, por otra parte, está estrechamente vinculada a la:

- . - Composición e hidrodinámica de las aguas involucradas.
- . - Litología y permeabilidad de los estratos de acuífero.
- . - Clima y vegetación. Temperatura y presión en el acuífero.

Existen, lamentablemente, escasos antecedentes hidrogeológicos del área que estudiamos. Exponemos aquí todos los que hemos podido recopilar hasta el presente indicando además la fuente de información

2.0 PLANTEO DEL PROBLEMA

La región cuya hidrogeología tratamos, se encuentra situada en el extremo oeste de la Provincia de Catamarca, Departamento de Tinogasta.

Los dos problemas de hidrología planteados corresponden a la cuenca del río Abaucán y se trata de determinar si existen interconexiones entre:

- a) El río de las Lozas que se infiltra y pierde en la región denominada Agua del Médano con las surgencias situadas más al sur, tributarias (conjuntamente con las aguas del río Cazadero) del río Chaschuil o Guanchín que riega y abastece de agua a Fiambalá y otras localidades. Esta es la subcuenca que aquí denominamos del valle del Guanchín o Chaschuil.
- b) El río Aguas Negras que se infiltra y se pierde en el bolsón de Fiambalá con las surgencias o "Los Nacimientos" que alumbran

espontáneamente al sur de la zona de infiltración (pocos kilómetros al norte de Istataco) y que abastecen de agua para riego y aprovisionamiento a las localidades de Saujil y Medanitos. Estas aguas forman el río de Saujil más conocido como río de Fiambalá. Este problema corresponde a la subcuenca del bolsón de Fiambalá.

En la carta geográfica de la figura 1 se representan ambas subcuencas con los accidentes, lugares y demás datos vinculados a nuestro estudio; la misma ha sido extraída de la hoja Nº 2769 publicada por el Instituto Geográfico Militar que comprende toda la región involucrada por este informe.

3.0 DESCRIPCION E INFORMACION DISPONIBLE DE LAS SUBCUENCAS

Los límites geográficos de ambas subcuencas son los siguientes:

Norte: Cordillera de San Buenaventura ($26^{\circ} 50'$)

Sur: Valle del río Abaucán ($27^{\circ} 50'$)

Este: Cordón de las Sierras de Zapata y Culampayo ($67^{\circ} 30'$)

Oeste: Cordillera de los Andes y límite con la R. de Chile.

Las dos subcuencas están separadas por el cordón de Famatina.

3.1 Subcuenca Guanchín o Chaschuil

La mayoría de las nacientes del río de las Lozas están ubicadas en alturas superiores a los cuatro mil metros (Picos: Ojo

del Salado, de las Lozas, Incahuasi, el Fraile, etc.) Este río corre de este a oeste para luego girar hacia el sur. Sus aguas se pierden en bañados permeables de la región denominada Agua del Médano.

El origen de las aguas del río de las Lozas es, estimamos, principalmente nival.

La región es árida y la pluviometría anual está comprendida entre 50 y 160 mm (3).

Los bañados donde el río se infiltra distan 12-15 km. del área de alumbramientos o surgencias; a corta distancia de estas pasa el río Cazadero sin régimen permanente, cuyas aguas, conjuntamente con las de las surgencias son tributarias del río Guanchín.

Frente a otros ríos o escurrimientos no permanentes de la zona, el río de las Lozas tiene importancia económica.

La zona de infiltración y las surgencias están ubicadas cerca de la ruta 60, que une por el Paso de San Francisco, a las ciudades de Tinogasta en Catamarca con Copiapó en la República de Chile. Esta ruta es transitable durante algunos meses del verano y la primavera. Actualmente se están rectificando algunos tramos para evitar sus frecuentes pasos sobre el Guanchín; cuando estos tramos estén terminados se ampliará considerablemente el lapso de tránsito posible.

En la tabla N° I hemos completado las referencias disponibles respecto a esta subcuenca.

3.2 Subcuenca Fiambalá o Aguas Negras

Los distintos brazos que forman el río Aguas Negras tienen sus nacientes en la cordillera de San Buenaventura. El valle que acompaña al río es muy árido. El área de infiltración, sobre el cauce del río no está bien definida y varía considerablemente durante el año.

La zona de surgencias situada al norte de Saujil y Medanitos es de fácil ubicación y acceso. Desde hace muchos años estas aguas son empleadas para regar cultivos (principalmente viñedos) de las localidades antes mencionadas. Con el aporte de estas aguas se forma el río de Saujil, más conocido como río de Fiambalá, que luego de pasar por Istataco, San Antonio, Medanito y Saujil converge con el río Guanchín para formar el río Abaucán.

El acceso a las surgencias no presenta inconvenientes durante la mayor parte del año. La zona de infiltración, en cambio está unida a Saujil por una senda o camino secundario de difícil acceso. Los últimos tramos deben ser cubiertos por vehículos de doble tracción.

En la serie denominada "Evaluación de los recursos naturales de la República Argentina" (Primera etapa) tomos IV y V, volúmenes 2 y 1 respectivamente, existe un informe hidrogeológico sobre esta subcuenca.

Se formulan en el mismo, algunas apreciaciones sobre el origen de las surgencias a que nos referimos.

En la tabla Nº I hemos completado las referencias

disponibles respecto a esta área. De la bibliografía antes mencionada fue extraída la mayor parte de la misma.

4.0 ANALISIS DE LAS AGUAS DE AMBAS SUBCUENCAS

Toda investigación hidrológica debe estar acompañada del análisis químico de las aguas involucradas.

Nuestro principal objetivo fue clasificar las aguas y determinar el índice geoquímico (IGQ) de todas las muestras obtenidas hasta el presente.

Estos datos son de fundamental importancia, conjuntamente con las referencias geológicas, para seleccionar el radioisótopo o trazador a emplear en las determinaciones de interconexiones.

La composición química de las aguas varía de acuerdo a la acción recíproca y al tiempo de contacto con las rocas y gases atravesados durante el ciclo hidrológico de las mismas. Es por ello que la composición química, conjuntamente con otros datos suplementarios ⁽⁴⁾ permite conocer (o aclarar) el origen de las aguas y además valorar el tiempo que esas aguas permanecieron en contacto con los estratos del acuífero o reserva.

4.1 Clasificación

Atendiendo a las sugerencias de la Dirección de Geología y Minería hemos representado los análisis de las aguas de acuerdo al método de Schoeller.

Schoeller tiene en cuenta los seis iones que con mayor frecuencia se encuentran presentes en las aguas naturales, superficiales y subterráneas: Ca^{xx} , Mg^{xx} , Na^{x} , Cl' , SO_4'' y HCO_3' .

En la figura 2 están representados los diagramas de Schoeller correspondientes a las muestras de aguas analizadas. Para hacer más sencilla la interpretación y evitar confusiones han sido separadas las muestras de ambas subcuencas. Por otra parte, los diagramas representados sobre transparente corresponden a las áreas de extracción (surgencias y ríos efluentes de las mismas) mientras que los diagramas sobre papel blanco corresponderían al área de recarga (río de las Lozas y Aguas Negras). Figs. 1 y 2.

Las ordenadas del diagrama de Schoeller expresan la concentración de los seis iones, antes mencionados, en equivalentes por millón.

4.2 Índice geoquímico (IGQ)⁽⁵⁾

El índice geoquímico de una muestra de agua está dado por la suma de los porcentajes de cinco iones:

$$\text{IGQ} = \left[(\text{SO}_4'') + (\text{Cl}') + (\text{NO}_3') + (\text{Ca}^{\text{xx}}) + (\text{Mg}^{\text{xx}}) \right] \% - 50\%$$

Este índice puede ser, en virtud de la constante agregada (50%), positivo o negativo.

Si bien no es factible establecer un criterio riguroso ya que la composición del agua subterránea está estrechamente vincu-

lada al tipo de estratos que la contienen y a las condiciones de presión y temperatura del acuífero, los hidrólogos aceptan este índice para calcular el tiempo de infiltración o lapso que el agua permaneció en el acuífero, aislada de la superficie terrestre.

Generalmente el IGQ de un acuífero en el área de recarga es nulo o bien oscila en torno a ese valor. Lo mismo puede decirse de las aguas superficiales. A medida que el tiempo de infiltración aumenta el IGQ tiende a disminuir (valores negativos).

Las aguas fósiles o magmáticas tienen índices geoquímicos inferiores a -20.

En la tabla Nº II están expuestos los IGQ correspondientes a las muestras analizadas. La posición geográfica de los lugares de extracción de muestras están indicados en la Fig. 1.

4.3 Otras relaciones relativas a la evolución química de las aguas de una misma napa.

La evolución de la composición química del agua de una misma napa se realiza siguiendo principalmente dos mecanismos: disolución y evaporación.

Según Schoeller (6) algunas de las características genéricas referentes a esta evolución son las siguientes:

- a) De una manera general la relación $\frac{\text{SO}_4''}{\text{Cl}'}$ (epm) es mayor en la recar-

ga que "aguas abajo" de la misma. Este fenómeno se debe a que la velocidad de disolución es mayor para los cloruros que para los sulfatos alcalinos terreos. Esta velocidad, por otra parte, es proporcional al déficit de saturación. Ley de Nernst.

Es evidente que si el terreno es rico en sulfatos y relativamente pobre en cloruros se produciría una inversión de valores.

- b) La relación $\frac{\text{Mg (epm)}}{\text{Ca (epm)}}$ tiene tendencia a aumentar "aguas abajo" del acuífero. Este fenómeno se debe a que el aporte de Ca por disolución del $\text{CO}_3 \text{Ca}$ cesa rápidamente ya que las aguas superficiales que se infiltran suelen estar ya saturadas; además la disolución del CaSO_4 es menos rápida que la disolución del MgSO_4 y MgCl_2 .

En la tabla III exponemos los resultados de estas dos relaciones. La subcuenca Guanchín cumple en este caso con las consideraciones expuestas. No ocurre lo mismo con la subcuenca Fiambalá o Aguas Negras.

4.4 Otras referencias hidrogeológicas

No existen referencias respecto al gradiente hidráulico, porosidad y permeabilidad de los acuíferos en ambas subcuencas ni perfiles litológicos que permitan, siquiera, aventurar correlaciones.

En base a los relevamientos topográficos existentes y a las cotas conocidas del acuífero (en las inmediaciones de Fiambalá) es predecible un gradiente hidráulico reducido en ambos casos: 0,01 a 0,07.

Corresponderá en este caso pensar en tiempos de tránsito, entre infiltraciones y surgencias, relativamente grandes.

5.0 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

El grado de mineralización de las muestras de agua de ambas subcuencas puede encuadrarse en la categoría denominada de mediana mineralización. Esta es, precisamente, una característica de las aguas superficiales de las Provincias de Catamarca y La Rioja. (7) (8)

Las aguas surgentes no muestran mayores concentraciones de sales que las superficiales de las subcuencas respectivas.

Las aguas subterráneas, particularmente en zonas áridas son ricas en sales minerales; como vemos, en nuestro caso no se cumple esta condición. (9)

El diagrama de Schoeller (Fig. 2) muestra una clara diferencia entre los análisis de ambas subcuencas. El contenido de Mg^{xx} es nétamente superior en la subcuenca Guanchín.

Otra conclusión que estimamos importante para seleccionar el trazador más indicado en futuras determinaciones de interconexiones es la siguiente: Si los ríos de las Lozas y Aguas Negras están interconectados con las surgencias respectivas, los estratos u horizontes permeables por donde el agua fluye servirían de elementos filtrantes para el Ca^{++} , Na^+ , Cl^- y SO_4^{--} ; en cambio las aguas surgentes

acrecentarían su contenido de HCO_3^- manteniendo estable o acrecentando ligeramente la concentración de Mg^{xx} .

En el informe "Técnicas y Equipos nucleares en Hidrología" (10) se encuentran algunas referencias respecto a la metodología de los trazadores radiactivos y las bases para seleccionar el radioisótopo más indicado en los distintos problemas de aguas subterráneas y superficiales. En la tabla Nº IV se hace un resumen de las características principales de los radioisótopos más empleados en hidrología subterránea.

5.1 Subcuenca Guanchín o Chaschuil

Las muestras analizadas muestran características químicas muy similares. Según se advierte en el diagrama de Schoeller (Fig. 2) la relación entre los pares de iones que componen el diagrama no muestra significativas diferencias. Tampoco son apreciables diferencias importantes en el grado de mineralización total de las distintas muestras (ver análisis químicos).

Hemos comparado además los análisis de esta subcuenca con otros realizados hace varios años (8) sin encontrar tampoco diferencias apreciables en el grado de mineralización.

El índice geoquímico de las aguas (sin tener en cuenta las reservas que su uso presupone) muestra que las aguas de origen surgentes (Cazadero y Guanchín) habrían estado aisladas del ciclo hidrológico un lapso relativamente corto, al menos, inferior al de las surgencias de la subcuenca Fiambalá o Aguas Negras.

En esta subcuenca se cumplen las relaciones iónicas típicas de las aguas de la misma napa (Tabla N° III).

5.2 Subcuenca Fiambalá o Aguas Negras.

Se puede advertir en esta subcuenca una apreciable desmineralización de las aguas surgentes respecto a las aguas del río Aguas Negras.

Hemos comparado estos análisis con los realizados por la Dirección de Geología y Minería en el año 1966 sin encontrar, en primera instancia, diferencias apreciables.

5.3 Para ambas subcuencas.

Los resultados expuestos junto con la información disponible permiten suponer con fundamentos, mas no afirmar inequívocamente, la existencia de interconexiones en ambas subcuencas.

Los fundamentos de esta hipótesis son los siguientes:

- Existe una estrecha correlación geoquímica entre las surgencias y las presumibles aguas superficiales que las alimentarían.
- Existen marcadas diferencias geoquímicas entre las aguas de ambas subcuencas.
- Los tiempos de tránsito entre las zonas de infiltración y las respectivas áreas de surgencias son importantes. Para $K=0,04$ cm/seg y una porosidad del 30% el tiempo de tránsito estaría comprendido entre 30 y 70 años.

6.0 POSIBILIDADES DE LAS TECNICAS NUCLEARES EN PROBLEMAS DE ESTA NATURALEZA

6.1 Trazadores radiactivos (23)

En caso de optarse por efectuar perforaciones en ambas subcuencas, los trazadores radiactivos compiten aquí con las técnicas convencionales, y contribuirían para hacer más precisa y confiable la determinación de la porosidad y permeabilidad de ambos acuíferos. Las bases para la selección de los trazadores radiactivos a emplear están aquí dadas.

Interpretamos conveniente utilizar el ^{131}I (por razones de disponibilidad) para efectuar las determinaciones de porosidad y en la experiencia de permeabilidad optar por ^3H , ^{51}Cr (EDTA) o ^{58}Co como $\text{K}_3^{58}\text{Co}(\text{CN})_6$.

En la publicación EN 19/51 de la CNEA están expuestas las características de las técnicas nucleares en la determinación de la permeabilidad y porosidad de acuíferos.

6.2 Isótopos ambientales.

El agua natural está formada, aproximadamente por los siguientes porcentajes moleculares:

$^1\text{H}_2^{16}\text{O}$	: 99,73 %	;	T_2^{18}O	: muy poco abundante
$^1\text{H}_2^{18}\text{O}$	: 0,20 %	;	D_2^{16}O	: " " "
$^1\text{H}_2^{17}\text{O}$	: 0,04 %	;	$\text{T}^1\text{H}^{16}\text{O}$	: " " "
$^1\text{H D O}$	: 0,03 %	;		

El tritio (T), isótopo radiactivo del hidrógeno, el deuterio (D), isótopo no radiactivo del mismo elemento y el oxígeno-18 (^{18}O) son excelentes trazadores del agua por estar incorporados por naturaleza a su composición molecular, y sirven para evaluar, en ciertas circunstancias, los parámetros antes mencionados.

El tritio formado en la alta atmósfera por acción de la radiación cósmica sobre el nitrógeno (y otros procesos en menor cuantía) se incorpora a las precipitaciones de lluvia, nieve o granizo. En la atmósfera ha alcanzado ya un estado de equilibrio, pues el tritio que se forma constantemente es igual al que se pierde por decaimiento natural, según ley bien conocida.

Este estado de equilibrio (solo alterado por agentes exteriores artificiales tales como las explosiones nucleares) deja de existir cuando las aguas se infiltran y aíslan del ciclo hidrológico donde la producción o incorporación de tritio es nula y solo rige el decaimiento, reduciéndose entonces las concentraciones en función del tiempo transcurrido desde el aislamiento, según la ley mencionada.

Este es el mecanismo simple en el que se basan los cálculos de tiempos de tránsito de las aguas subterráneas y otras determinaciones de edad, de frecuente empleo en geología e hidrología.

El uso del carbono-14 como trazador "cronológico" se basa en el mismo principio; sin embargo, su ciclo en las aguas subterráneas es más complejo siendo preciso afectar a los resultados de corrección

ciones que pueden complicar o hacer más imprecisas las determinaciones. Estas correcciones se realizan conociendo la tasa de dilución del carbono razón por la que es preciso conocer la concentración de ^{13}C .

Con concentraciones de tritio en la recarga relativamente altas, es posible estimar edades de agua comprendidas entre, aproximadamente, 10 y 50 años. Para edades mayores (3000 - 50000 años, aproximadamente) es preciso recurrir al carbono -14.

Si bien no es el propósito de este trabajo tratar el ciclo del tritio natural en aguas subterráneas haremos algunas consideraciones respecto a las diversas interpretaciones sobre la circulación del mismo (u otro trazador) después de su aislamiento de la superficie, en distintos tipos de acuíferos.

La evaluación de tiempos de tránsito se realiza midiendo la concentración de tritio (u otro trazador) en la recarga y en la descarga, surgencia o pozo.

Las muestras superficiales de la recarga definen la función de entrada y deben ser tomadas siguiendo indicaciones que dependen de las características hidrometeorológicas de la cuenca.

Con vistas a la interpretación de los resultados de las concentraciones medidas en las descargas han sido propuestos distintos modelos de circulación (20) (21).

Flujo pistón ("Piston Flow"): Se presume que el agua de una recarga sigue a la de la anterior sin mezclarse. Es como si

los tiempos de residencia de todas las moléculas marcadas (n) fuese el mismo.

En este caso la concentración media en la descarga $C_{(n)}$ quedaría vinculada con la concentración en la recarga $C_{(t - T)}$

por una expresión del tipo: $C_{(n)} = \frac{k}{h} \cdot C_{(t - T)} e^{-\lambda t}$

n : número de moléculas marcadas que ingresan y egresan del sistema;

$C_{(t - T)}$: función de entrada;

t : tiempo;

T : tiempo de residencia.

Para una recarga constante o bien un ciclo de infiltración anual conocido es fácil aquí calcular el tiempo de tránsito medio T .

Sin embargo este modelo no es muy aplicable a acuíferos confinados o libres ya que en la mayoría de los casos, con grandes recorridos y largos tiempos de tránsito ocurre una dispersión longitudinal que mezcla las distintas recargas anuales.

Flujo disperso: Este modelo suele aplicarse a acuíferos confinados y se supone que las distintas recargas anuales se mezclan. En base a consideraciones teóricas derivadas de experiencias en modelos reducidos se puede predecir que la dispersión longitudinal del trazador natural que ingresó en el sistema durante un determinado lapso sigue una ley normal (Gauss, por ejemplo); lo mismo podríamos decir de las n moléculas marcadas de una muestra, recogida en la descarga; han permanecido durante distintos lapsos agrupados, según una ley normal, en torno al

tiempo medio (T).

Este modelo se resuelve en la misma forma que el anterior si las concentraciones y volúmenes recargados son constantes pues se ha demostrado (20) (22) que en las condiciones normales que suelen imperar en los acuíferos confinados el error solo es significativo cuando las velocidades son extremadamente bajas y los coeficientes de dispersión muy elevados.

En este caso las concentraciones medias medidas en un punto dado de la descarga $C_{(m)}$ al tiempo t y para tiempos de permanencia T de las n moléculas que ingresaron y egresaron del acuífero están definidas por una expresión del tipo:

$$C_{(m)} = \int_0^t C_{(t-T)} e^{-\lambda T} F_{R(T)} dT$$

$C_{(t-T)}$; Respuesta impulsional del sistema a un tiempo t ; debido a una inyección instantánea hecha al tiempo T . Es también la distribución del tiempo de residencia resultante de una inyección instantánea al tiempo T . Esta función puede ser obtenida por la operación de deconvolución a partir de $C_{m(t)}$ $F_{R(T)}$

$F_{R(T)}$: función de distribución de edades para un determinado volumen de dispersión.

Flujo de "buen mezclado": Este tipo de modelo es difícil de encontrar en la naturaleza.

Flujos con procesos de estratificación: Este modelo se reproduce con frecuencia en ciertos acuíferos libres o freáticos en los que las edades de las muestras respecto a la profundidad siguen una ley logarítmica; mayor profundidad mayor edad en cualquier parte del acuífero.

Cuando la infiltración y percolación se produce más o menos uniformemente todo a lo largo del acuífero, el proceso de estratificación mencionado es muy probable que ocurra e, interpretamos que este modelo se reproduce con bastante frecuencia en áreas de llanura.

Vogel define una edad característica ($t_{1/2}$) que corresponde a las muestras tomadas a la mitad de altura del acuífero.

$$t_{(1/2)} = \frac{\alpha \cdot b}{w} \ln 2$$

y una edad promedio (T):

$$T = \frac{\alpha \cdot b}{w}$$

α : porosidad;

b : altura del acuífero (m);

w : recarga (m/año)

Resta agregar que este modelo puede aplicarse a acuíferos homogéneos, sin estratificaciones de distinta permeabilidad y altura (b) uniforme.

Por último existe la posibilidad de usar el D y el ¹⁸O para resolver este problema o al menos reforzar los fundamentos de las hipótesis emitidas.

Las variaciones de estos isótopos estables en las aguas naturales provienen del fraccionamiento isotópico provocado por los procesos de evaporación y condensación ocurridos durante el ciclo hidrológico.. Son las variaciones de temperatura las principales causantes de estos fraccionamientos .

En las subcuencas que estudiamos son predecibles marcada diferencia de temperatura estacionales y altimétricas razón por la que resultan aconsejables estas experiencias

Antes, sin embargo, es conveniente realizar un análisis más exhaustivo respecto al clima de la región y regimen pluviométrico.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- MOYA, I.L. - Realimentación de aguas subterráneas. Reunión Sub-regional sobre hidrología de América del Sur. Bs. As. 14-20 de Noviembre de 1967.
- 2.- Decreto HEOP Nº 1135. Poder Ejecutivo de la Pvcia. de Catamarca.
- 3.- Serie: Evaluación de los recursos naturales de la R. Argentina (primera etapa) Tomos IV y V Vol. 2 y 1 respectivamente.
- 4.- KONZEWITSCH, N. Estudio de las clasificaciones propuestas para aguas naturales según su composición química. Secretaría de Estado de Energía y Minería. Agua y Energía Eléctrica.
- 5.- CASTAGNINO, W. - Manual de aguas subterráneas. Curso de aguas subterráneas auspiciado por O.S.N., Escuela de Ingeniería Sanitaria (Fac. de Ing. Bs. As.) y la Organización Panamericana de la Salud (1965).
- 6.- SCHOELLER, H. Les eaux Souterraines. Masson y Cia. Editeurs. (1965).
- 7.- TRELLES, R.O. - Geoquímica de las aguas subterráneas. Curso de aguas subterráneas. Bibl. (5).
- 8.- TRELLES, R. - Características químicas de las aguas profundas de la R. Argentina. Curso de aguas subterráneas. Bibliografía. (5).
- 9.- RABOUX, A. - Les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines. Colloque D'Ankara sur l'hydrologie de la zone aride. UNESCO.
- 10.- CASTAGNET, A.; GOMEZ, H. - Técnicas y equipos nucleares en hidrología. Reunión subregional sobre hidrología de América del Sur. Bs. As. 14-20 de Noviembre de 1967.
- 11.- Isotopes and Radiation technologie. USAEC. Vol 2-1964-1965.
- 12.- KNUTSSON, G. - Field and lab. test rad. in Hydrology Proceeding of Symp Tokyo. 5-9 march 1963.
- 13.- DEGOT, LEVEQUE. - Deux utilisation du Br-81 en Hydrodynamique souterraine Proceeding of Symp. Tokyo. 5-9 - march 1963.

- 14.- BOURDON et all. - The use of tritium in tracing karst ground in Greece. Proc. of Symp. Tokyo. 5-9 march 1963.
- 15.- GAILLEDREAU, R. - Note sur l'utilisation des complexes des nitronitrosylruthenium comme traceurs en hidrologie. Proc. of Symp. Tokyo 5-9 march 1963.
- 16.- STERNAN et all. - Rad. tracers in large scale recharge studies of ground watter flow. Proc. of Symp. Viena 14-18 nov. 1966.
- 17.- KNUTTSSON, G. - Lab. evaluation of Cr-51 EDTA as a tracers for ground watter flow. Proc. of Symp. Viena 14-18 nov. 1966.
- 18.- MOLINARI, GUIZERIX - Aplicacion de la Methode d'integration. Proc. of Symp. Viena 14-18 nov. 1966.
- 19.- Application of isot. technique in hydrology. Tech. repports Nº 11. IAEA (1962).
- 20.- PAYNE BRYEN - Principles of the use of envionmental tritium. - (Inter Reg. training corse on the appl. of isotopes techniques in Hydrology (Sao Pablo - Brazil - 1969)
- 21.- Sauzey G. Theorical and mathematical approach or eriticism of concepts used in tracer techniques.
- 22.- Halevy E. Nir, A. Use of rad in studies of ground water flow Sec. UN Int. Conf. on the Peaceful. Uses of A.E. Genove (1958).-
- 23.- GOMEZ, Héctor R. - Trazadores Radiactivos en Hidrología - Reseña Teorico práctica. EN 19/51 CNEA - marzo 1971.

TABLA I
ALGUNAS REFERENCIAS SOBRE LAS SUBCUENCAS
GUANCHIN Y AGUAS NEGRAS

		SUBCUENCA GUANCHIN				SUBCUENCA AGUAS NEGRAS			
		RIO DE LAS LOZAS	AGUAS SURGENTES O EFLUENTES DE SURGENCIAS			RIO AGUAS NEGRAS	AGUAS SURGENTES O EFLUENTES DE SURGENCIAS		
			TAMBERIAS	CAZADERO	GUANCHIN		NACIENTE I	NACIENTE II	MEDANITOS (ACEQUIA)
ANÁLISIS QUÍMICOS	RESIDUO A 105 °C mg/l	655	520	580	665	640	540	312	417
	pH	7,7	8	8	7,9	7,7	7,7	7,6	7,7
	ALCALINIDAD TOTAL EN (CO ₃ Ca) mg/l	240	—	264	306	118	244	184	202
	DUREZA TOTAL EN (CO ₃ Ca)	234	238	230	260	140	136	124	110
CAUDAL; l/seg.		Sin aforos			1.200 (3)	800 1.000 (3)	1.000 en estiaje		
DESTINO ACTUAL DE LAS AGUAS		No son aprov.	Riego y abastecimiento de Fiombalá			No son Aprov.	Riego y abastecimiento de Saujil, Medanitos, etc.		
DISTANCIA INFILTRACION SURGENCIAS		12 a 15 km				15 a 25 km (El área de infiltración no está bien definida)			
NIVEL PROMEDIO DEL AREA INF. - SURGENCIAS		3.500 m				1.700 a 1.900 m			
DIFERENCIA DE NIVEL ENTRE INF. Y SURG.		Aproximadamente 300 m				Aproximadamente 150 m			
ACCESO A LOS LUGARES DE EXPLORACION		Sólo es posible en verano y primavera				Sólo con vehic. doble tracción	Accesible todo el año		
REFERENCIAS AL CLIMA						Templado - cálido. Máxima media 21°7 Fiombalá. Máxima observada 45° (1917). Mínima observada - 10° (1951) (3)			
GEOLOGIA						Sedimentos terciarios y sedimentos cuaternarios en borde oeste con dos niveles diferentes de terrazas frente a Fiombalá. Relleno del valle: Materiales de grano variable desde grava hasta limo, origen más moderno (3)			
VEGETACION		Pre puneño				Pre puneño			

TABLA II
INDICE GEOQUIMICO (IGQ)
SUBCUENCA GUANCHIN O CHASCHUIL

	RIO DE LAS LOZAS %	TAMBERIAS %	CAZADERO %	GUANCHIN %
SO ₄ ^{''}	11		8,3	8,5
Cl [']	17		14,7	14,2
NO ₃ [']	0		0,4	0,1
Ca ^{xx}	10		8,9	10
Mg ^{xx}	10		13,7	12
Σ	48		46,0	44,8
(IGQ) INDICE GEOQUIMICO	48-50=-2		46-50=-4	44,8-50=-5,2

SUBCUENCA FIAMBALA O AGUAS NEGRAS

	RIO AGUAS NEGRAS %	NACIMIENTOS I %	NACIMIENTOS II %	MEDANITOS (acequia)%
SO ₄ ^{''}	10	6,2	7,1	7,8
Cl [']	27	14,6	9,8	13,4
NO ₃ [']	0	0,6	0,9	0,7
Ca ^{xx}	10	10,6	13,4	11,3
Mg ^{xx}	5,5	5,6	8	5,7
Σ	52,5	37,6	39,2	38,9
(IGQ) INDICE GEOQUIMICO	52,5-50= 2,5	37,6-50=-12,4	39,2-50=-10,8	38,9-50=-11,1

TABLA III
ALGUNAS RELACIONES IONICAS DE LAS AGUAS ANALIZADAS
SUBCUENCA GUANCHIN O CHASCHUIL

	RIO DE LAS LOZAS %	TAMBERIAS %	CAZADERO %	GUANCHIN %
$\frac{SO_4^{''}}{Cl^{'} } (epm)$	0,65		0,56	0,60
$\frac{Mg^{xx}}{Ca^{xx}} (epm)$	1,04		1,55	1,26

SUBCUENCA FIAMBALA O AGUAS NEGRAS

	RIO AGUAS NEGRAS %	NACIMIENTOS I %	NACIMIENTOS II %	MEDANITOS (acequia)%
$\frac{SO_4^{''}}{Cl^{'} } (epm)$	0,37	0,42	0,73	0,57
$\frac{Mg^{xx}}{Ca^{xx}} (epm)$	0,55	0,52	0,66	0,50

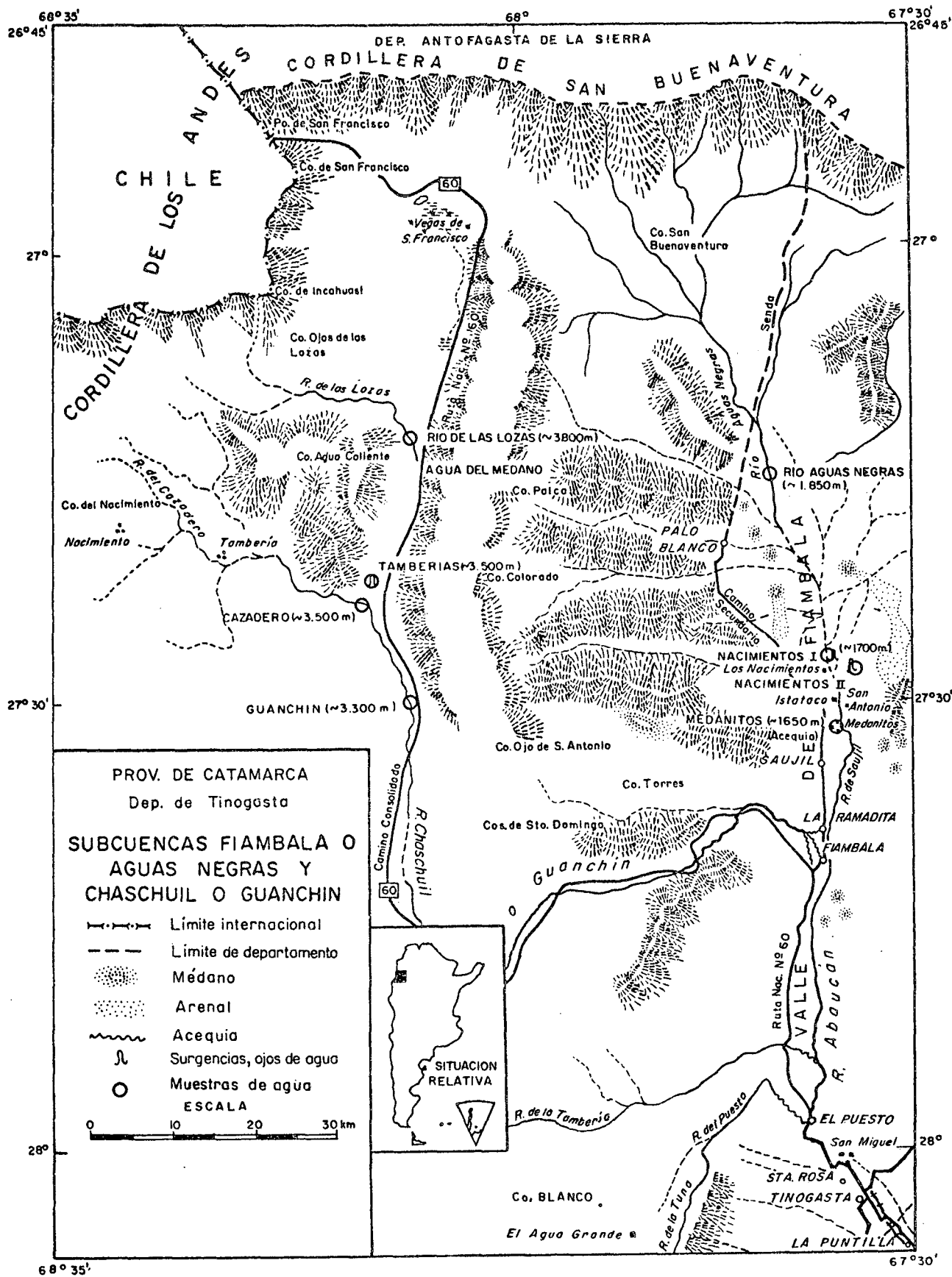
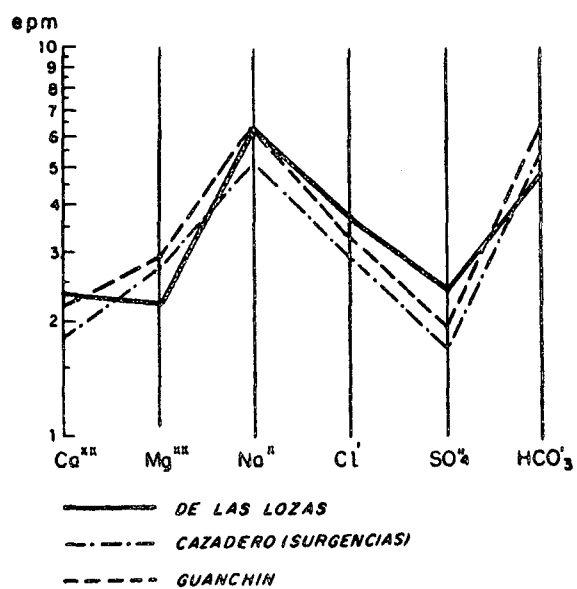
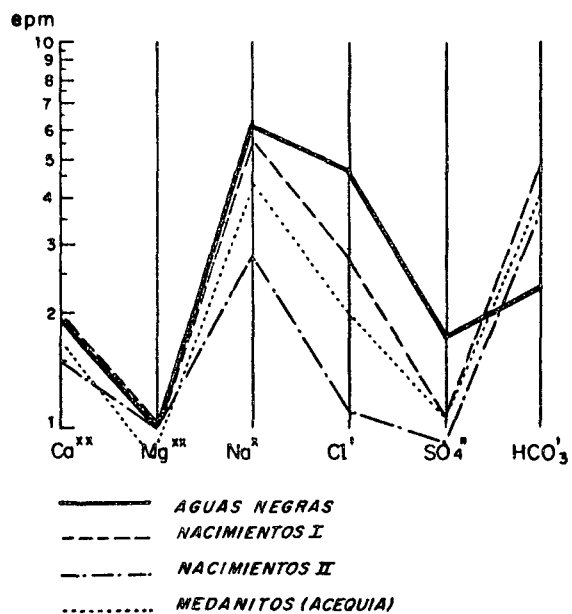


Fig. 1

SUBCUENCA GUANCHIN O CHASCHUIL



SUBCUENCA FIAMBALA O AGUAS NEGRAS



CLASIFICACION DE AGUAS

(DIAGRAMA DE SCHOELLER)

SURGENCIAS

RIO DE LAS LOZAS

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	45	2,2	10
Mg ^{xx}	28	2,3	10
Na ^x	150	6,5	29
K ^x	11	0,3	1,3
Σ^x	234	11,3	50,3
HCO ₃ ⁱ	292	4,8	21
SO ₄ ⁱⁱ	122	2,5	11
Cl ⁱ	136	3,8	17
NO ₃ ⁱ	5	0,1	0
Σ^i	555	11,2	49
$\Sigma^x + \Sigma^i$	789	22,5	99,3

TAMBERIAS

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	42	1,1	
Mg ^{xx}	30	2,4	
Na ^x	s/o	s/a	
K ^x	s/o	s/a	
Σ^x			
HCO ₃ ⁱ	s/o	s/a	
SO ₄ ⁱⁱ	72	1,44	
Cl ⁱ	s/o	s/a	
NO ₃ ⁱ	5	0,1	
Σ^i			
$\Sigma^x + \Sigma^i$			

CAZADERO

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	37	1,8	8,9
Mg ^{xx}	34	2,8	13,7
Na ^x	125	5,4	26,6
K ^x	9	0,2	1,0
Σ^x	205	10,2	50,2
HCO ₃ ⁱ	321	5,3	25,7
SO ₄ ⁱⁱ	84	1,7	8,3
Cl ⁱ	106	3	14,7
NO ₃ ⁱ	4	0,1	0,5
Σ^i	515	10,1	49,2
$\Sigma^x + \Sigma^i$	720	20,3	99,4

GUANCHIN

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	45	2,3	10
Mg ^{xx}	36	2,9	12
Na ^x	144	6,3	27
K ^x	10	0,3	0,1
Σ^x	235	11,8	50
HCO ₃ ⁱ	372	6,1	26,1
SO ₄ ⁱⁱ	95	2,0	8,5
Cl ⁱ	118	3,3	14,2
NO ₃ ⁱ	5	0,1	0,1
Σ^i	590	11,5	48,9
$\Sigma^x + \Sigma^i$	825	23,3	98,9

SURGENCIAS

RIO AGUAS NEGRAS

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	37	1,8	10
Mg ^{xx}	12	1,0	5,5
Na ^x	142	6,1	33
K ^x	10	0,2	1
Σ^x	201	9,0	49,5
HCO ₃ ⁱ	143	2,4	13
SO ₄ ⁱⁱ	89	1,8	10
Cl ⁱ	170	4,8	27
NO ₃ ⁱ	4	0,1	0
Σ^i	406	9,1	50
$\Sigma^x + \Sigma^i$	607	18,1	99,5

NACIMIENTOS I

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	37	1,9	10,6
Mg ^{xx}	12	1,0	5,6
Na ^x	135	5,9	33,1
K ^x	7	0,2	1,1
Σ^x	191	9,0	50,4
HCO ₃ ⁱ	297	5,0	28,0
SO ₄ ⁱⁱ	52	1,1	6,2
Cl ⁱ	194	2,6	14,6
NO ₃ ⁱ	4	0,1	0,6
Σ^i	447	8,8	49,4
$\Sigma^x + \Sigma^i$	638	17,8	99,8

NACIMIENTOS II

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	30	1,5	13,4
Mg ^{xx}	12	1,0	8,0
Na ^x	67	2,9	25,8
K ^x	4	0,1	0,9
Σ^x	113	5,5	49,1
HCO ₃ ⁱ	224	3,7	33,0
SO ₄ ⁱⁱ	41	0,8	7,1
Cl ⁱ	38	1,1	9,8
NO ₃ ⁱ	5	0,1	0,9
Σ^i	308	5,7	50,8
$\Sigma^x + \Sigma^i$	421	11,2	99,2

MEDANITOS (Acequia)

	ppm	epm	%
Ca ^{xx}	32	1,6	11,3
Mg ^{xx}	10	0,8	5,7
Na ^x	102	4,5	31,9
K ^x	5	0,1	0,7
Σ^x	149	7,0	49,6
HCO ₃ ⁱ	246	4,0	28,3
SO ₄ ⁱⁱ	53	1,1	7,8
Cl ⁱ	68	1,9	13,4
NO ₃ ⁱ	5	0,1	0,7
Σ^i	372	7,1	50,2
$\Sigma^x + \Sigma^i$	521	14,1	99,8

Figura 2