

EVALUACIÓN DE PROCESOS DE SALINIZACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS BÁSICAS DE ANÁLISIS EN EL EJIDO URBANO DE COMODORO RIVADAVIA, CHUBUT (ARGENTINA).

Locci Fernando Gabriel, García González Beatriz

SEG - Geología Ambiental, Juan B Justo, 250 – 9000 Comodoro Rivadavia (Chubut, Argentina) -
Teléfono +542974478681 – Email: tecnica@seg-geoambiental.com.ar

Resumen

Estudios previos realizados por otras consultoras, constataron elevados contenidos en sales disueltas, considerados anómalos, en las aguas subterráneas circulantes a profundidades someras bajo uno de los barrios de la zona norte de Comodoro Rivadavia. Desde hace más de un siglo comenzaron a desarrollarse en el lugar tareas relacionadas con la actividad petrolera, a las cuales se sumaron posteriormente, las propias de un área urbanizada que inicialmente constituyó un campamento petrolero. La presencia de pasivos ambientales asociados con la industria, llevó a pensar que el fenómeno detectado pudiera estar vinculado directa o indirectamente con la actividad petrolera.

El plan de investigación destinado a estudiar el origen de la salinidad y de los mecanismos que operan en su desarrollo, incluyó un reconocimiento de la geología del lugar, un encuadre hidrogeológico local apropiado y la evaluación hidroquímica de las aguas. La información fue integrada para la construcción del modelo conceptual, según el cual se infiere la existencia de dos factores concurrentes que contribuirían a la aparición del fenómeno citado, los cuales se hallarían vinculados con un esquema de equilibrio hidroquímico e interacción agua-roca; en algunos casos, estos se producirían a través de mecanismos naturales, mientras que en otros, se hallarían favorecidos por la acción del hombre.

Palabras clave: Salinización, área urbanizada, actividad petrolera, encuadre hidrogeológico.

Abstract

According to previous studies carried out by other consultancies, high contents of dissolved salts were found at shallow depths in circulating groundwater under a certain area on the north of Comodoro Rivadavia. Oil activity started in this area more than century ago, and later on urban activity began when the area that in the beginning constituted a camp was developed. The presence of environmental liabilities associated with the industry led to believe that this phenomenon might be directly or indirectly linked to the oil activity.

The research plan intended to study the origin of the salinity and the mechanisms that operate in its development included the recognition of the geology of the area, an appropriate local hydrogeological framing and the hydrochemistry assessment of water. These data was integrated in the conceptual model developed, according to which it is inferred the existence of two competing factors that would contribute to the emergence of the described phenomenon. Those factors would be associated with a schema of hydro chemical balance and water-rock interaction; in some cases, these would occur through natural mechanisms, while in others, would be favored by the action of man.

Keywords: salinization, urbanized area, oil activity, hydrogeological frame.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Estudios previos realizados por otras consultoras, constataron elevados contenidos en sales disueltas considerados anómalos, en las aguas subterráneas circulantes a profundidades someras bajo un barrio situado sobre la zona norte de Comodoro Rivadavia, Chubut (Figura 1).

El sitio se caracteriza por hallarse inserto dentro de un área que a lo largo de su dilatada historia, ha estado sometida a la actividad petrolera con presencia de diferentes instalaciones relacionadas con la industria extractiva hidrocarburífera, entre ellas una planta de tratamiento dispuesta a pocos metros de la zona bajo estudio, pozos petroleros inyectores y abandonados, ductos, etc. A raíz de ello, fue que inicialmente se apuntara a la actividad mencionada como origen de la afectación. A lo largo del tiempo, el barrio sumó distintas actividades propias de un área urbanizada, por lo que paso de ser un campamento petrolero a convertirse posteriormente, en un suburbio de la ciudad. Por un compromiso de confidencialidad, no es posible revelar la locación específica del sitio de estudio.

En la búsqueda de determinar el origen del problema, se inició un plan de investigación teniendo como objetivo definir el estado general de las aguas en base al desarrollo de un modelo conceptual simplificado, que incluyera sectores adyacentes a los definidos en los estudios previos, el cual se sustentó en observaciones directas de campo, análisis químicos de las aguas subterráneas y descripción de perfiles del terreno.

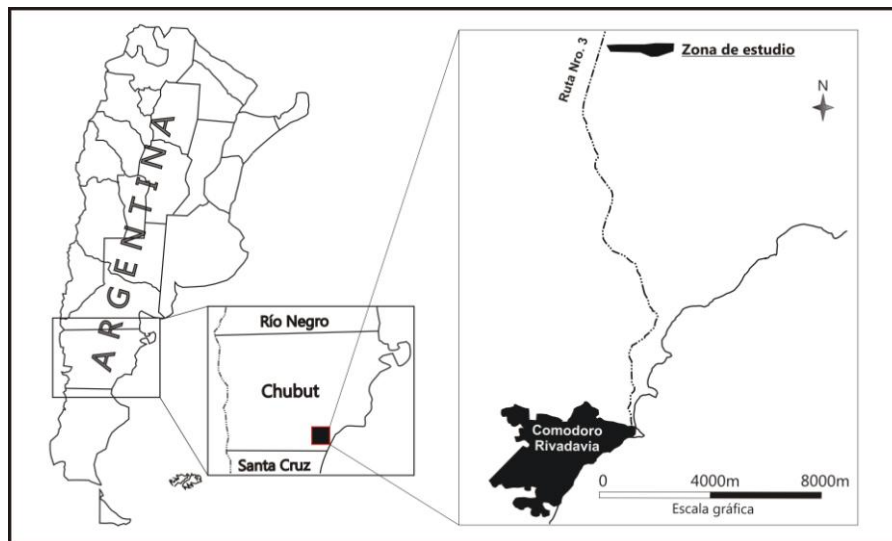


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

METODOLOGÍA

Se efectuó la recopilación de antecedentes de informes técnicos y publicaciones científicas relacionadas con evaluaciones geológicas e hidrogeológicas ejecutadas en la zona. Se compiló información cartográfica de tipo geológica y topográfica e imágenes satelitales. Se utilizó como referencia la información de la Hoja geológica 4566-III "Comodoro Rivadavia", publicada por Subsecretaría de Minería de la Nación Servicio Geológico Minero Argentino (Sciutto *et. al.* 2000).

Dada la cercanía de la zona saturada, se empleó una retroexcavadora para efectuar el reconocimiento geológico de los materiales y a su vez, instalar puntos de acceso permanente a la zona saturada mediante la colocación de cañerías de PVC ranuradas. Posteriormente se llevó a cabo la nivelación y posicionamiento con precisión centimétrica de los pozos de muestreo, para la confección de la red de flujo local.

Se efectuó el muestreo de una serie de puntos de agua, que incluyeron: cuatro freáticos preexistentes, diez de nueva construcción, un pozo de riego vecino y una muestra del agua de producción procedente de la planta de tratamiento ubicada en cercanías del sector. Las determinaciones de laboratorio incluyeron: conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, pH e iones mayoritarios.

Una vez remitidos la totalidad de los resultados de los análisis químicos, se procedió a la descripción del contexto geológico e hidrogeológico del sitio y a la interpretación de la información hidroquímica. Finalmente, se evaluaron los probables orígenes relacionados con la salinización que afecta a las aguas subterráneas.

GEOLOGIA LOCAL

Se hará mención a las unidades geológicas reconocidas, en orden decreciente de edad:

Formación Samiento (Eoceno inferior - Oligoceno inferior). Compuesta, básicamente, por tobas grises y blanquecinas que fueron generadas por erupciones volcánicas ocurridas en la cordillera patagónica durante el terciario medio (Andreis, 1977). Los materiales que las componen resultan ser altamente meteorizables por acción del agua de lluvia y la escorrentía, originando el característico relieve en forma de *badlands*.

Formación Patagonia o Patagoniano (Oligoceno superior - Mioceno inferior). Corresponde a los sedimentos que son representativos de la transgresión marina de origen atlántico más destacada del Terciario (Bellosi, 1987, 1995). Presenta una marcada diferencia litológica entre sus niveles basales y los superiores; los primeros corresponden a sedimentos finos con una importante participación piroclástica; mientras que los tramos superiores resultan ser más arenosos y esencialmente epiclásticos. Esta unidad se encuentra circundando el área de estudio, conformando cerros y elevaciones.

Depósitos aluviales terrazados (Pleistoceno). Sobre este horizonte se asienta el barrio y la planta industrial cercana al mismo. Su origen se vincula con la descarga de grandes volúmenes de agua de escorrentía provenientes desde las mesetas situadas más al oeste, en donde se movilizaron grandes volúmenes de material pefítico hacia las zonas bajas. Involucra sedimentos conformados por gravas medianas a gruesas, con regular a pobre grado de selección y que suelen presentar delgadas intercalaciones lenticulares de arenas friables de tamaño medio. Su espesor varía entre 1,5 y 5 m. Geomorfológicamente, se halla representada por un nivel terraza de contorno irregular de 1 km de ancho por 5 km de largo.

HIDROGEOLOGIA

El esquema hidrogeológico a nivel local incluye un horizonte saturado que se halla contenido dentro de la unidad geológica descrita como "Depósitos aluviales terrazados". Se trata de una planicie sobre la cual se asienta el barrio y la Planta de Tratamiento ubicada en sus proximidades; la misma forma parte de un acuífero libre de naturaleza detrítica, donde el agua se aloja en los últimos metros de estos depósitos (espesor saturado promedio: 0,95 m). Por debajo del nivel acuífero, se disponen las tobas de la Fm. Samiento, de comportamiento acuícludo y que constituye el basamento hidrogeológico del sistema acuífero mencionado.

El recurso exhibe un escaso potencial para su aprovechamiento o explotación, debido a los bajos volúmenes de agua almacenados y a su dependencia directa de las exiguas recargas estacionales derivadas del reducido régimen pluvial de la región.

La dirección del escurrimiento subterráneo, mantiene similar tendencia a la reconocida y documentada a escala regional, con un sentido de oeste a este (Castrillo y otros 1984).

HIDROQUÍMICA

Calidad de las aguas subterráneas

En la figura 2 se presenta la distribución espacial de los tipos de aguas presentes junto a los contenidos totales en sales disueltas, en donde es posible reconocer un patrón de agrupamiento de familias de aguas que, con ligeras variaciones, puede ser ordenado de norte a sur de acuerdo a cambios en los contenidos de aniones y que coincide con el diseño adoptado por las curvas isoconas (STD). Sobre el sector sur del área y en forma de faja elongada de orientación oeste-este, se disponen las aguas tipificadas como sulfatadas sódicas; la zona central de la terraza corresponde a las aguas sulfatadas cloruradas sódicas; finalmente, ocupando los sectores nor-central y nor-oriental, se encuentran las muestras donde el bicarbonato reviste un mayor protagonismo. El principal responsable de la salinidad adquirida por las aguas del lugar y más aún, de aquellas catalogadas como salobres y saladas, es el ión sulfato.

Tratando de establecer las relaciones existentes entre el par STD/SO_4^- se efectuó el diagrama de dispersión Scatter (figura 3); en él se advierte como la nube de puntos se extiende desde la parte inferior izquierda hasta la parte superior derecha, lo que sugiere una correlación positiva, con una alineación asimilable a una recta. Esta situación es refrendada mediante el cálculo del coeficiente de correlación, con un valor de 0.98, indicativo de que existe una estrecha vinculación entre ambas variables. Dentro de este mismo análisis cabe señalar el caso de dos de las muestras, que se apartan del comportamiento general de las aguas; en ellas, el incremento de los contenidos en sulfatos se produce independientemente del aumento de la salinidad, lo que indicaría un aporte extra de este anión en relación al resto de aguas.

Características del agua de producción

El contexto dentro del cual se localiza la zona estudiada y su historia previa vinculada a la actividad petrolera, forzosamente insta a evaluar la posibilidad de que la presencia de aguas saladas y salobres dentro del nivel acuífero pueda derivar de la actividad industrial. Como resulta lógico, esta sospecha se focalizaría sobre las aguas de producción o aguas de purga. Las causas que motivan este pensamiento derivan de que una de sus principales características, es la de poseer elevados contenidos de sales disueltas, del orden de 15.000 ppm promedio. La aplicación de cálculos estadísticos empleando los datos recabados en los análisis de laboratorio, permite establecer ciertas pautas en relación a determinadas características que presentan este tipo de aguas, pudiéndose apreciar que los iones dominantes resultan ser el sodio y el cloruro, con el 96% y 98% de participación promedio entre el total de cationes y aniones, respectivamente.

Comparativa hidroquímica aguas subterráneas y producción

La "huella química" exhibida por las aguas puede ser representada con el diagrama Piper-Hill (figura 4). Se incorporaron las muestras de los freáticos, del pozo de riego, así como la de agua de producción, resultando sencillo reconocer las diferencias genéticas entre las mismas. Mientras que en las aguas de producción los contenidos en sulfatos resultan ser prácticamente inexistentes, en las circulantes dentro del nivel freático este elemento resulta ser el ión dominante, tal es así que en siete de ellas la concentración de sulfatos superó los 6.000 mg/l.

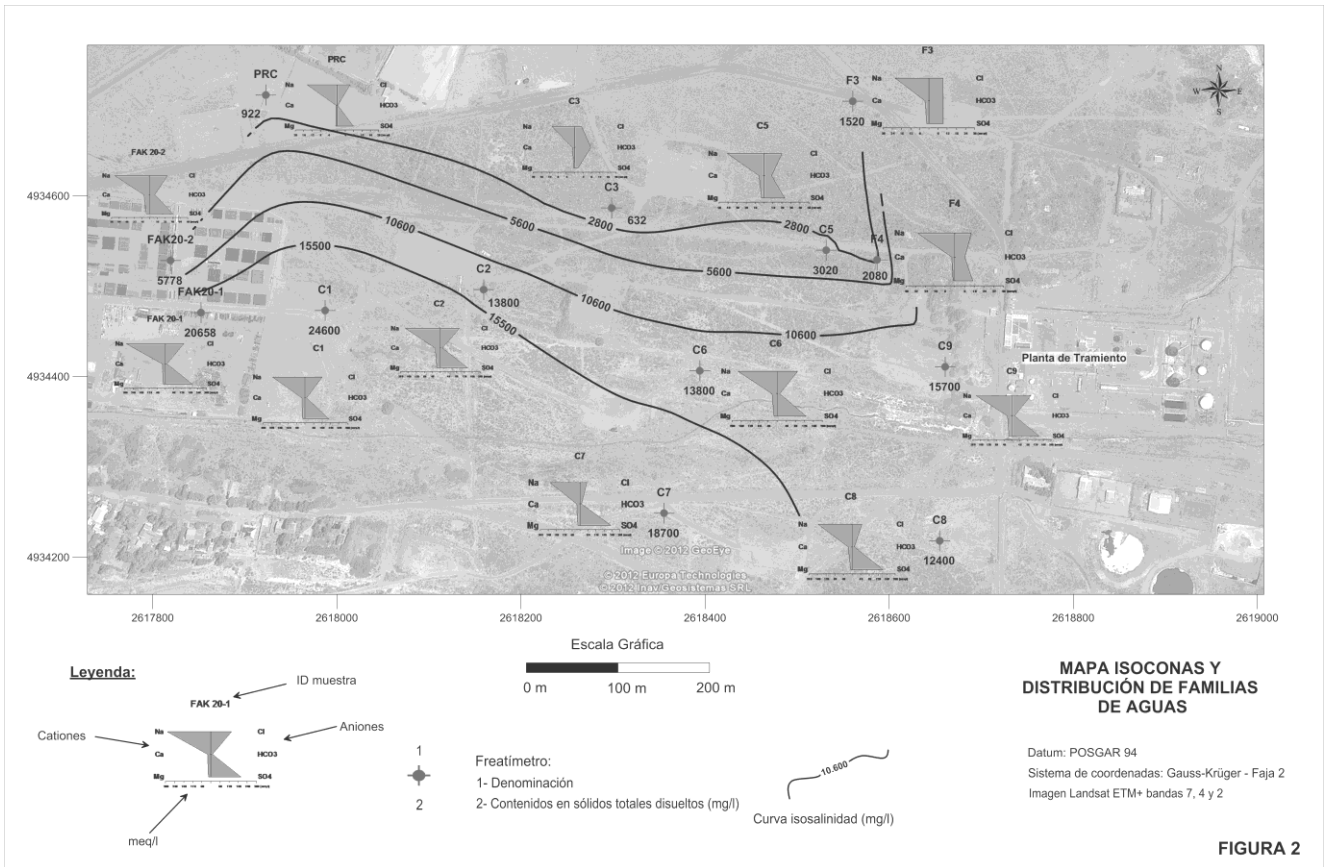


Figura 2. Distribución espacial de tipos de aguas junto a los contenidos en sales totales disueltas.

Figura 3

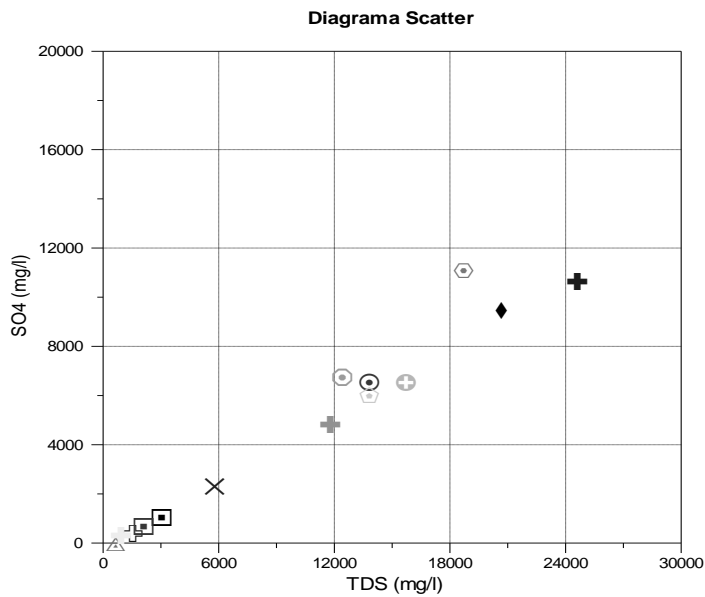


Figura 3. Diagrama de dispersión Scatter, para muestras de agua zona de estudio.

Figura 4

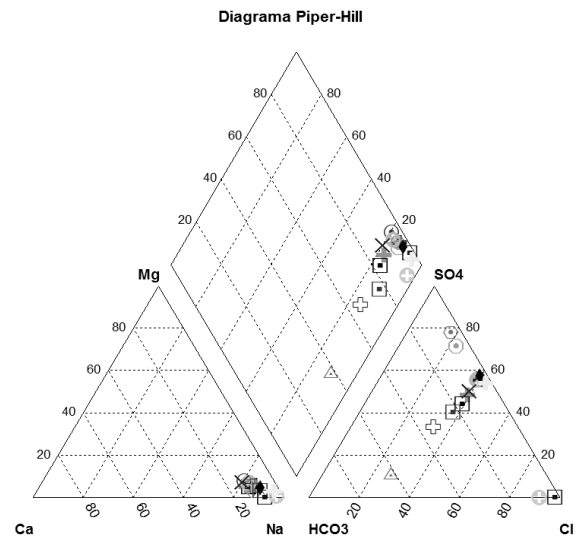


Figura 4. Diagrama Piper-Hill para las aguas muestreadas.

En la tabla 1, se aprecian los resultados obtenidos luego de los cálculos efectuados en base a tres relaciones iónicas entre aniones y cationes seleccionados. En los tres casos, pero principalmente en las relaciones Ca/SO₄ y Cl/SO₄, las diferencias que existen entre las aguas de producción y las subterráneas resultan ser categóricas.

Muestra	Ca/SO ₄ (meq/l)	Na/Cl (meq/l)	Cl/SO ₄ (meq/l)
Media entre muestras de agua subterránea	0,2	2,41	0,81
Agua de producción	13,01	0,94	176,07

Tabla 1. Comparativa entre relaciones iónicas de las aguas subterráneas y las de producción.

RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Un grave error detectado en la primera intervención realizada por otras consultoras, con motivo de buscar explicación al proceso de salinización, fue llevar a cabo un tratamiento local del problema y circunscribirlo a los puntos en donde se contaba con información directa del subsuelo (área de cobertura de los freáticos), sin considerar el contexto geológico e hidrogeológico de la zona, más allá de las fronteras virtuales definidas.

Fue así que se partió de una idea equivocada que remitía a pensar que el acuífero freático formaba parte de un sistema de circulación cerrado, en donde el quimismo de las aguas solo estaba controlado por la recarga de agua de lluvia, por condiciones geológicas y mineralógicas propias de los sedimentos por los cuales discurre el agua y por las acciones (negativas) del hombre en cuanto a posibles eventos de contaminación. Esto llevo a explicar el problema asociándolo a un eventual incidente relacionado con la actividad petrolera.

Como en todo proceso de salinización notable como el detectado y más aún, en el ámbito en el que éste se produce (área petrolera), es de sospechar que pudiera llegar a existir influencia de aguas de producción como responsables de la alteración de la calidad del acuífero. Esta posibilidad debería descartarse, si se tiene en cuenta que entre las aguas alojadas en el acuífero y las de producción existen diferencias químicas muy marcadas y definidas que permiten diferenciarlas entre sí. Si se tratara de un proceso de salinización derivado del ingreso de aguas de purga, su detección se vería facilitada por un rápido y significativo incremento en los contenidos del ión cloruro (ión conservativo, que suele utilizarse como trazador).

Sin embargo, al extender el radio de investigación y llevar adelante un relevamiento en las zonas vecinas, se pudo constatar la conexión que existe entre el acuífero freático y dos sistemas de flujo (uno local y otro de carácter regional) asociados con niveles basales pertenecientes a la Fm. Patagonia. A partir de este hecho, es posible reconocer la influencia que ejercen sobre la composición química de las aguas subterráneas, los aportes provenientes de aquellas que han tomado contacto con los terrenos marinos de edad terciaria.

El esquema bajo el cual se explicaría el mecanismo de salinización del acuífero freático, contemplaría la suma de dos procesos que actuarían de forma concomitante (figuras 5 y 6):

a) *Transferencia lateral de agua de circulación regional que ingresa al sistema freático.* El acuífero freático recibe parte de las aguas descargadas por un flujo regional con un elevado tiempo de tránsito dentro de la Fm. Patagonia, lo cual ocurre en la zona de contacto geológico entre la Fm. Patagonia y el nivel terrazado, a unos 4 km al oeste (aguas arriba) de la zona de estudio. Las aguas descargadas desde la base del patagoniano poseen elevada salinidad y son de tipo selenitoso, con motivo del lavado y disolución de los depósitos de yesos allí contenidos.

b) *Recarga localizada de agua procedente de excedentes de riego en contacto con terrenos de la Fm. Patagonia.*

La fracción sur del barrio se halla asentada sobre la ladera de un cerro situado gradiente arriba del sitio problema (aprox. 1,5 km de distancia al oeste). El núcleo de esta elevación la conforman afloramientos del Patagoniano. Dicho sector cuenta con la mayor concentración de áreas verdes bajo riego, cuyos excedentes de agua importada provocaron el encharcamiento del terreno por saturación, al tratarse de sedimentos arcillosos de baja permeabilidad.

Las condiciones de aridez imperantes en la región, motivaron el desarrollo de un ciclo de evaporación y precipitación recurrente, que a lo largo de tiempo ha provocado la concentración de sales en el sector. Parte de esas aguas están hidráulicamente conectadas con el acuífero freático recargándolo, haciendo su ingreso al sistema sobre el lado sur del nivel saturado contenido en el nivel de gravas. Íntimamente relacionado con este proceso, se pone de manifiesto la zonificación hidroquímica reconocida en las aguas freáticas, disponiéndose las de menor concentración (en sales totales y sulfatos) sobre el margen norte de la terraza y conforme nos desplazamos en dirección al sur (en sentido transversal al eje principal de escurrimiento subterráneo) las concentraciones se incrementan de manera significativa.

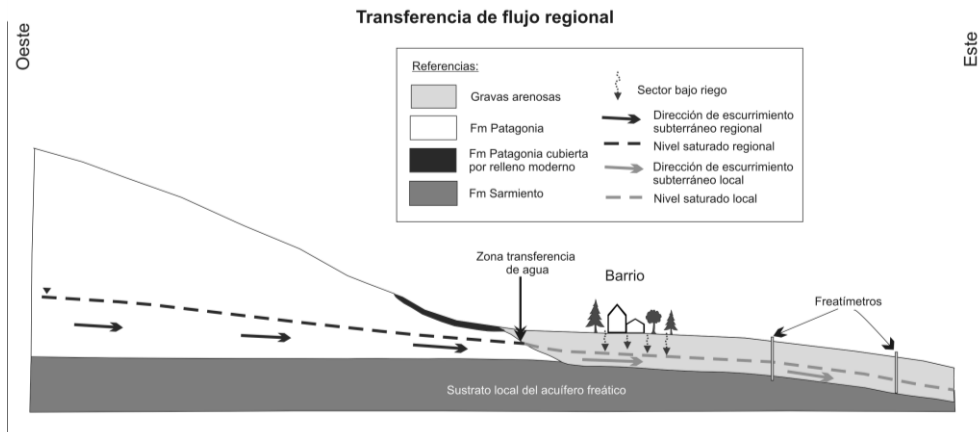


Figura 5. Esquema de la transferencia de agua de circulación regional que ingresa al sistema freático.



Figura 6. Esquema de la recarga localizada de agua procedente de excedentes de riego.

CONCLUSIONES

Existe un acuífero freático somero alojado dentro de materiales detríticos de un nivel terrazado que contiene aguas de elevada salinidad. A través de la construcción de un mapa de distribución de salinidad del agua, se reconocieron patrones de comportamiento que establecieron que las elevadas concentraciones de sales se disponen en el sector centro y sur del área de estudio, teniendo directa influencia sobre este aspecto, la presencia destacada del ión sulfato por sobre el resto.

Lo que presuntamente en un primer momento se consideró que se trataba de un evento de contaminación local relacionado con la actividad petrolera, fue descartado posteriormente, puesto que las aguas de producción a las que se les atribuía responsabilidad al respecto resultan ser predominantemente cloruradas sódicas.

En base al modelo conceptual elaborado con los datos y observaciones recabadas en campo, existen dos factores concurrentes que contribuirían a la explicación del fenómeno de salinización de las aguas subterráneas del sector. En ambos casos están vinculados con un esquema de equilibrio hidroquímico que involucraría fenómenos de interacción agua-roca, más concretamente, relacionados con procesos de disolución de yesos que forman parte la matriz clástica de una formación geológica de origen marino más antigua, con la cual se ha establecido una conexión hidráulica. La diferencia estaría dada en que, en algunos casos, se producirían a través de mecanismos naturales, mientras que en otros, se hallarían motorizados o propiciados por la acción del hombre.

De acuerdo a esta idea, las potenciales fuentes de salinización identificadas y que podrían motivar las elevadas concentraciones de sales en las aguas subterráneas (especialmente de tipo selenitosas) incluirían:

- a) aportes de aguas salinas antiguas pertenecientes a flujos regionales
- b) transferencia de agua vinculada a un flujo local de origen antrópico (excedentes de riego) que lava sales que tomaron contacto con yesos.

REFERENCIAS

- Andreis, R.R.**, 1977. Geología del área de Cañadón Hondo, Dpto. Escalante, Provincia de Chubut, República Argentina. *Obra del Centenario del Museo de La Plata*, 4(Geología): 77-102. La Plata.
- Belloso, E.S.**, 1987. Litoestratigrafía y sedimentación del "Patagoniano" en la Cuenca San Jorge. Terciario de las provincias de Chubut y Santa Cruz, Argentina. Tesis doctoral nº 2072. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Buenos Aires: 1-268. Inédito.
- Belloso, E.S.**, 1995. Paleogeografía y cambios ambientales de la Patagonia central durante el Terciario medio. *Boletín de Informaciones Petroleras*. YPF. Diciembre 1995: 50-83. Buenos Aires.
- Castrillo, E. Grizinik, M. Amoroso, A.** 1984 "Contribución al Conocimiento Geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia - Chubut". *Actas VI Congreso Geológico Argentino*. San Carlos de Bariloche. Argentina.
- Sciutto, J.C, et. al.** 2000. Hoja geológica 4566-III "Comodoro Rivadavia", provincia de Chubut. escala 1: 250.000. Subsecretaría de Minería de la Nación Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.