

MONITOREO AMBIENTAL DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, CONSIDERACIÓN DE ÁREAS SENSIBLES, DISTRITO URANÍFERO PICHINÁN ESTE, DEPARTAMENTO PASO DE INDIOS, PROVINCIA DEL CHUBUT

Humberto O. NIEVAS¹, Maricruz CARUSO², Fernanda PIZZIO¹, Federico O. FERRI¹ y Sebastián PÉREZ¹

¹ Departamento Prospección, Gerencia Exploración de Materias Primas, Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza, Buenos Aires. E-mail: nievas@cae.cnea.gov.ar

² Grupo Ambiental, Gerencia Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, Bariloche.

RESUMEN

En el ámbito de los estudios ambientales los sitios de localización de pobladores son considerados como áreas sensibles frente a una posible explotación del recurso uranífero. Se analiza la hidroquímica de los alrededores del distrito uranífero Pichiñán Este, sector central de la provincia del Chubut, por medio de un monitoreo que, desde el 2007, se realiza aplicando la metodología de muestreo de la comunidad europea. Se caracteriza la calidad del agua considerando elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, estableciendo de esta manera sus potenciales usos. Estos resultados son informados a los pobladores y a la autoridad de control ambiental de la provincia del Chubut. Aunque, en general, la calidad del agua en cada punto de muestreo se mantiene relativamente constante, se observan variaciones naturales en los contenidos químicos.

Palabras clave: *Calidad del agua, uranio, pobladores, regulación ambiental, muestreo ambiental*

ABSTRACT

Environmental monitoring of stream and underground waters: consideration of sensitive areas, Pichiñan Este uranium district, Paso de Indios Department, Chubut Province.

In environmental studies, the land use areas are defined as sensitive zones taking into account an eventual exploitation of the uranium resources. Since 2007, the hydrochemistry of the surrounding areas of the Pichiñan Este Uranium district has been monitored. According major, minor and trace elements geochemistry the water quality and its potential use are determined. These results are informed to the members of the different communities and reported to the environmental authority of the Chubut province. In general, water quality in every sampling station remains constant while the observed minor variations can be attributed to natural causes.

Keywords: *Water quality, uranium, community involvement, environmental regulation, environmental sampling*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio, con una extensión de unos 1000 km², incluye al distrito uranífero Pichiñán Este y alrededores, ubicado en la vertiente oriental de la sierra de Pichiñán, departamento Paso de Indios (Fig. 1), provincia del Chubut. El centro poblado más cercano es la localidad de Paso de Indios, con 2079 habitantes según el censo nacional de 2010, y se ubica 70 km al sur del distrito (Fig. 1). El área involucrada en el proyecto presenta una baja densidad poblacional y está representada, mayormente, por áreas de pastoreo. El yacimiento de uranio es de tipo sedi-

mentario (areniscas) y se aloja en los depósitos fluviales cretácicos del Grupo Chubut, en la provincia geológica denominada Chubut Extrandino. La roca hospedante corresponde al Miembro Arroyo del Pajarito de la Formación Los Adobes. El monitoreo ambiental de agua, en esta etapa de exploración, tiene como objetivo establecer valores de referencia histórica de los diferentes analitos que la componen y que permita conocer el estado "sin acción" previo a la extracción, interpretar el comportamiento hidroquímico natural, y generar el conocimiento para un adecuado tratamiento en las actividades mineras posteriores. Por otro lado se

busca caracterizar la calidad del agua utilizada por los pobladores, considerando componentes mayoritarios, minoritarios y trazas además de parámetros físico-químicos.

RED DE DRENAJE SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRÁNEA

Por las características climáticas de la zona, la red de drenaje superficial está constituida por cauces temporarios o efímeros, destacándose por su importancia los correspondientes a los cañadones La Oriental y La Volanta, con caudales variables

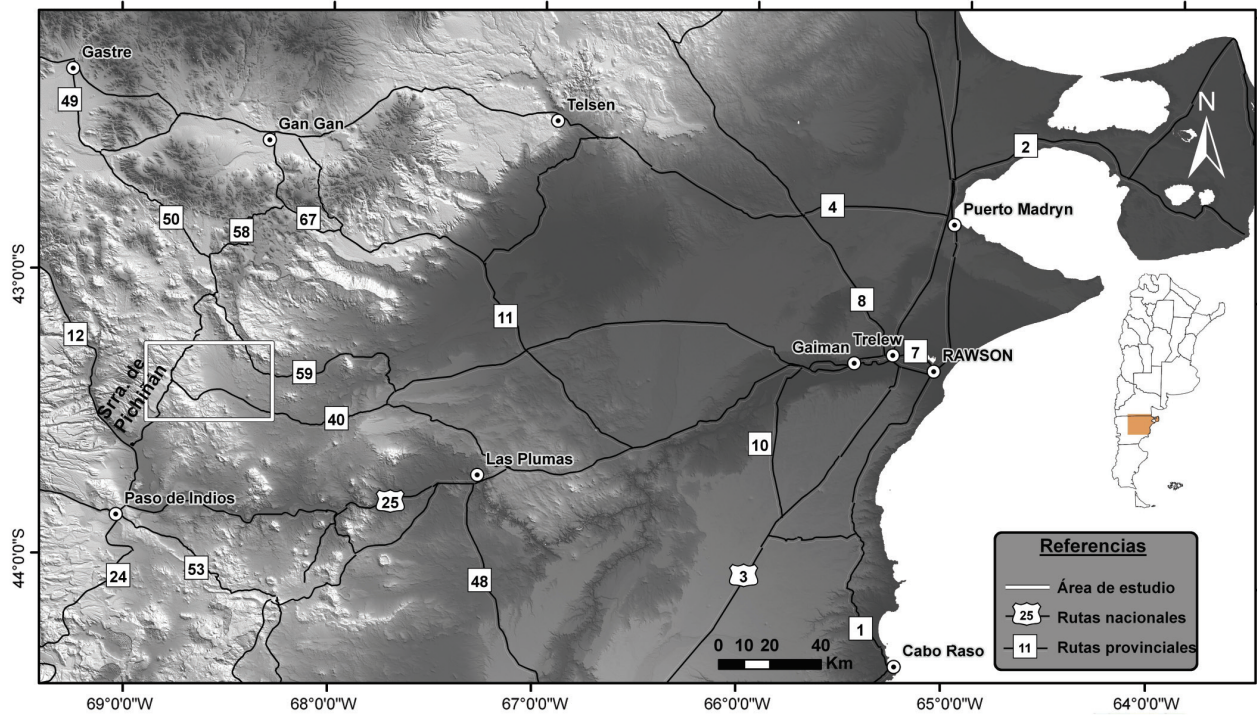


Figura 1: Ubicación del distrito uranífero Pichián Este.

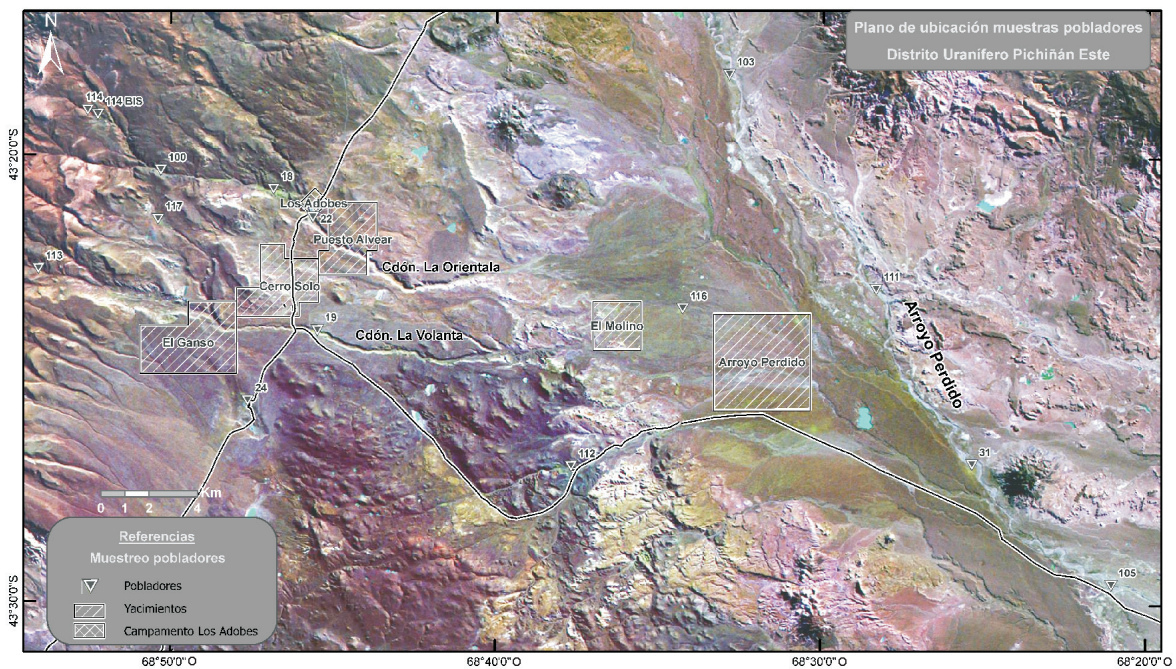


Figura 2: Plano de ubicación de los puntos de muestreo de pobladores del distrito uranífero Pichián Este y alrededores.

sujetos a fluctuaciones estacionales. Estos cañadones, que drenan por el flanco oriental de la sierra de Pichián, son tributarios del arroyo Perdido que actúa como colector principal de la cuenca y está ubicado a unos 40 km al este del yacimiento.

Complementan los cuerpos superficiales de agua, bajos lagunares de escasa profundidad y reducidas dimensiones, que acumulan agua ocasionalmente durante grandes precipitaciones y en el período invernal.

El agua subterránea tiene su área de recarga en el borde oriental de la sierra de Pichián, con un escurrimiento regional hacia el este. Se encuentra presente en todo el ámbito del distrito uranífero, con profundidades variables del nivel piezo-

CUADRO 1: Ubicación de los puntos de muestreo de agua de pobladores y usos del agua del distrito uranífero Pichinán Este.

Muestra	Ubicación	Sector	Tipo - Lugar	Coordenadas Gauss Krüger		Coordenadas Geográficas		Uso del agua
				X-GK Posgar	Y-GK Posgar	S (Latitud)	O (Longitud)	
113	Aguas arriba del yacimiento	Cdón. La Volanta	Agua superficial Puesto abandonado	5197478	2508030	43°22'33,3"	68°54'03,3"	-
18		Cdón. La Oriental	Agua de pozo - Puesto Cayún	5200761	2517790	43°20'46,3"	68°46'50,1"	Consumo humano
100			Agua superficial - Puesto Nahuel (Est. Cdón. Oriental)	5201553	2513115	43°20'21,0"	68°50'17,7"	Consumo humano
114			Agua de canilla - Campo de Hansen (Est. Don Sergio)	5204052	2510079	43°19'0,2"	68°52'32,7"	Consumo humano
114 BIS			Agua manantial - Campo de Hansen	5203866	2510503	43°19'6,2"	68°52'13,9"	Consumo humano
117		Afluente izquierdo de Cdón. La Volanta	Agua manantial - Puesto Salvatierra	5199516	2512998	43°21'27,0"	68°50'22,8"	Consumo humano
19	Proximidades del yacimiento	Cdón. La Volanta	Agua de pozo - Puesto Renguenao	5194906	2519602	43°23'55,9"	68°45'28,9"	Se usó para consumo humano
19 BIS			Agua manantial margen derecho - Puesto Renguenao	5194933	2519586	43°23'55,0"	68°45'29,6"	Consumo humano
19 CS			Agua manantial margen izquierdo Puesto Renguenao	5194967	2519560	43°23'53,9"	68°45'30,8"	-
24		-	Agua de pozo - Puesto Mendoza (Est. Los Mimbres)	5191990	2516705	43°25'30,6"	68°47'37,3"	Consumo humano
22		Cdón. La Oriental	Agua de pozo - Campamento Los Adobes	5199592	2519413	43°21'24,1"	68°45'37,9"	Uso doméstico y riego
116	Aguas abajo del yacimiento	Cdón. La Oriental	Agua de pozo - Campo de Valle	5195792	2534745	43°23'25,2"	68°34'16,2"	ganado
31		Arroyo Perdido	Agua de pozo - Puesto La Rosa	5189309	2546724	43°26'52,9"	68°25'22,0"	Consumo humano
103			Agua de pozo - Puesto El Esfuerzo	5205495	2536682	43°18'10,5"	68°32'52,5"	Se usó para consumo humano
105			Agua tomada en subálveo - Puesto Pichaut	5184302	2552492	43°29'33,8"	68°21'03,7"	Consumo humano
111			Agua tomada en subálveo - Puesto Villareal	5196586	2542763	43°22'58,0"	68°28'20,2"	Consumo humano
112		Afluente derecho de Cdón. La Volanta	Agua de pozo - Campo de Valle	5189266	2530107	43°26'57,4"	68°37'41,0"	ganado

métrico (algunos sectores alcanzan los 18 m mientras que otros llegan hasta más de 57 m de profundidad), debido a la fuerte incidencia estructural donde la dinámica de flujo parece estar regida por la permeabilidad secundaria.

MUESTREO Y MONITOREO AMBIENTAL

El muestreo es una herramienta que permite obtener datos de una población de la que se pretende conocer su comportamiento. Su planificación es de suma importancia ya que la obtención de muestras representativas permite lograr una versión simplificada de la población a estudiar. La red de muestreo establecida para el distrito uranífero incluye agua subterránea de sondeos exploratorios, agua de pozos y/o manantiales de pobladores

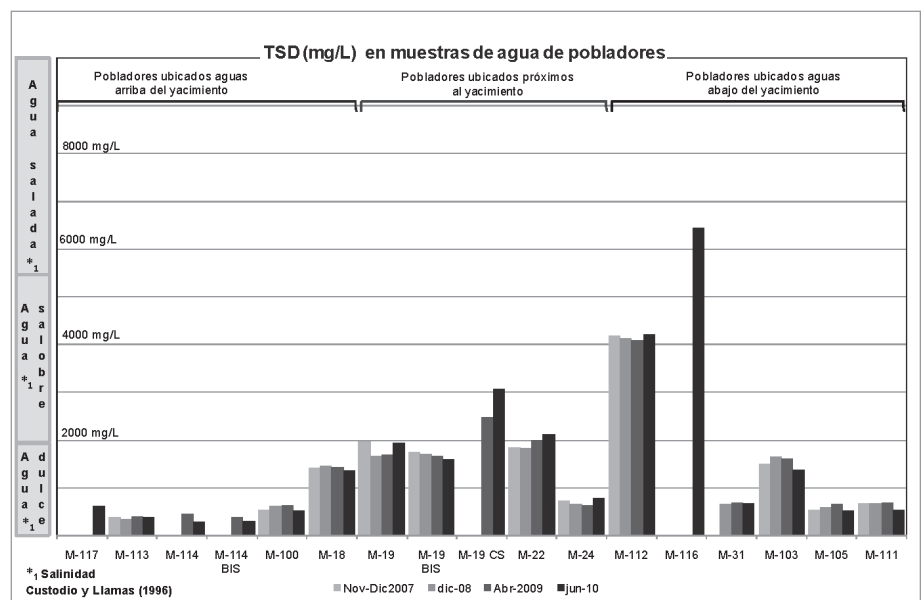


Figura 3: Contenidos de sólidos disueltos totales (mg/L) en muestras de agua de pobladores. Criterio de salinidad según Custodio y Llamas (1996): 1* Agua salada, 2* Agua salobre, 3* Agua dulce.

del área, y agua de escorrentía superficial. En este trabajo se analizan algunas características composicionales del agua correspondiente a los pozos y manantiales que abastecen a los distintos pobladores próximos al proyecto (17 puntos de muestreo). Se incluyen aquellos ubicados en las cercanías del yacimiento principal Cerro Solo, y los localizados aguas arriba y aguas abajo de este yacimiento (Fig. 2, Cuadro 1).

METODOLOGÍA DE MUESTREO Y TRATAMIENTO DE MUESTRAS

El monitoreo implica seguimiento de la característica composicional del agua, y permite una actualización constante de los datos y, en caso de ser necesario, reinterpretaciones.

Se han recolectado muestras desde el 2001 (Ferreyra *et al.* 2001), y a partir del 2007 se estableció un plan de monitoreo bajo procedimientos de muestreo y análisis establecidos por la Comunidad Económica Europea (Cidu 1996, Cidu 2000, Nievas y Tomellini 2004). El presente trabajo toma en consideración este último período hasta Junio de 2010.

Se miden *in situ*, mediante el uso de equipos multiparamétricos (Hanna HI 98130 y Consort, modelo C932), los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TSD). En el laboratorio se analizan también estos parámetros excepto oxígeno disuelto.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento Regional Cuyo, Gerencia Exploración de Materias Primas, CNEA. Los aniones Cl⁻, CO₃⁼ y HCO₃⁻ fueron determinados por volumetría, el anión SO₄⁼ por gravimetría, el F⁻ por electrodo selectivo y el NO₃⁻ por absorción molecular. Los cationes de las muestras fueron determinados, en su mayoría por el método de absorción atómica, aunque en el último muestreo (junio 2010) se utilizó para el análisis de gran parte de los cationes un ICP Óptico, ICP-OES Perkin

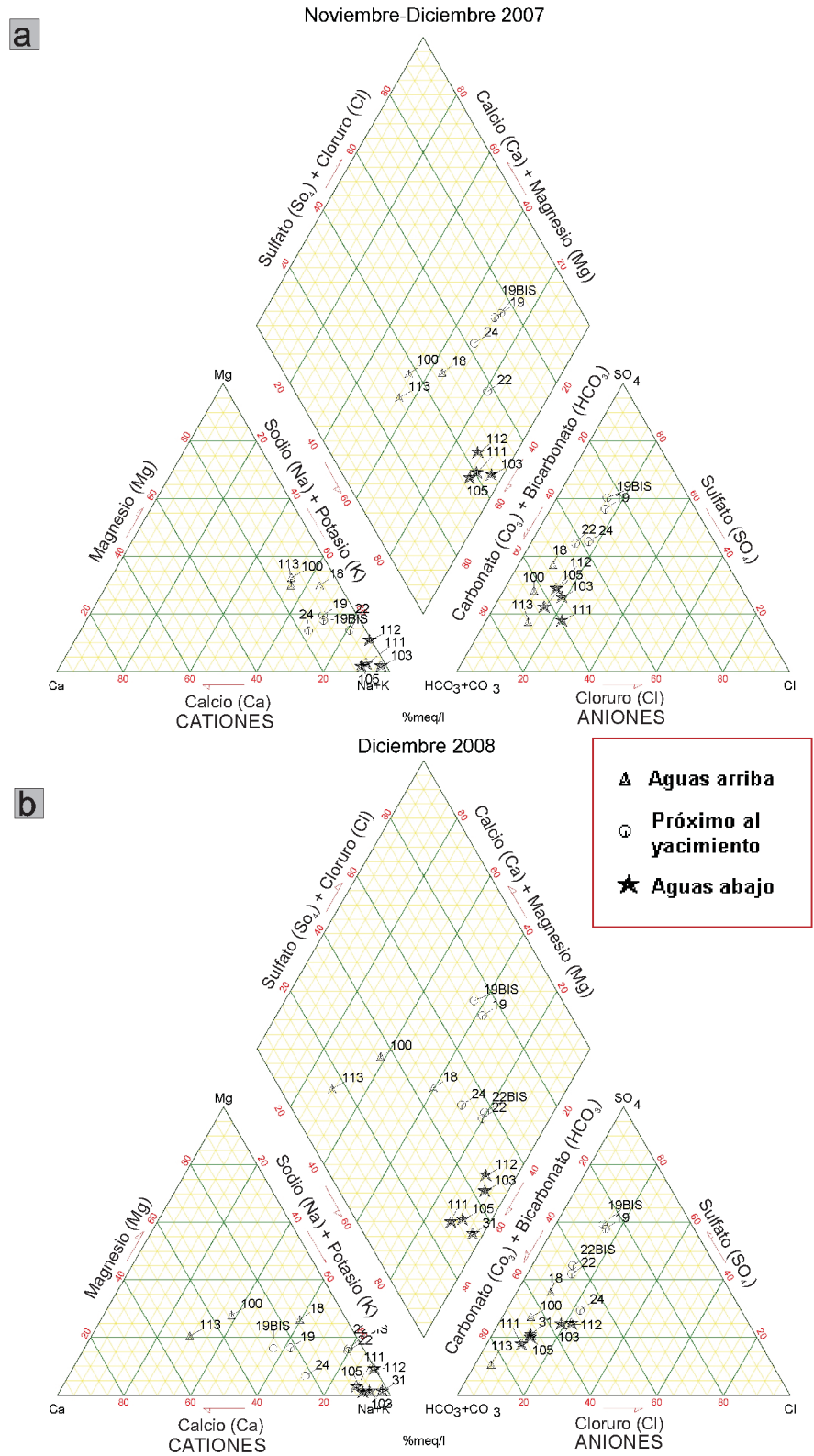
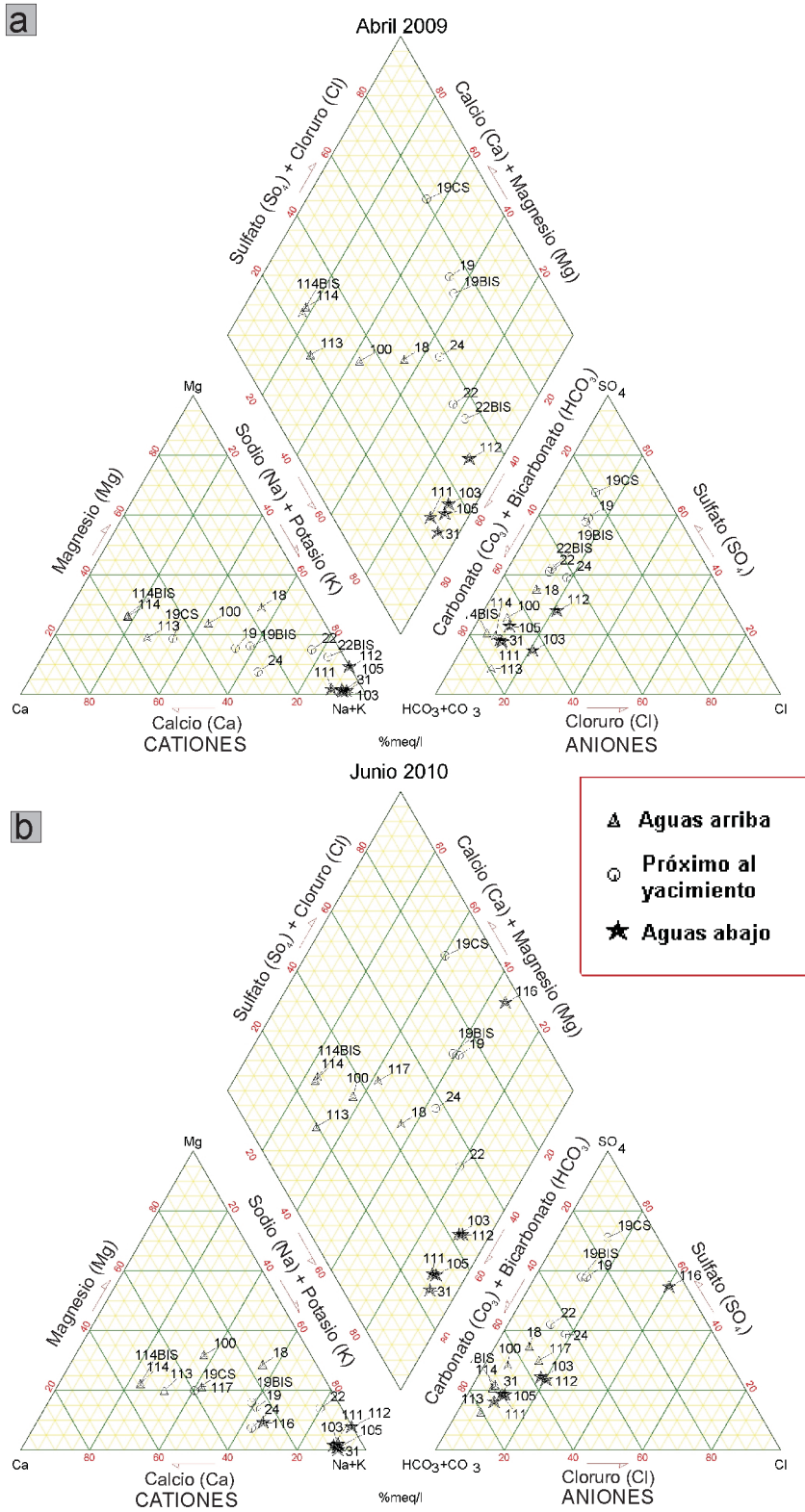


Figura 4: Calidad de agua-diagrama de Piper de pobladores del distrito uranífero Pichiñán Este y alrededores: a) Noviembre-diciembre de 2007. b) Diciembre 2008.

Elmer 400, que presenta un límite de detección menor, permitiendo la comparación de los valores analíticos con los niveles guías ambientales recomendados.



RESULTADOS

Para establecer la composición se utilizaron diagramas ternarios de escala porcentual (% de meq/L), clasificando las muestras en familias de distintos comportamientos iónicos. Por otro lado, los resultados se comparan con los valores guía para distintos usos del Anexo IV de la Ley Nacional N° 24585 (1995) de Protección Ambiental para la Actividad Minera, incorporada al Código de Minería de la República Argentina y los límites para agua potable del Código Alimentario Argentino (2007). Los resultados de cada muestreo son informados a los pobladores con el fin de ponerlos en conocimiento sobre la calidad del agua que disponen y sus aptitudes para los distintos usos.

El valor de sólidos disueltos totales obtenido en laboratorio es utilizado para clasificar el agua según su salinidad siguiendo el criterio de Custodio y Llamas (1996), que considera aguas dulces a las de un valor de sólidos disueltos totales inferior a 2.000 mg/L, salobres entre 2.000 y 5.000 mg/L, saladas entre 5.000 y 40.000 mg/L y salmueras mayor a 40.000 mg/L. De acuerdo con esta clasificación las muestras de agua tomadas aguas arriba del yacimiento y de los pobladores ubicados sobre el arroyo Perdido son consideradas dulces con valores inferiores a los 1.000 mg/L, exceptuando la N°103 (puesto El Esfuerzo), que aunque dulce, los valores de sólidos disueltos totales medidos para todos los períodos muestreados superan los 1.000 mg/L. A diferencia de las tomas de agua de sus vecinos, este pozo no se encuentra sobre el arroyo Perdido por lo que colecta parte del agua que escurre desde el oeste. Los habitantes del puesto El Esfuerzo no utilizan actualmente el agua de este pozo para consumo humano (Fig. 3).

Las captaciones de los pobladores ubicados en las cercanías del yacimiento, poseen valores de sólidos disueltos totales próximos a los 2.000 mg/L, superando este límite en algunos casos. La muestra N°19CS es considerada salobre para todos los períodos muestreados. Una excepción la constituye la N° 24, correspon-

Figura 5: Calidad de agua-diagrama de Piper de pobladores del distrito uranífero Pichián Este y alrededores: a) Abril de 2009. b) Junio de 2010.

El uranio fue determinado por fluorescencia láser y el arsénico por generador de hidruros.

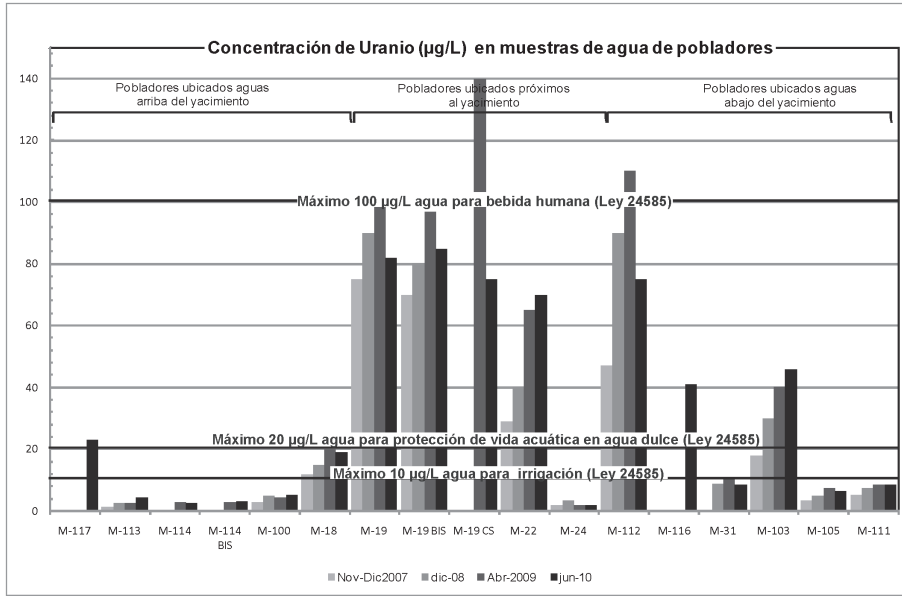


Figura 6: Gráfico con los contenidos de uranio (µg/L) en muestras de agua de pobladores, con niveles guía establecidos por la Ley Nacional N° 24.585.

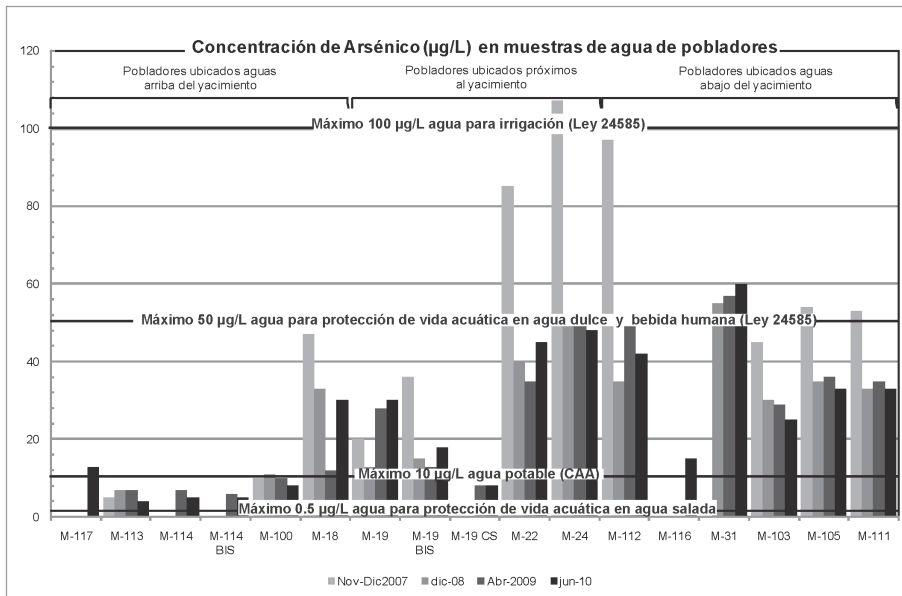


Figura 7: Gráfico con los contenidos de arsénico (µg/L) en muestras de agua de pobladores, con niveles guía establecidos por la Ley Nacional N° 24.585 y límites del Código Argentino Alimenticio (CAA).

diente al puesto Mendoza, que es dulce con valores inferiores a los 1000 mg/L (Fig. 3).

Las muestras N°112 y N°116, aguas abajo del yacimiento principal, son salobre y salada respectivamente, probablemente debido a su posición más alejada de la zona de recarga y a la propia evolución del agua subterránea. El agua extraída de estos molinos se utiliza para bebida de ganado. Como se observa en las figuras 4 y 5, des-

de diciembre de 2007 a Junio de 2010 no hubo mayores variaciones en el comportamiento químico del agua. De acuerdo al diagrama de Piper, las muestras se pueden clasificar en: a) Bicarbonatadas sódicas: N°8, N°31, N°103, N°105, N°111, N°112, N°117; b) Bicarbonatadas cálcicas: N°100, N°113, N°114, N°114 BIS; c) Sulfatadas sódicas: N°19, N°19 BIS, N°22, N°24, y N°116 y d) Sulfatadas cálcica: N°19 CS.

Las que se encuentran aguas arriba del yacimiento presentan en general un comportamiento esperable de aguas jóvenes con poca circulación (bicarbonatadas cálcicas) y lo mismo sucede en las que se encuentran aguas abajo, a pesar de que puede no esperarse ese comportamiento, sino uno más evolucionado. Estas últimas (aguas abajo), corresponden al subálveo del arroyo Perdido con una composición del tipo bicarbonatada sódica. Excepcionalmente la muestra N°18, aguas arriba del yacimiento, se presenta como bicarbonatada sódica, aunque cercana a bicarbonatada cálcica.

La muestra N°116, distante a unos 10 km del arroyo Perdido, presenta un comportamiento acorde a las aguas que se encuentran próximas al yacimiento, siendo esta sulfatada sódica.

Las aledañas al yacimiento clasifican como sulfatadas sódicas, exceptuando la N°19 CS, que es sulfatada cálcica, a pesar de estar tomada en las cercanías de la N°19 y N°19 BIS. Cabe destacar que dicho punto de muestreo se encuentra aguas abajo del yacimiento y corresponde a un manantial que aflora sobre la margen izquierda del cañadón La Volanta, las otras dos corresponden a la margen opuesta.

Para diciembre de 2007 las muestras N°100 y N°113 se presentan como bicarbonatadas sódicas, pero a partir de diciembre de 2008 son bicarbonatadas cálcicas.

Si bien, en el monitoreo ambiental llevado a cabo, se analizan componentes mayoritarios, minoritarios y trazas, en esta contribución se hace hincapié en los contenidos de uranio, arsénico y flúor. El primero por tratarse de un proyecto minero uranífero y los otros por ser los que superan los niveles guías con mayor preponderancia en el sector en estudio.

La concentración de uranio en agua (Fig. 6), para la mayoría de las colectadas aguas arriba del yacimiento, se encuentra dentro de los límites recomendados por Ley Nacional N° 24.585 para los distintos usos. Sin embargo las muestras N°117 (puesto Salvatierra) y N°18 (puesto Ca-yún) sobrepasan los niveles guía reco-

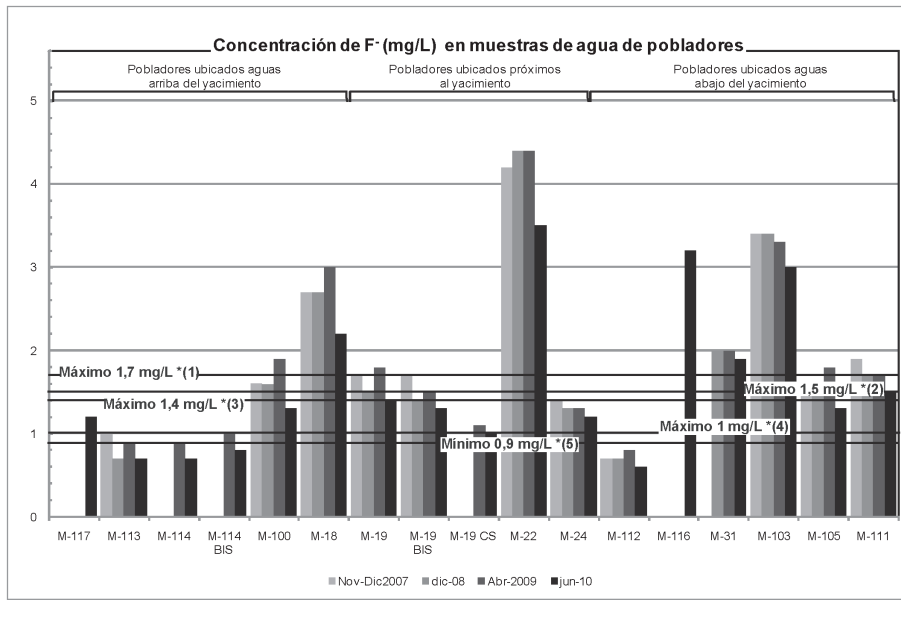


Figura 8: Gráfico con los contenidos de fluoruro (mg/L) en muestras de agua de pobladores, con niveles guía establecidos por la Ley Nacional N° 24.585 y límites del CAA. *(1)Máximo 1,7 mg/L para agua potable (CAA), *(2)Máximo 1,5 mg/L para bebida humana (Ley 24.585), *(3) Máximo 1,4 mg/L para protección de vida acuática en agua salobre y agua salada (Ley 24.585), *(4) Máximo 1 mg/L para bebida de ganado y para irrigación (Ley 24.585), *(5) Mínimo 0,9 mg/L para agua potable (CAA).

mendados para irrigación (10 µg/L) y se hallan próximos o sobrepasan el nivel establecido para protección de vida acuática en agua dulce (20 µg/L). Las muestras de pobladores ubicados próximos al yacimiento superan, excepto la N°24, al nivel guía recomendado para protección de vida acuática en agua dulce, incluso se hallan próximos o sobrepasan el nivel guía para bebida humana (100 µg/L). Las muestras de pobladores ubicados sobre el arroyo Perdido, en general, se encuentran dentro de los límites recomendados por la ley citada, excepto la N°31 (puesto La Rosa), que para Abril de 2009 supera el nivel para irrigación y la N°103 (puesto El Esfuerzo), que para todos los períodos muestreados supera el nivel guía para protección de vida acuática en agua dulce. La mayoría superan o se hallan muy próximas al límite máximo establecido por el Código Alimentario Argentino para arsénico en agua potable (10 µg/L), exceptuando las N°113, N°114 y N°114 Bis ubicadas aguas arriba del yacimiento (Fig. 7). Gran parte de las ubicadas en las cercanías del yacimiento y aguas abajo del mismo alcanzan o superan el nivel guía para protección de vida acuática en agua

dulce y bebida humana (50 µg/L, Ley Nacional N° 24.585). La muestra N°24 para noviembre-diciembre de 2007 supera el nivel guía para irrigación de 100 µg/L (Ley Nacional N° 24.585, 1995). La N°116 sobrepasa el límite para vida acuática en agua salada de 0.5 µg/L, de la citada Ley Nacional N° 24.585. Los niveles de fluoruro (Fig. 8), en los sitios aguas abajo del yacimiento, excepto la N°112, superan el nivel guía para consumo humano de 1,5 mg/L (Ley Nacional N° 24.585, 1995) y, en muchos casos, el límite para agua potable de 1,7 mg/L (Código Alimentario Argentino 2007). Estos valores también son superados, para uno o más períodos muestreados, por los pobladores próximos al yacimiento (excepto N°24 y N°19 CS), y por las N°100 y N°18. El resto de las muestras ubicadas aguas arriba presenta valores próximos a 1 mg/L superándolo en algunos períodos y tomando valores algo inferiores a 0,9 mg/L en otros. A continuación, se mencionan otros analitos que, en uno o más muestreos, superan los niveles guía y límites establecidos por la normativa argentina vigente para los distintos usos de agua.

Los límites establecidos para agua potable, por el Código Alimentario Argentino (2007), se ven superados en todos los muestreos para los casos del sulfato (límite 400 mg/L), en las muestras: N°18, N°19, N°19 Bis, N°19 CS, N°22, N°112, N°116; cloruro (límite 350 mg/L), en las muestras N°112 y N°116; manganeso (límite 0,1 mg/L), en la muestra N°19 CS. Para Junio 2010 la N°100 y N°113 superan el límite del CAA para níquel (0,02 mg/L) y la N°116 supera el límite para nitrato (45 mg/L).

El nivel guía para agua para bebida humana de la Ley Nacional N° 24585 (1995) para el nitrato (10 mg/L), se ve superado en las muestras N°112, N°116 y N°22 (excepto muestreo de Junio de 2010). Para Junio 2010 las muestras N°100 y N°113 superan el nivel guía para níquel (0,025 mg/L).

El nivel guía para agua para ganado (Ley Nacional N° 24585), es sobrepasado para el zinc (0,05 mg/L) en la muestra N°100, excepto para junio de 2010; la N°113 lo supera para noviembre-diciembre de 2007 y diciembre de 2008; la N°18 y N°24 para noviembre-diciembre de 2007 y la 116 para junio de 2010. El nivel guía para vanadio (0,1 mg/L) se ve superado en la N°100, N°105, N°111, N°112 y N°116 para Junio de 2010.

El nivel guía para irrigación para molibdeno (0,01 mg/L), se ve superado en Junio de 2010 en todas las muestras. Para ese muestreo, el nivel guía para vanadio (0,1 mg/L) es superado en las muestras N°100, N°105, N°111, N°112 y N°116.

Los niveles guía para agua para protección de vida acuática en agua dulce se ven superados en los siguientes casos: para el zinc (0.03 mg/L), en la muestra N°100 en todos los muestreos excepto junio de 2010; N°18 y N°24 para noviembre-diciembre 2007; N°113 para diciembre de 2008 y noviembre-diciembre 2007 y para el vanadio (0,1 mg/L) en las muestras N°100, N°105, N°111, N°112 y N°116 para junio de 2010.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten poner en evidencia que el agua subterránea

muestra una evolución natural, pasando de aguas principalmente bicarbonatadas a sulfatadas, con un movimiento regional hacia el este, desde el área de recarga en el borde oriental de la sierra de Pichiñán. El agua muestreada sobre el arroyo Perdido presenta un comportamiento con escasa incidencia del agua que proviene o se encuentra en el yacimiento.

En el caso del analito uranio su incorporación a la química del agua está relacionado a la presencia de la mineralización, el mismo se manifiesta en las muestras próximas al yacimiento y aguas abajo del mismo.

Los analitos fluoruro y arsénico presentan concentraciones mayores también en posiciones próximas y aguas abajo del yacimiento.

Los valores anómalos de uranio, fluoruro y de sólidos disueltos totales de la muestra N°103 (puesto El Esfuerzo), en relación a los determinados en puntos de muestreos vecinos, se debe a que el pozo está ubicado fuera del lecho del arroyo Perdido, teniendo una cierta influencia, en su composición, de las aguas que provienen desde la margen derecha del mismo.

Considerando los sólidos disueltos totales y la composición química de las muestras analizadas, se destaca que las muestras N°114 y N°114 Bis ubicadas aguas arriba del yacimiento se encuentran dentro de los límites establecidos por el CAA para agua potable y de los niveles guía para agua para bebida humana (Ley Nacional N° 24585), condición dada por la naturaleza juvenil de estas aguas, por pertenecer a zonas de recarga.

Se destaca que los resultados de los muestreos ambientales corresponden a valo-

res naturales encontrados, sin ningún tipo de acción ni influencia directa o indirecta por parte de la Comisión Nacional de Energía Atómica, las variaciones entre los distintos muestreos expresan la variabilidad natural de los contenidos expuestos.

AGRADECIMIENTOS

A la Gerencia Exploración de Materias Primas por permitirnos presentar esta contribución; a los compañeros del Departamento Regional Patagonia y Departamento Prospección por el apoyo incondicional y actitud solidaria en las distintas etapas de este trabajo. Este trabajo forma parte del Simposio de Uranio realizado en el marco del 18° Congreso Geológico Argentino.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cidu, R. 1996. Inductively coupled plasma - mass spectrometry and - optical emission spectrometry determination of trace elements in water. *Atomic Spectroscopy* 17: 155-162.
- Cidu, R. 2000. Trace elements: Li, Be, B, Al, V, Cr, Co, Ni, Se, Sr, Ag, Sn, Ba, and Tl. En Nollert, L. (ed.) *Handbook of water analysis*: 459-482, New York.
- Código Alimentario Argentino 2007. Capítulo 12, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua potable - Artículo N° 982 modificado por la Resolución Conjunta Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación Número 68/2007 Número 196/2007, Boletín Oficial N° 31165.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. 1996. *Hidrología Subterránea*. Segunda Edición, Ediciones Omega S.A., 2350 p., Barcelona.
- Ferreira, R., Lopez L., Tomellini, G., Marre-ro, J., Benítez, A., Nievas, H.O., Bianchi, R., Fanfani, L., Cidu, R., Lorrain, M., Pitch, H., Beaucaire, C. y Zuddas, P. 2001. En Cidu R. (ed.) *Hydrogeochemistry in the U- district of Cerro Solo (Chubut, Argentina)*. *Water-Rock Interaction 2*: 1225-1228.
- Ley Nacional N° 24.585 1995. Título Complementario de Protección Ambiental para la Actividad Minera del Código de Minería, Boletín Oficial.
- Nievas, H.O. y Tomellini, G. 2004. Red de muestreo para la hidrología superficial del CAE, Protocolo Analítico. Informe interno, Comisión Nacional de Energía Atómica (inédito), 14 p., Buenos Aires.

Recibido: 19 de febrero, 2013

Aceptado: 14 de mayo, 2013