

LÍNEA DE BASE AMBIENTAL DE AGUA Y SEDIMENTO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL PARA LA QUEBRADA ALIPÁN, SIERRA DE VELASCO, LA RIOJA

Humberto O. NIEVAS¹, Fernanda PIZZIO¹, Federico O. FERRI¹, Juan ALVAREZ², Constantino KARKANIS¹, Guido TOMELLINI³ 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 Departamento Regional Centro-Gerencia Exploración de Materias Primas-Comisión Nacional de Energía Atómica, Córdoba.

³ Departamento Regional Cuyo-Gerencia Exploración de Materias Primas-Comisión Nacional de Energía Atómica, Mendoza.

RESUMEN

Se presentan resultados pertenecientes a una línea de base ambiental en aguas y sedimentos de escorrentía superficial, para un proyecto minero en incipiente etapa de exploración, en la sierra de Velasco, provincia de La Rioja. Se determina la calidad del agua siguiendo un diseño estratégico de muestreo para obtener una adecuada caracterización de la cuenca y para evaluar cambios en los sucesivos muestreos. A su vez, se analizan los contenidos en agua de uranio y radio por su importancia en un área con mineralización uranífera. Finalmente, se consideran las concentraciones químicas en sedimentos de escorrentía superficial y se evalúan los distintos aportes de los afluentes hacia el colector principal, la quebrada Alipán.

Palabras clave: *Calidad del agua, uranio, radio, concentración química, muestreo ambiental*

ABSTRACT

Environmental baseline of waters and stream sediments for the Quebrada Alipán area, Sierra de Velasco, La Rioja.

Environmental baseline results from a water and stream sediments survey are presented. These studies belong to an early stage of the Sierra de Velasco uranium exploration project (La Rioja province). The quality of the waters has been determined from a strategic sampling design that allows to characterize the basin, and to evaluate any changes in successive surveys. Particular attention was paid to uranium and radium concentrations in water because of their importance in a uranium mineralized area. Finally, the chemical concentrations in sediments and the different contributions of the tributaries to the main water course, Alipán creek, are evaluated.

Keywords: *Water quality, uranium, radium, chemical concentrations, environmental sampling*

INTRODUCCIÓN

La sierra de Velasco pertenece al ámbito de las Sierras Pampeanas (Stelzner 1873) y se encuentra en el sector centro-norte de la provincia de La Rioja (Fig. 1). Tiene rumbo general N-S y está constituida por bloques principalmente de basamento ígneo-metamórfico paleozoico, basculados durante la tectónica Andina. En una porción de esa área, ubicada en el faldeo oriental de la sierra, a unos 20 km al norte de la ciudad de La Rioja, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) desarrolla tareas de prospección uranífera. Concluida la etapa de prospección, y previo al inicio de las actividades exploratorias, se presentó la necesidad de estable-

cer una línea de base ambiental (LBA) de agua y sedimento de escorrentía superficial (Nievas *et al.* 2010) para una porción de la sierra conocida como quebrada Alipán y zonas aledañas (Fig. 1), donde las tareas de prospección han concluido con una declaración de Manifestación de Descubrimiento. El relevamiento de datos para dicha línea de base ambiental fue realizado durante 2009 (marzo, septiembre, diciembre) y 2010 (marzo, julio). Esta línea hace referencia a las condiciones imperantes actuales es decir, el estado "sin acción" del área al momento de su estudio, previo a cualquier intervención antrópica que pudiera modificar el estado de la misma.

Para tener una caracterización geoquími-

ca de la cuenca hidrogeológica vinculada a las futuras actividades exploratorias, se confeccionó un plan de muestreo estratégico bajo los procedimientos de muestreo establecido por la Comunidad Europea; dichos procedimientos se hallan detallados en un informe interno de la CNEA (Nievas y Tomellini 2004).

La estrategia de muestreo involucra las cabeceras de cuencas, zonas anómalas de interés minero, y aguas abajo de dichas zonas anómalas. Asimismo, se consideran las áreas sensibles que a futuro podrían ser afectadas por la actividad minera, como es el caso de aquellos pobladores y áreas de cultivo que de alguna u otra manera están relacionados con la cuenca. La línea de base ambiental posee 36 si-

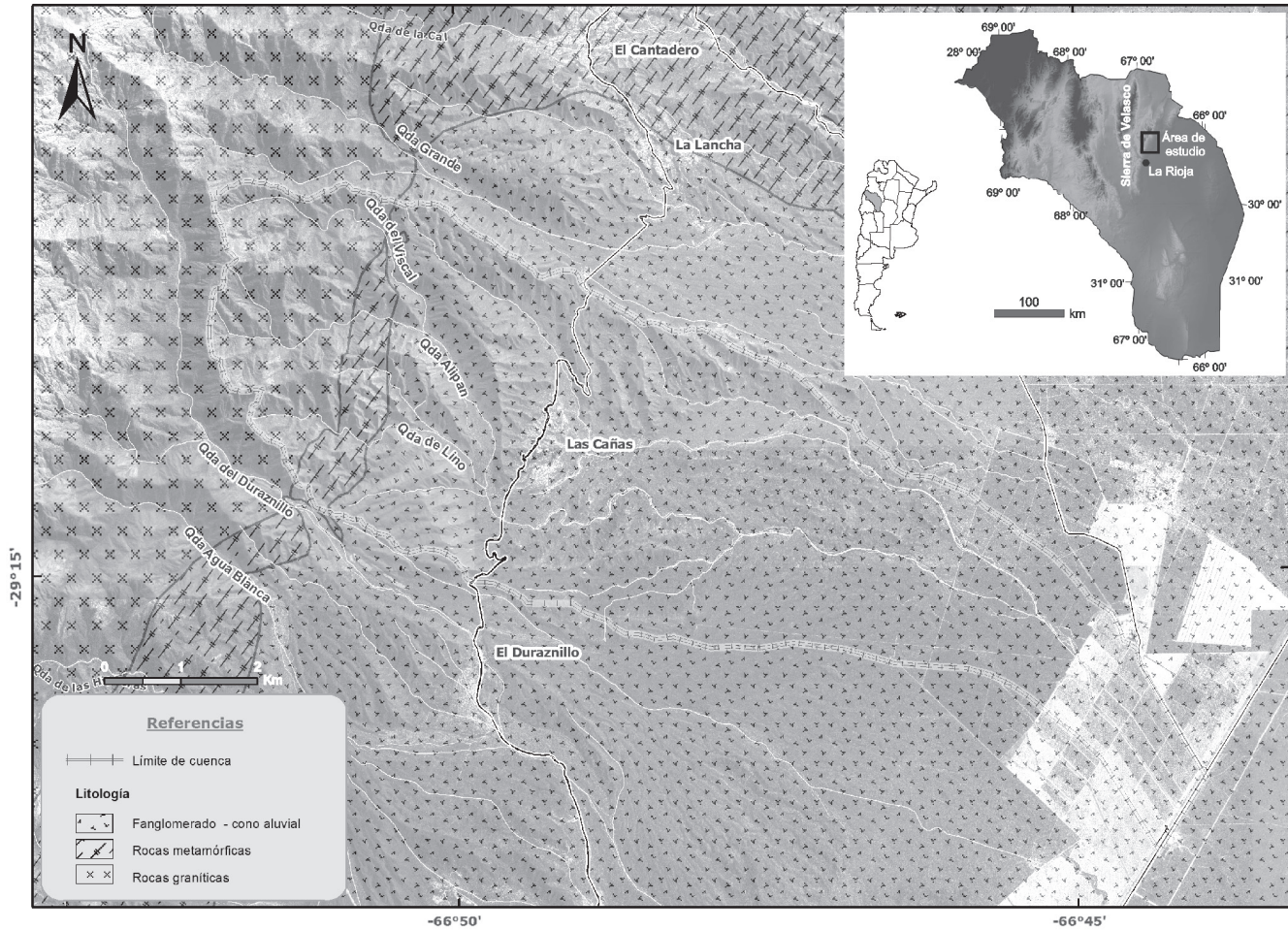


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio, litologías aflorantes y poblados próximos.

tios de muestreo de sedimentos de escorrentía superficial y 24 de agua que corresponden a muestras de: escorrentía superficial, manantial de las quebradas Alipán y de Lino, manantiales ubicados próximos al poblado de Las Cañas, agua de consumo de pobladores de la zona y agua subterránea de las fincas (oliveros) que se ubican en la zona pedemontana (Figs. 2 y 3).

En la presente contribución se analizan los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, con especial énfasis en aquellos analitos que son de interés en esta actividad minera (uranio y radio). La interpretación de los resultados permite caracterizar la calidad de agua y el comportamiento químico de los sedimentos de escorrentía superficial en relación con los niveles guía recomendados por la Ley Nacional N° 24.585 y el Código Alimentario Argentino (2007).

MARCO HIDROGEOLÓGICO

Los trabajos del Instituto Nacional del Agua realizados por el Centro Regional de Aguas Subterráneas de la provincia de San Juan (INA-CRAS) (Ferrés 2004 y Salvioli *et al.* 2005) definen a la cuenca hidrogeológica de la ciudad de la Rioja, como Cuenca Cono Aluvial del Departamento Capital de La Rioja y Áreas de Influencias. Según Salvioli *et al.* (2005), la zona se caracteriza por estructuras geológicas definidas por fallas de orden regional y local que movilizaron distintos bloques del basamento cristalino que superficialmente conforman la sierra de Velasco y en la zona llana oriental, en profundidad, afectan la depositación sedimentaria y el flujo del agua subterránea. Las fuentes de abastecimiento de agua, para la ciudad de La Rioja, están dados por: las galerías filtrantes ubicadas en el

cauce del río Sanagasta; las perforaciones que explotan el acuífero libre del valle de Sanagasta; los derrames provenientes del embalse Los Sauces; las perforaciones existentes en la ciudad de La Rioja que explotan el acuífero del cono aluvial homónimo y el acueducto proveniente del faldeo oriental de la sierra de Velasco, con un aporte poco significativo (Ferrés 2004 y Salvioli *et al.* 2005).

La hidrología superficial se ve reflejada en el faldeo oriental por una red de drenaje integrada, representada en el área por la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán y sus afluentes quebrada de Lino y quebrada del Viscal (Fig. 2). Ocasionalmente, en las cabeceras de los arroyos, presenta un escurrimiento superficial generalmente efímero que escurre por escaso trecho y se infiltra rápidamente a profundidad. A veces vuelve a aflorar sobre el curso del arroyo para infiltrarse completamente a

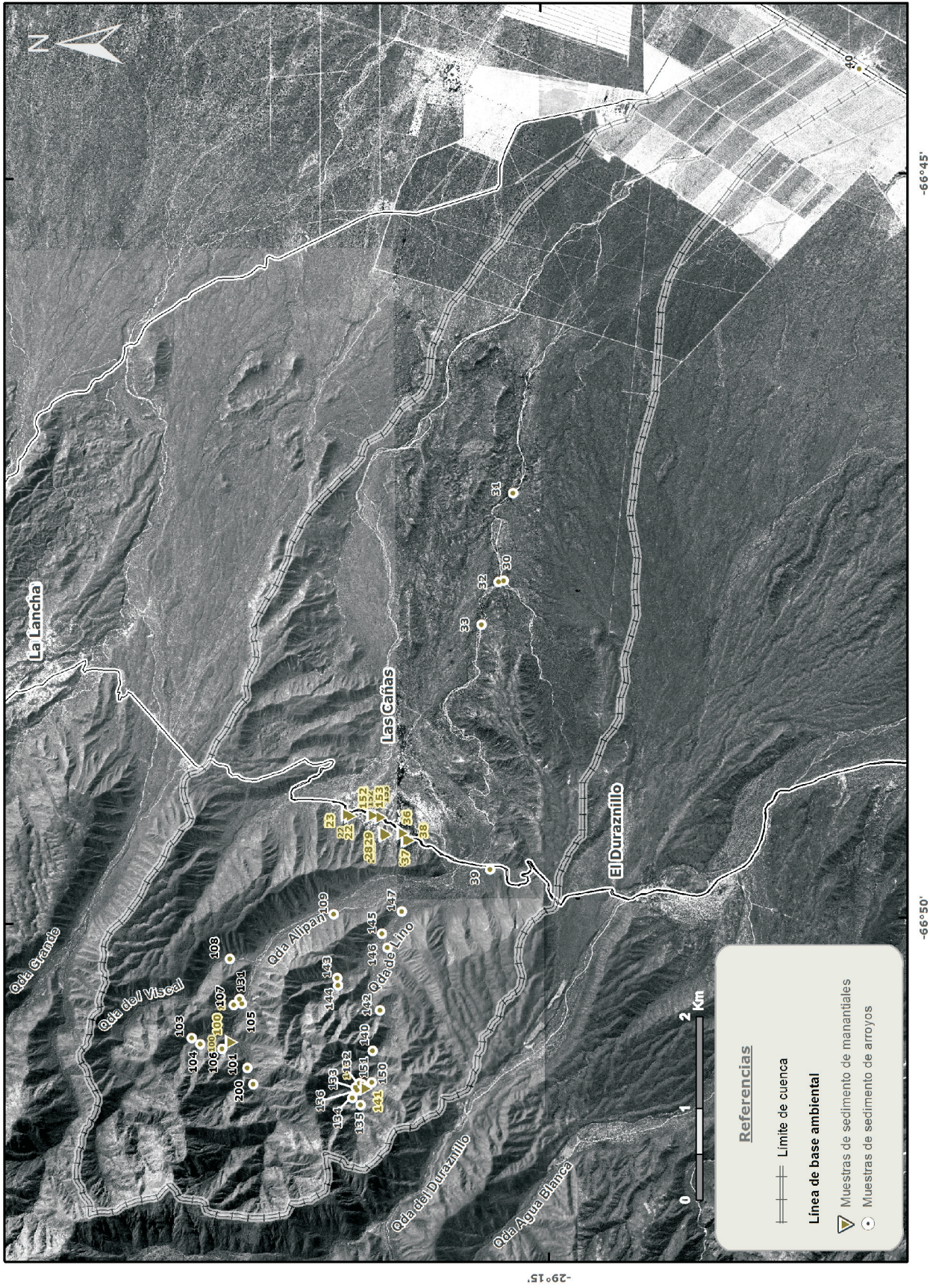


Figura 2: Plano de ubicación de muestras de sedimento, localizadas en el colector principal (quebrada Alipán) y sus afluentes quebrada de Lino y quebrada del Viscal.

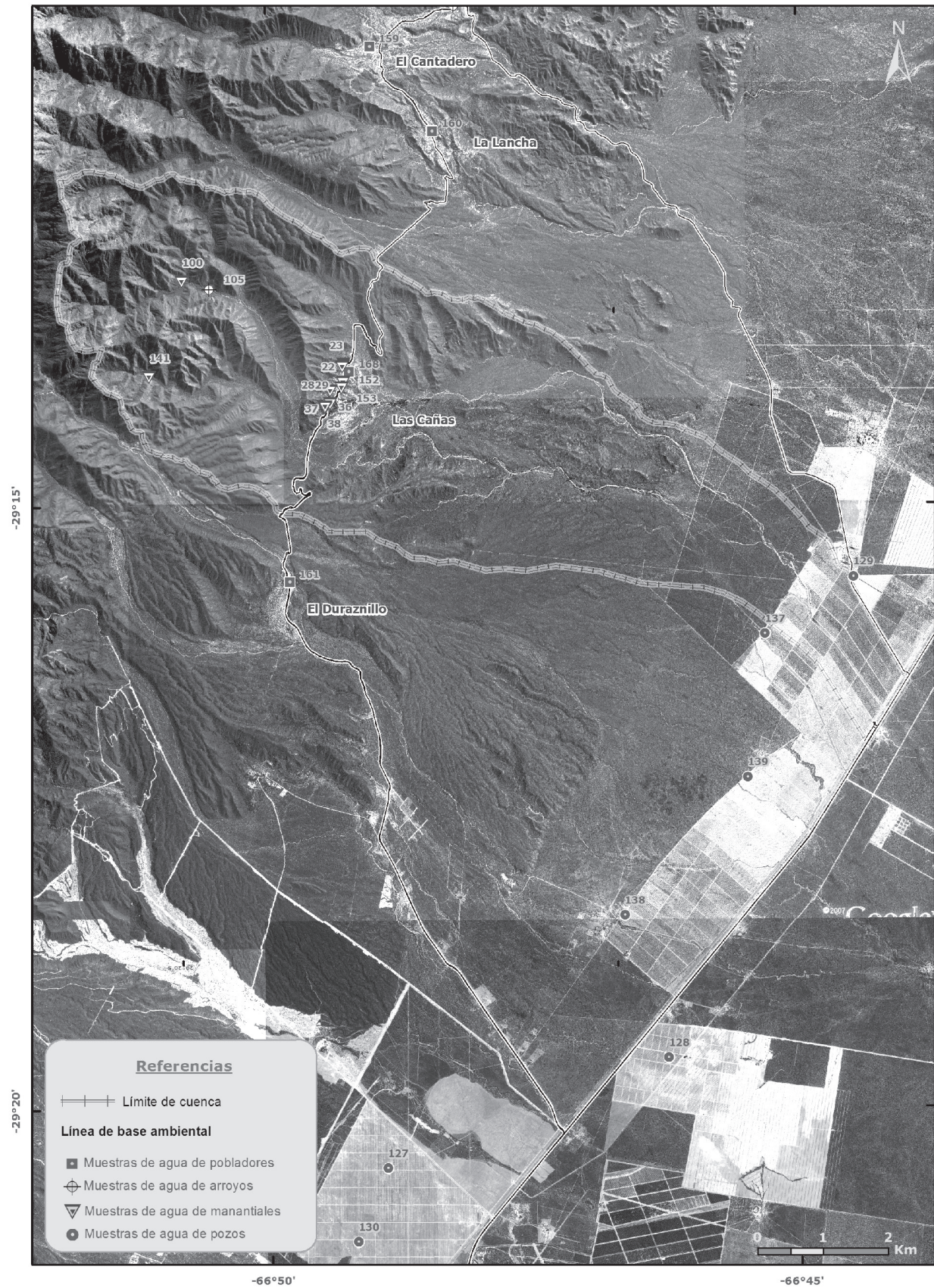


Figura 3: Plano de ubicación de muestras de agua, colectadas sobre la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán, zona de pobladores y agua subterránea (olivares).

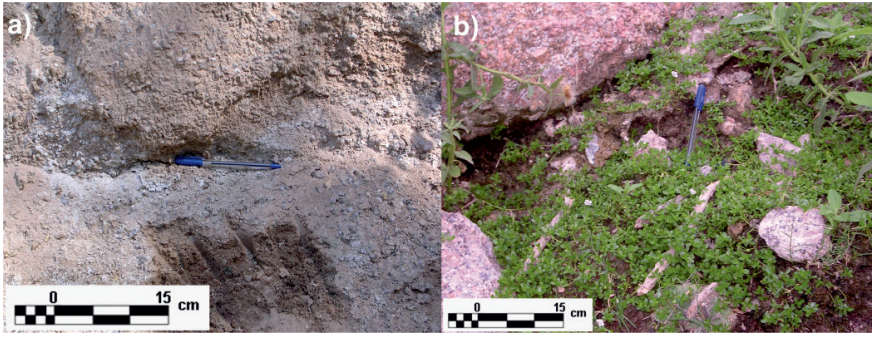


Figura 4: Fotografía de alumbramiento de manantiales asociados a cambio de facies.

medida que desciende por la ladera.

La hidrología subterránea se presenta compleja y, de acuerdo a Ferrés (2004) y Salvioli *et al.* (2005), con las baterías de sondeos realizadas para la explotación del recurso, las curvas equipotenciales trazadas reflejan un buen conocimiento general de la cuenca subterránea en estudio, pero no de los acuíferos atravesados, por lo que se infiere que se estarían explotando varios horizontes acuíferos diferentes (libres y semiconfinados).

Según Salvioli *et al.* (2005), las curvas equipotenciales se encuentran fuertemente distorsionadas por la importante extracción de agua subterránea para satisfacer requerimientos de agua potable. Para la época de ese estudio se postula que en el sector urbano, se han alterado las naturales direcciones divergentes del movimiento del agua subterránea en el complejo acuífero explotado, y se acredita que la dirección de escurrimiento es desde el sudoeste, oeste y sur hacia el centro del cono de depresión que se encuentra en la ciudad de La Rioja.

Las sierras de Velasco con un rumbo casi meridional, actúan como un cierre occidental para la cuenca, a la vez que constituyen un área de recarga para la misma. El faldeo oriental, en el área de trabajo y alrededores, conserva aspectos geomórficos similares, entre las características sobresalientes se pueden señalar:

La morfología del terreno marca una fuerte pendiente hacia el este que parte desde la cumbre con una cota absoluta de aproximadamente 2.500 m, descendiendo en unos 8 km, hasta los 700 m a la altura del camino que une El Cantade-

ro con el poblado El Duraznillo (Fig. 1). Continuando en dirección al este y luego de unos 10 km, en línea recta, se arriba a la altura de la ruta nacional N° 38 donde se alcanza una cota de 450 m.

El núcleo de la sierra es granito el cual, desde el punto de vista hidrogeológico, forma parte del grupo de rocas cristalinas que conforman acuífugos. La permeabilidad, de existir, sería secundaria.

Descendiendo por el faldeo oriental afloran metamorfitas las cuales, desde el punto de vista hidrogeológico, también son consideradas dentro del grupo de las rocas cristalinas. Aunque aquellas que poseen mayor fisilidad tendrían mayor probabilidad de permeabilidad secundaria. Sobre las metamorfitas se apoya un fanglomerado de características variables donde se intercalan niveles arcillosos, limosos y arenosos, con presencia de bloques de diferentes tamaños. Esta asociación puede conformar niveles permeables (presencia de limo, arena conteniendo bloques), o impermeable (presencia de arcilla). Los niveles permeables pueden dar lugar a formaciones acuíferas libres y cuando se intercalan entre los impermeables o semipermeables (acuitardos) conforman acuíferos confinados o semiconfinados.

Los manantiales que alumbran en el área del piedemonte tienen similares características: un nivel permeable, limo arenoso con presencia de bloques de diferentes tamaños por donde circula el agua, que suprayace a un nivel arcilloso impermeable que hace las veces de piso para la circulación. Asociado a este cambio de facies se facilita el alumbramiento del nivel de agua en superficie (Figs. 4a y b).

La presencia de estas geoformas y las características litológicas señaladas definen al área del flanco oriental de la sierra como zona de recarga para los acuíferos existentes en el sector del cono aluvial, siendo la zona de piedemonte la más favorable para la infiltración del fluido.

El comportamiento de los arroyos del flanco oriental de la sierra, es de carácter influente, indicativo de que el agua superficial recarga al acuífero del cono aluvial.

En algunas quebradas gran parte del agua es aprovechada, arroyos arriba, por estructuras de captación y luego por tubería es enviada para ser utilizada como agua para bebida humana de los pobladores de la zona y por parte de usuarios de la ciudad de La Rioja, siendo también utilizada para riego y abrevamiento de animales.

En el área de estudio, quebrada Alipán, no hay captación de agua para bebida humana, por lo que las vertientes (muestras M-100 y M-141; Fig. 3), solo son aprovechadas como bebida para animales y vida acuática. Ambos manantiales, una vez que alumbran, escurren por corto trecho y rápidamente se insumen, ocasionalmente pueden aflorar nuevamente sobre el curso del arroyo, pero la mayoría se infiltra en el piedemonte para recargar los acuíferos del cono aluvial.

METODOLOGÍA DE MUESTREO DE AGUA Y SEDIMENTOS

A efectos de relacionar el muestreo de línea de base ambiental con la hidrogeología de la zona, se realizó un muestreo de carácter estratégico (Figs. 2 y 3) que comprende: 1) Agua superficial y sedimento de escorrentía superficial contenidos en la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán, en la que se incluye las sub-cuencas de quebrada de Lino y quebrada del Visca; 2) Agua de los manantiales que alumbran cercano al poblado de Las Cañas, sobre el borde oeste del camino que une las localidades de El Cantadero con El Duraznillo (Figs. 1 y 3); 3) Agua de los pobladores colectada en una línea transversal a la dirección de flujo de la escorrentía superficial, con muestras representati-

vas de cada una de las áreas pobladas de mayor importancia; y 4) Agua subterránea colectada en la zona de explotación del recurso, correspondiente a fincas dedicadas al cultivo de olivares, que se encuentran en la dirección de escurrimiento de la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán.

La línea de base ambiental incluye un control físico-químico sobre la calidad de agua a nivel de manantiales, escurrimiento superficial, agua de pobladores y agua subterránea existentes en el cono aluvial y un estudio químico del sedimento de esorrentía superficial. Los parámetros físicos no serán analizados en esta contribución. Por otra parte, en la estrategia de muestreo se tuvo en consideración, para la obtención de la porción adecuada de muestra, los comportamientos hidrodinámicos de ríos y/o arroyos.

Muestreo de aguas y métodos analíticos

Las muestras fueron filtradas *in situ* usando un filtro con membrana millipore de 0,4 µm y guardadas en frascos de polietileno prelavados. Para el análisis de cationes la porción de cada muestra (100 ml), fue acidificada con 1 ml de solución al 50 % de HNO₃, pro-análisis. Paralelamente a 100 ml de agua desionizada se le hizo el mismo tratamiento que a las muestras procesadas, para establecer el blanco de reactivos. La porción para Ra226 (1000 ml), fue acidificada con 0,5 ml de solución al 50 % de HCl, pro-análisis. La porción para análisis de aniones (1000 ml), fue directamente preservada en el frasco. Todas las muestras fueron enviadas para su análisis al laboratorio de Geoquímica del Departamento Regional Cuyo, dependiente de la Gerencia Exploración de Materias Primas (GEMP) de la CNEA, ubicado en la ciudad de Godoy Cruz, provincia de Mendoza. Los cationes fueron determinados, en su mayoría, por el método de absorción atómica; U natural por fluorescencia láser; As por generador de hidruros; Ra226, por método de Rashing y Hg por vapor frío. Los aniones SO₄⁼ por gravimetría; Cl⁻, CO₃⁼ y HCO₃⁼ por volumetría, F⁻ por electrodo selectivo y

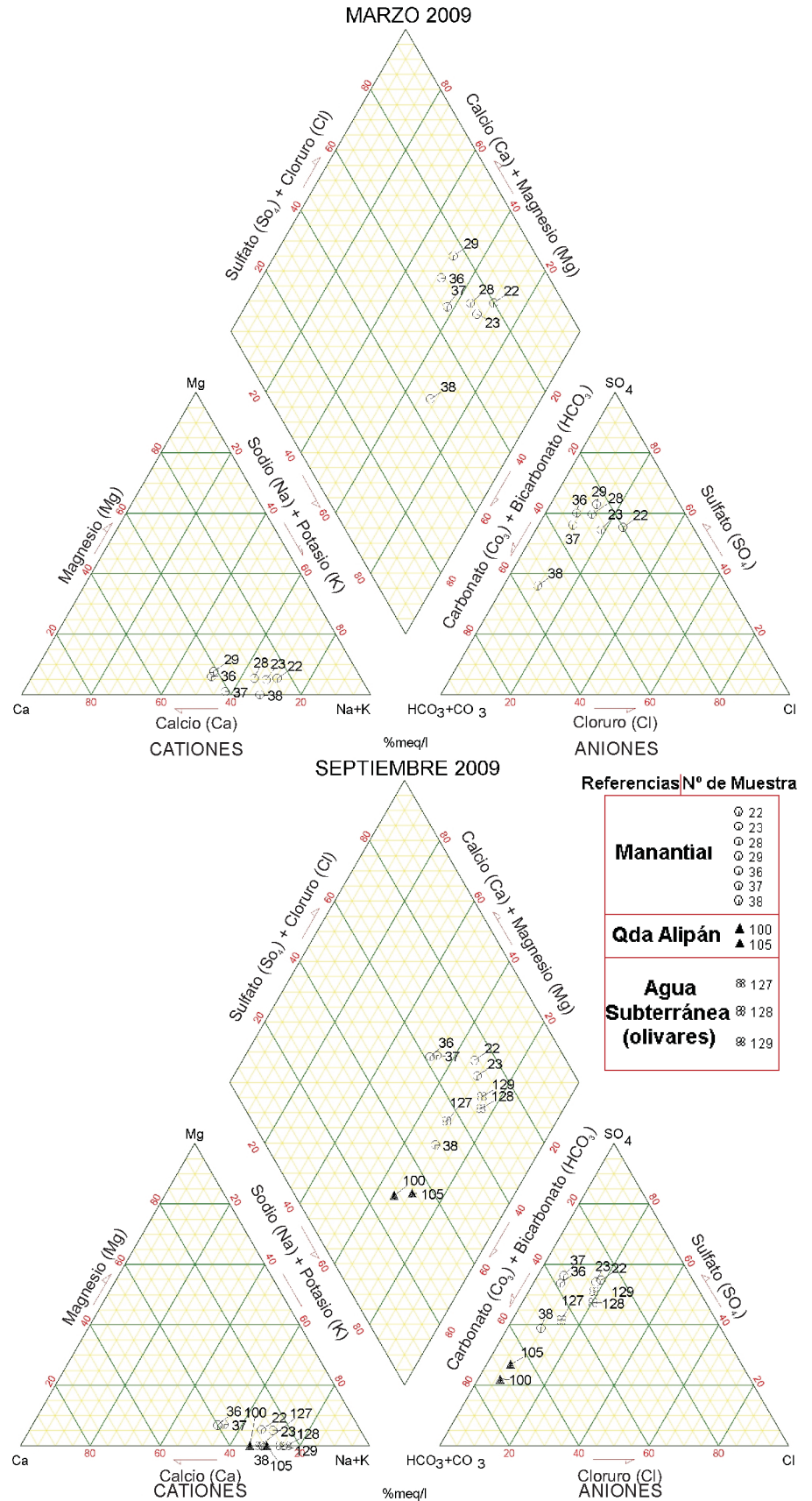
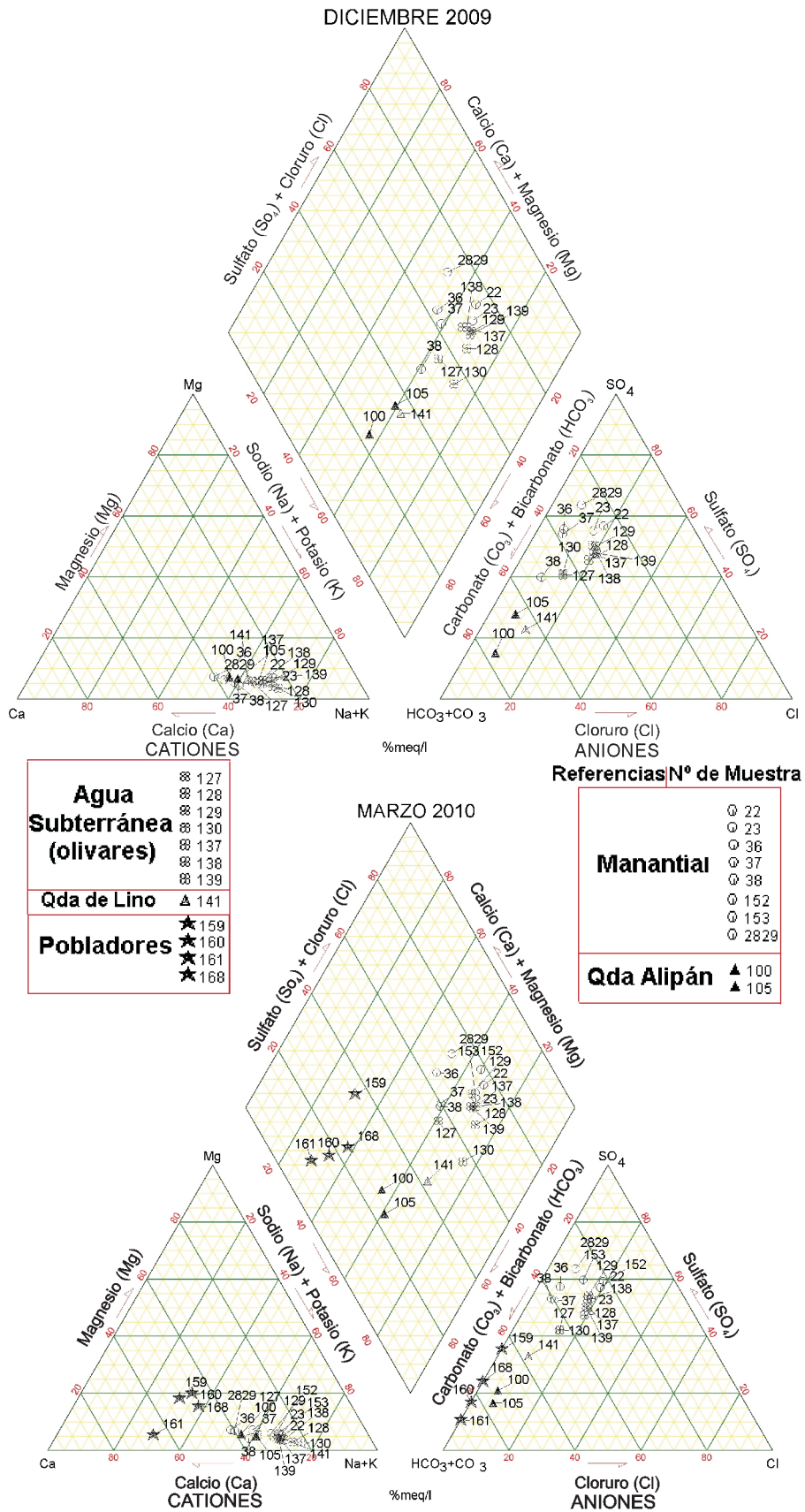


Figura 5: Diagrama de Piper. Calidad del agua Marzo 2009 y Septiembre 2009.



NO₃ - por absorción molecular. A efectos de lograr un mayor nivel de precisión en aquellos cationes cuyos límites de detección se encontraran por debajo de las concentraciones mínimas de detección requeridas por la aplicación de estas metodologías, en las campañas de septiembre y diciembre de 2009 y marzo y julio de 2010, los cationes fueron también analizados con el ICP Óptico (ICP-OES Perkin Elmer 400), lográndose de esta manera un mayor grado de detección. Por otro lado, para detectar aquellos analitos de bajas concentraciones, en las campañas de septiembre de 2009 y marzo y julio de 2010, una segunda porción de muestra para cationes fue colectada, para ser analizada en el laboratorio de DIOXITEK S. A., ubicado en el Complejo Fabril Córdoba, de la homónima provincia, a efectos de analizar las mismas con ICP-Masa (ICP-MS, DCCyE), mediante la técnica analítica de Espectrometría de Masas por Plasma de Acoplamiento, en razón de que los límites de detección son de rango superior a los definidos por los métodos empleados en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento Regional Cuyo.

Muestreo de sedimentos y métodos analíticos

Para las muestras de sedimentos, el procedimiento consistió en caracterizar el comportamiento hidrológico de los arroyos, considerando el material de arrastre y sus trazas de sedimentación. En general se trató de ubicar los sedimentos más recientes depositados, de granulometría más fina y que se encontraran en un radio cercano al punto georreferenciado. Una vez colocados en bolsas de polietileno adecuadas, fueron etiquetadas y transportadas al Laboratorio de Estudios Especiales del Departamento Prospección (GEMP, CNEA), donde fueron secadas y tamizadas a malla 100, para su posterior envío al Laboratorio de Geoquímica del Departamento Regional Cuyo. El U radimétrico fue determinado por los métodos Beta total y Gamma total; el U químico fue determinado por fluorescencia láser y los cationes por el método de absorción atómica. Para las campañas de

Figura 6: Diagrama de Piper. Calidad del agua Diciembre 2009 y Marzo 2010.

marzo y julio de 2010 y a efectos de lograr una mayor precisión en aquellos analitos de bajas concentraciones, se solicitó también una determinación a partir del ICP-óptico, ICP-OES (Perkin Elmer 400).

RESULTADOS

Calidad del agua

Zona de manantiales: De las siete muestras analizadas, para el mes de marzo de 2009, sobre los alumbramientos de manantiales que ocurren al costado del camino vecinal que une El Cantadero con El Duraznillo, seis puntos de muestreos no ofrecen mayores variaciones y son de características similares (Fig. 5). En otras palabras, son aguas de similar origen y por su composición iónica se identifica como sulfatada sódica, con bajo nivel de cloruros y bajo potasio.

Sin embargo la muestra M-38 (Figs. 3 y 5), obtenida hacia el sur del poblado de Las Cañas es de una composición bicarbonatada-sulfatada sódica con presencia de calcio. Esto conlleva a suponer que es un agua más joven, de menos recorrido que las anteriores o que geológicamente circula por terrenos con poco contenido de sales. En rasgos generales la geología es muy similar para toda la zona.

En las campañas del mes de septiembre de 2009 y diciembre de 2009, aunque con ligeras variaciones la calidad de agua se mantiene para los manantiales representados. Para el mes de marzo de 2010 (Fig. 6), la situación es muy similar a la observada, donde las aguas se identifican como sulfatadas sódicas con cierta presencia de calcio. Aunque las proporciones iónicas se siguen manteniendo en su generalidad, la muestra M-38 se identifica como sulfatada bicarbonatada sódica. Este comportamiento puede estar relacionado a la precipitación caída durante la época estival de 2010, superior a la observada en 2009. El incremento de la misma y su relación con el medio geológico pueden ocasionar una mayor incorporación de sulfatos. En este muestreo se incorporaron las muestras M-152 y M-153.

En julio de 2010 se reitera la situación observada en marzo, septiembre y diciem-

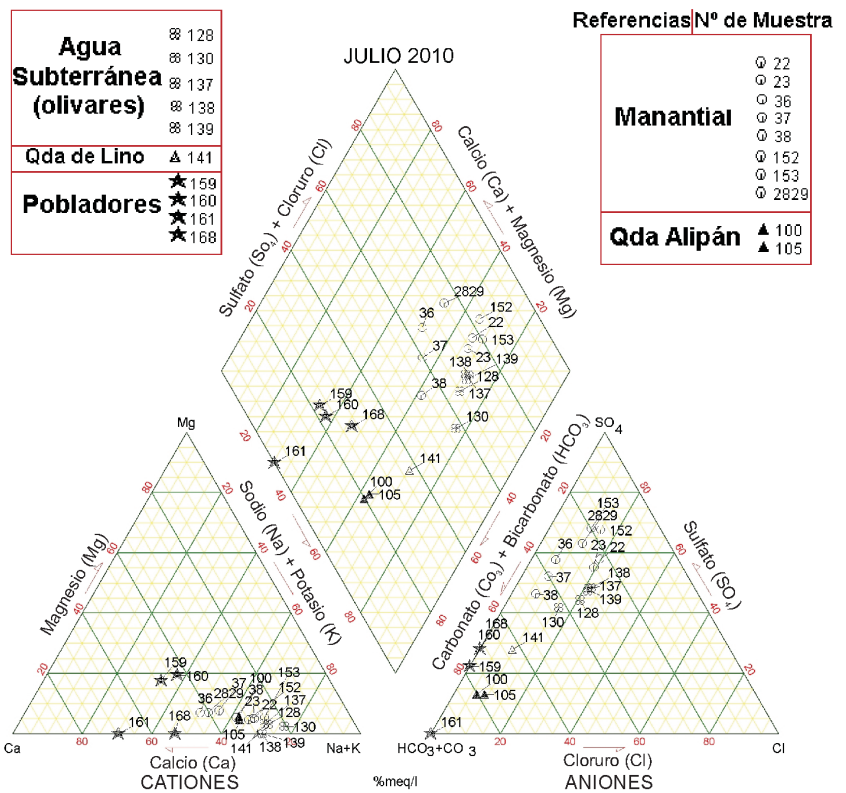


Figura 7: Diagrama de Piper. Calidad del agua Julio 2010.

CONCENTRACIONES QUÍMICAS EN MUESTRAS DE AGUA DE LAS QUEBRADAS ALIPÁN Y DE LINO

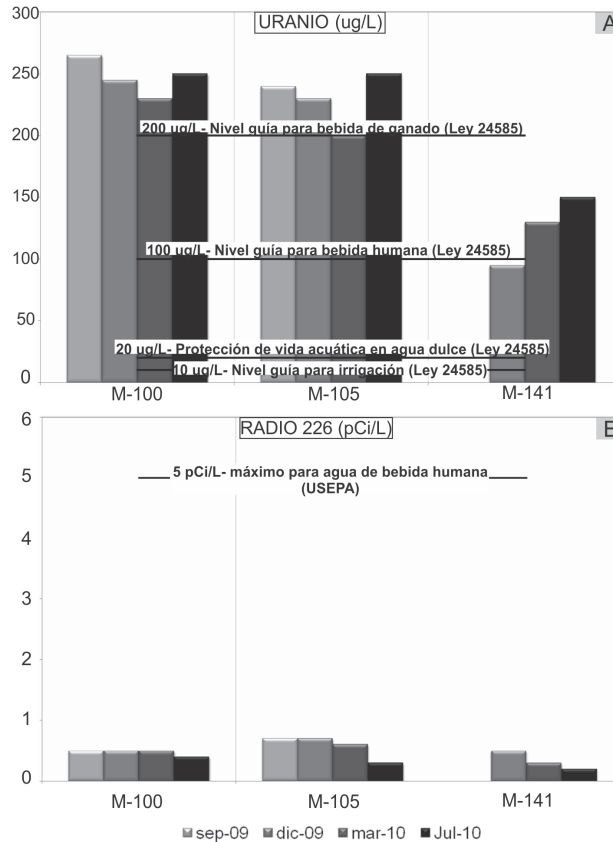


Figura 8: Perfiles de correlación de aguas de las quebradas Alipán y de Lino. a) Concentraciones de uranio (µg/L). b) Concentraciones de radio 226 (pCi/L).

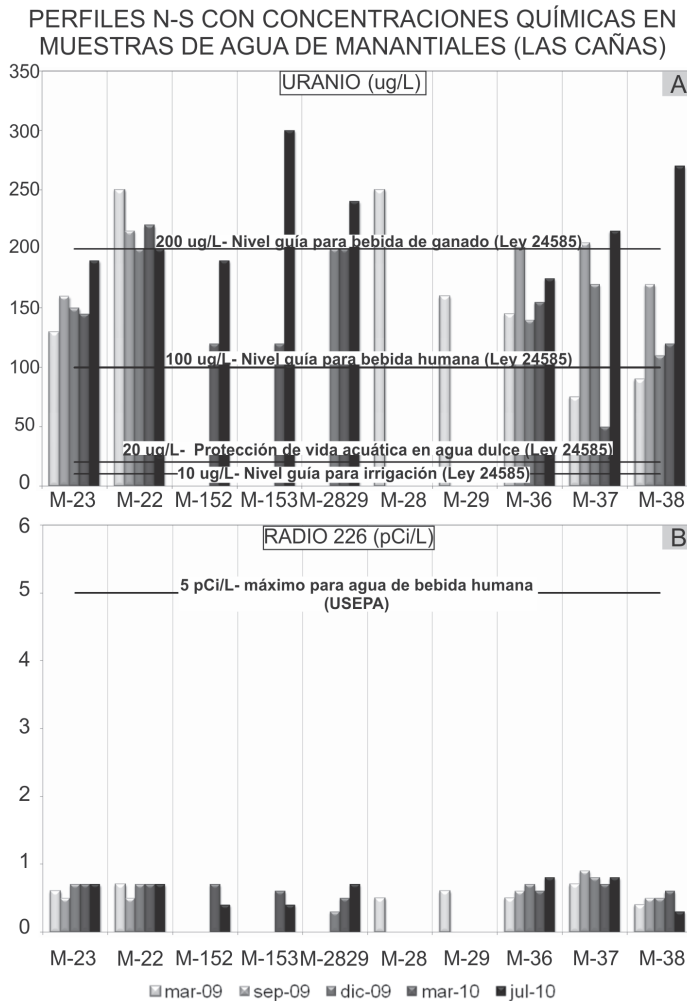


Figura 9: Perfiles de correlación de aguas de los manantiales del sector del poblado Las Cañas. a) Concentraciones de uranio (µg/L). b) Concentraciones de radio 226 (pCi/L).

ro, La Lancha, Las Cañas y El Duraznillo. El agua no es de pozo sino que se trae por cañería desde la parte alta de la sierra, por tal motivo no representa el lugar físico de la muestra pero se debe considerar a los efectos de representar el agua que actualmente se está consumiendo en la zona. En el muestreo realizado para el mes de marzo de 2010, y de acuerdo al diagrama de Piper, las muestras M-160 (La Lancha), M-168 (Las Cañas) y M-161 (El Duraznillo), tienen comportamientos similares y son aguas bicarbonatadas cálcicas, con algo de sodio y escaso sulfato. Mientras que la muestra M-159 (El Cantadero) es bicarbonatada cálcica pero con mayor contenido de sulfato y algo de sodio.

En el muestreo realizado en julio de 2010, las muestras M-159, M-160 y M-168, tienen comportamientos similares, identificándose como aguas bicarbonatadas, cálcicas, sódicas con bajo contenido en sulfato. Mientras que la muestra M-161 se presenta como bicarbonatada, cálcica, sódica, sin tener significativo de sulfato. Las variaciones observadas responden: para el muestreo de marzo, al aporte de la quebrada Las Cañas con incidencia en la muestra M-159, mientras que para el de julio al de la quebrada El Duraznillo con incidencia en la muestra M-161.

Zonas de agua subterránea (olivares): La calidad del agua subterránea no se ve mayormente afectada por los cambios estacionales, presentando variaciones mínimas muy puntuales en las diferentes campañas realizadas, que no acreditan cambios significativos en la calidad de agua. Para todas las estaciones del año hidrológico es sulfatada-bicarbonatada sódica, con poco cloruro y calcio (Figs. 6 y 7). Del muestreo realizado se observa para el acuífero, una degradación del bicarbonato y enriquecimiento en sulfato en dirección al norte. Es probable que, en esta zona, exista una dirección de flujo distinta a la observada por Salvioli *et al.* (2005), en la zona de la ciudad cercana al cono de explotación.

Perfiles de correlación de aguas

Se construyeron perfiles de correlación con los datos de análisis obtenidos en ca-

bre de 2009 y las aguas resultan sulfatadas sódicas con presencia de bicarbonatos.

Zona quebrada Alipán: El muestreo de agua de esta quebrada fue incorporado una vez descubierta la anomalía. El primer muestreo fue realizado en septiembre de 2009 (Fig. 5); las muestras fueron colectadas: en un manantial que alumbra cerca del contacto granito-metamorfita, muestra M-100 y a unos 400 m arroyo abajo de la anterior la M-105. Ambas muestras responden a la misma calidad de agua, identificándose como bicarbonatada sódica, con escasa incorporación de sulfatos, cloruros y potasio.

Esta situación se repite para la campaña de diciembre de 2009, pero se ve levemente modificada en los muestreos de marzo y julio de 2010, donde hay un leve enriquecimiento en bicarbonato y una disminución del sulfato en la muestra M-105 (Figs. 6 y 7).

Zona quebrada de Lino: el muestreo de esta quebrada fue incorporado en la campaña de diciembre de 2009 (Fig. 6) y corresponde a la muestra M-141. Su agua se identifica como bicarbonatada sódica cálcica. Durante marzo de 2010, se verifica un comportamiento similar en cuanto a sus componentes iónicos principales, tratándose de un tipo bicarbonatada sódica con algo de sulfato y escaso calcio y potasio. La situación se mantiene, con ligeras variaciones en el muestreo de julio de 2010 (Fig. 7).

Zona de pobladores: El muestreo a pobladores de la zona fue incorporado en la campaña de marzo de 2010. Las muestras fueron colectadas en viviendas ubicadas a lo largo del camino que une los poblados de El Cantadero y El Duraznillo. Representa el agua para bebida de la mayoría de los centros poblados existentes en la zona habiéndose muestreados los de: El Cantade-

da campaña a efectos de visualizar la situación “sin acción” sobre los manantiales, cursos de aguas, aguas de pobladores y agua subterránea.

En la confección de la línea de base ambiental se han tenido en cuenta los iones que superan los límites y niveles guía recomendados por la Ley Nacional N° 24.585, en cuanto a agua para bebida humana, para bebida de ganado, para irrigación y para la protección de vida acuática en agua dulce. Por otro lado se considera también el Código Alimentario Argentino (CAA) y la Guía de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), para aquellos iones en los cuales no se tiene legislación vigente en nuestro país.

Los analitos que se incluyen en la línea de base ambiental son uranio, radio 226, sulfato, fluoruro, nitrato, arsénico, hierro, molibdeno, boro, cromo, manganeso, berilio, plomo, mercurio, níquel, vanadio y cobre. En esta contribución se tratarán aquellos analitos que son de interés en esta actividad minera (uranio y radio). Teniendo en cuenta el uso del agua se mencionan otros que superan los límites y niveles guía recomendados por la normativa vigente, pero no se analizan en este trabajo.

Muestras de quebrada Alipán y de Lino: Todas las muestras analizadas por uranio (Fig. 8a) superan el nivel guía para irrigación (10 µg/L) y para protección de vida acuática en agua dulce (20 µg/L). También superan el nivel guía para bebida humana de 100 µg/L, exceptuando la muestra M-141 en la campaña de diciembre de 2009. Las muestras M-100 y M-105 superan, en todas las épocas, el nivel guía para bebida de ganado de 200 µg/L.

El radio 226 (Fig. 8b), se encuentra muy por debajo del límite (5 pCi/L) establecido, para agua de bebida humana, por la USEPA.

El uso principal del agua, de ambas quebradas, es para bebida de ganado y/o vida acuática, teniendo en cuenta esto y los niveles guía establecidos por la normativa vigente se han detectado, para algunas muestras, otros analitos que los sobrepasan: fluoruro, cromo, manganeso, níquel,

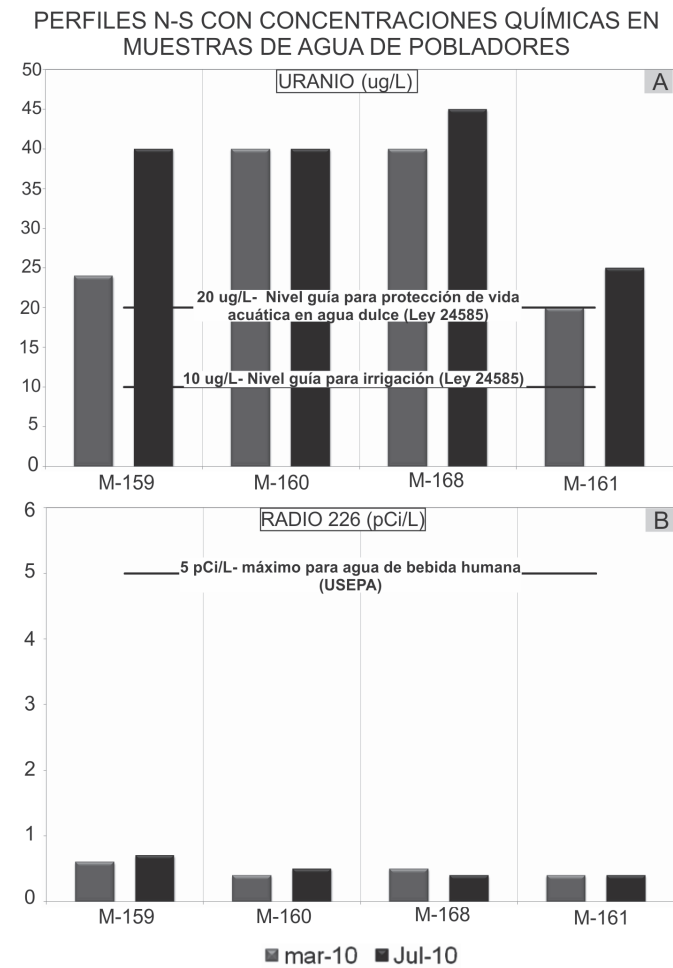


Figura 10: Perfiles de correlación de aguas de los pobladores. a) Concentraciones de uranio (µg/L). b) Concentraciones de radio 226 (pCi/L).

mercurio, cobre y plomo.

Muestras de manantiales: Para el caso del uranio (Fig. 9a) todos los manantiales superan en todos los muestreos los niveles guías para protección de vida acuática e irrigación. También supera la mayoría de las muestras, el nivel guía para bebida humana, exceptuando: la M-37 para las campañas de marzo de 2009 y marzo de 2010 y la M-38 para marzo de 2009, las cuales presentan un comportamiento diferente que las incluye debajo del límite establecido por ley.

Exceptuando las muestras: M-22, M-153 para las campaña de julio de 2010, M-2829 para las de julio de 2010, M-28 para marzo de 2009, M-36 para septiembre de 2009, M-37 para septiembre de 2009 y julio de 2010 y M-38 para julio de 2010, cuyos resultados analíticos sobrepasan el nivel guía para bebida de ganado de 200 µg/L, todas las colectadas, en los demás períodos, se encuentran dentro del

límite establecido por la ley.

Con respecto al radio 226 (Fig. 9b) se toma como referencia el valor fijado por la USEPA, de 5 pCi/L. Todas las muestras de la zona de manantiales están muy por debajo del valor guía fijado por ley en todas las campañas realizadas.

El agua de los manantiales, cuyo principal uso es para bebida de ganado y/o vida acuática, contiene, en algunos sectores, concentraciones de fluoruro, boro, cromo, manganeso, níquel, mercurio y cobre, superiores a los niveles guías recomendados en la Ley Nacional N° 24585.

Muestras de pobladores: La concentración de uranio (Fig. 10a) en el agua de los pobladores supera el nivel guía para irrigación (10 µg/L) y el nivel guía para protección de vida acuática en agua dulce (20 µg/L), exceptuando la medición de marzo de 2010 para la muestra M-161, donde se obtuvo una valor muy próximo a los 20 µg/L.

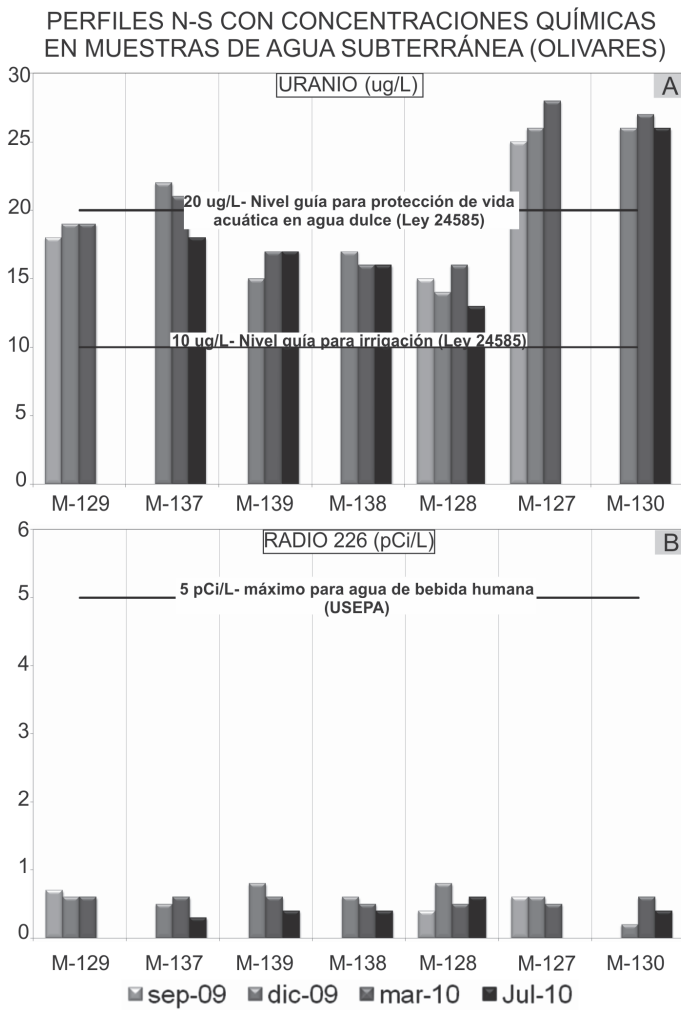


Figura 11: Perfiles de correlación de aguas subterráneas correspondientes a los olivares. a) Concentraciones de uranio (µg/L). b) Concentraciones de radio 226 (pCi/L).

El radio 226 (Fig. 10b), se encuentra muy por debajo del límite (5 pCi/L) establecido, para agua de bebida humana, por la USEPA.

A su vez, el agua consumida por los pobladores supera el nivel guía recomendado para bebida humana (Ley Nacional N° 24.585) y/o el límite recomendado por el CAA, para los siguientes analitos: fluoruro, níquel, hierro y berilio.

Muestras de agua subterránea (olivares): Todas las muestras analizadas por uranio (Fig. 11a) superan el nivel guía para irrigación (10 µg/L), de la Ley Nacional N° 24.585. También se supera el nivel guía para protección de vida acuática en agua dulce (20 µg/L), en las muestras M-127 y M-130 y en la M-137 en las campañas de diciembre de 2009 y marzo de 2010.

El radio 226 (Fig. 11b) es muy inferior al límite (5 pCi/L) establecido, para agua de bebida humana, por la USEPA.

El agua subterránea extraída de pozos de los olivares supera los niveles guía para irrigación y/o para bebida humana y/o el límite recomendado por el CAA en el caso de los siguientes analitos: fluoruro, arsénico, hierro, níquel, nitratos, molibdeno y uranio.

Perfiles de correlación de sedimento de escorrentía superficial

Se realizaron perfiles de correlación para visualizar el comportamiento químico de los distintos analitos en sedimento a través del cauce principal y de los afluentes que aportan el material al mismo. Dichos perfiles fueron realizados para las diferentes quebradas.

Como no se tiene legislación nacional para el sedimento de la escorrentía superficial, los datos químicos de las muestras de sedimento se comparan con los valores guía de calidad de suelos (ppm peso seco) establecidos en el Anexo IV de la Ley Nacional N° 24.585.

Quebrada Alipán: Sobre el perfil NO-SE del analito uranio total (Fig. 12) no se observan aportes de importancia de los afluentes que inciden sobre el colector principal. El mayor aporte proviene de la muestra M-100, manantial próximo a la anomalía de uranio, y se ve nuevamen-

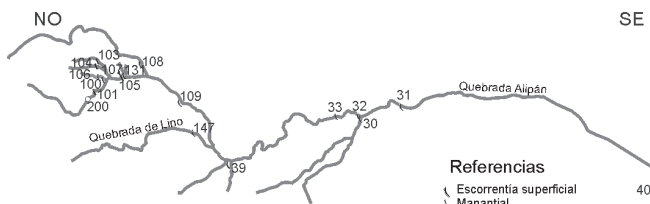
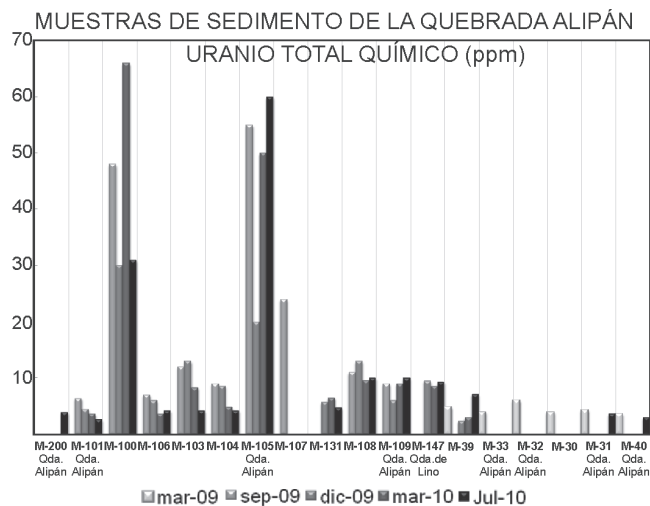


Figura 12: Concentraciones de uranio total para muestras de sedimento de la quebrada Alipán. Esquema en planta de la quebrada Alipán y de los afluentes de la misma muestreados.

te reflejado sobre el cauce en la M-105. Aguas abajo el contenido de uranio es de tenor bajo. Hay pequeñas variaciones en la concentración de acuerdo a las diferentes campañas realizadas.

Para el caso del cobre (Fig. 13) el perfil realizado NO-SE, ofrece un llamativo aumento en la concentración para la campaña de marzo de 2010, cercano al límite de 150 ppm recomendados para suelos de uso agrícola, por la Ley Nacional N° 24.585. La quebrada de Lino impacta sobre el cauce principal con concentraciones más elevadas que se ven diluidas arroyo abajo de la confluencia.

En el perfil NO-SE del analito boro (Fig. 14), se observa un llamativo aumento en dirección de la pendiente, probablemente por el aporte de la quebrada de Lino y de los otros afluentes. Para el muestreo de julio de 2010, la concentración de este analito superó el nivel guía para suelo de uso agrícola (2 ppm).

El perfil de igual sentido realizado para el arsénico (Fig. 15) presenta, para la campaña de julio de 2010, un comportamiento uniforme tanto en cabecera del arroyo Quebrada Alipán como aguas abajo del mismo. Sin embargo, en la parte media del curso, se presenta una zona de mayor concentración ubicada en la cercanía de la afluencia del arroyo Quebrada de Lino, donde la muestra M-109 sobrepasa el nivel guía para suelos de uso agrícola, 20 ppm según la Ley Nacional N° 24.585. Un poco más adelante de la posición de la citada muestra, se encuentra el afluente mencionado (M-147) cuyo valor también está por encima del nivel recomendado.

Quebrada de Lino: Sobre el perfil O-E del analito uranio total (Fig. 16), no se observan contribuciones de importancia de los afluentes que inciden sobre el colector principal, exceptuando el que contiene a la muestra M-141, que corresponde a un manantial con alto contenido de uranio en agua. Para el caso del cobre (Fig. 17), el perfil realizado O-E ofrece un llamativo aumento en la concentración para la M-141 para la campaña de diciembre de 2009, que sobrepasa el nivel guía de 150 ppm recomendado para suelos de uso agrícola por la Ley Nacional N° 24.585. Si

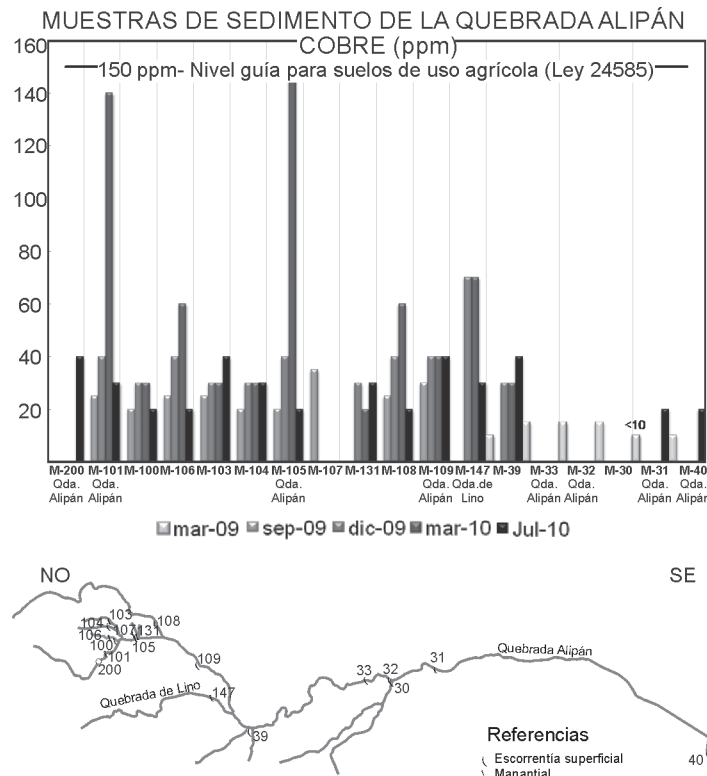


Figura 13: Concentraciones de cobre para muestras de sedimento de la Quebrada Alipán. Esquema en planta de la quebrada Alipán y de los afluentes de la misma muestreados.

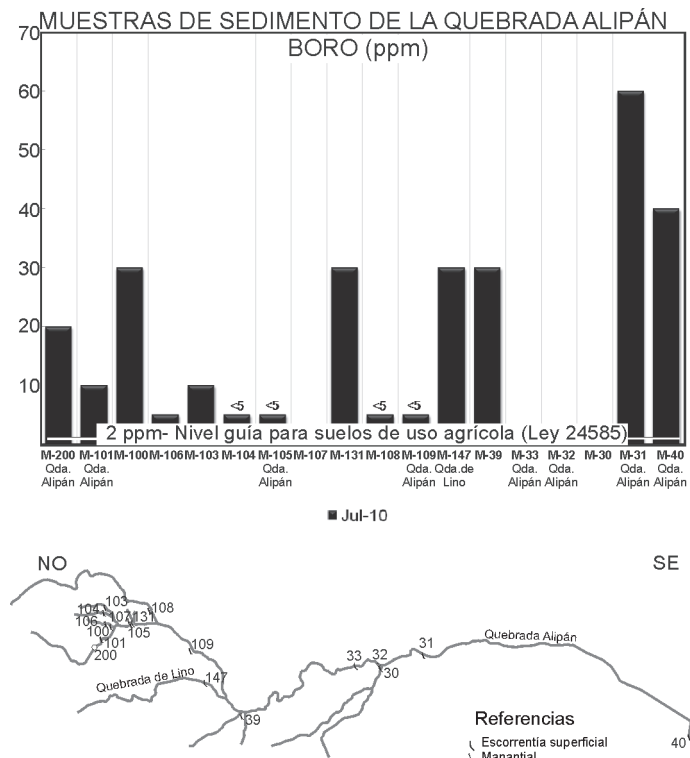


Figura 14: Concentraciones de boro para muestras de sedimento de la quebrada Alipán. Esquema en planta de la quebrada Alipán y de los afluentes de la misma muestreados.

bien hay cierta variabilidad de incidencia de los afluentes, todos se encuadran por debajo del nivel guía.

El perfil O-E del analito boro para julio 2010 (Fig. 18), presenta un comportamiento similar a la quebrada Alipán, un

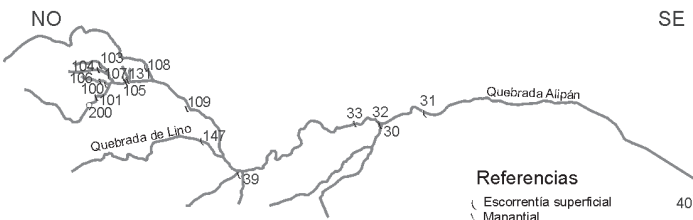
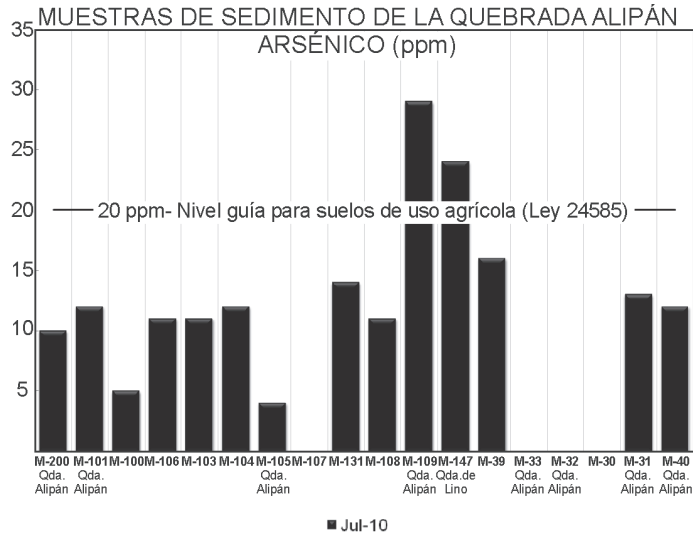


Figura 15: Concentraciones de arsénico para muestras de sedimento de la quebrada Alipán. Esquema en planta de la quebrada Alipán y de los afluentes de la misma muestreados.

uso agrícola (2 ppm), de acuerdo a la Ley Nacional N° 24.585. El perfil realizado O-E, para el arsénico (Fig. 19) ofrece, para la campaña de julio de 2010, un comportamiento uniforme tanto en cabecera de la cuenca como en la parte de descarga de la misma, con una baja concentración en su parte media. Las muestras M-135, M-143, M-145 y M-147, sobrepasan el nivel guía de 20 ppm para suelos de uso agrícola, según la citada Ley.

CONCLUSIONES

- Los datos que esta contribución presenta permite caracterizar el estado “sin acción” de las variables analizadas para la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán y alrededores en agua y sedimento de escorrentía superficial, previa a las actividades exploratorias.

- La red de drenaje del faldeo oriental de la sierra de Velasco es integrada y el sistema hídrico superficial que afecta al área está constituido por la cuenca hidrográfica de la quebrada Alipán y sus afluentes de quebrada de Lino y quebrada del Viscal.

- La hidrología subterránea se presenta compleja y según la bibliografía consultada se tiene un buen conocimiento de la cuenca subterránea pero no de los acuíferos atravesados, por lo que se infiere que se estarían explotando varios horizontes acuíferos diferentes (libres y semiconfinados).

- La geología predominante en el área es granito, metamorfitas y fanglomerado. Las dos primeras litologías consideradas, en el marco de las rocas cristalinas, impermeables y la última de características permeables con condiciones aptas para alojar acuíferos.

- La zona de manantiales, cercano al poblado de Las Cañas, presenta aguas que se identifican, predominantemente, como sulfatadas sódicas, con bajo nivel de cloruros y bajo potasio.

- En la zona de Quebrada Alipán se distinguen aguas bicarbonatadas sódicas, con escasa incorporación de sulfatos, cloruros y potasio.

- La muestra de agua recolectada en la quebrada de Lino se identifica, predomi-

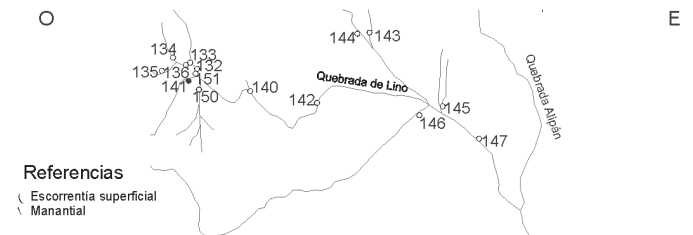
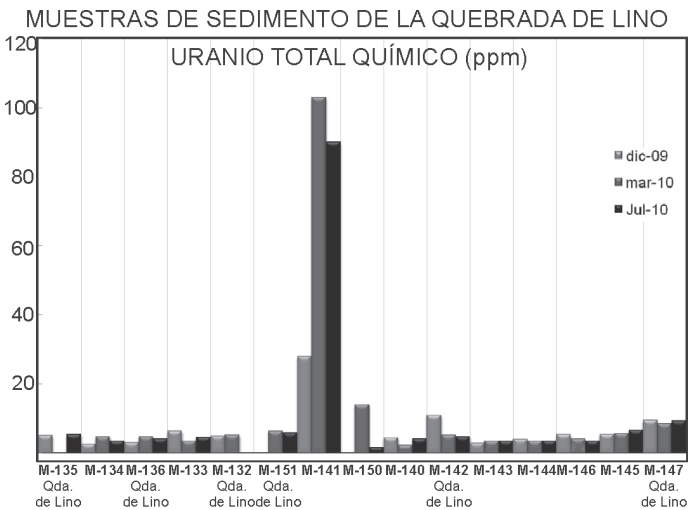


Figura 16: Concentraciones de uranio total para muestras de sedimento de la quebrada de Lino. Esquema en planta de la quebrada y de sus afluentes muestreados.

aumento en dirección de la pendiente con aporte de cierto interés de los afluentes al colector principal. Si bien no se tienen

datos ajustados para las muestras M-135, M-151, M-141 y M-142, todas las analizadas superan el nivel guía para suelo de

nantemente, como bicarbonatada sódica-cálcica.

- Las aguas de pobladores clasifican, principalmente, como bicarbonatadas cálcicas observándose leves modificaciones en los distintos muestreos.

- El agua subterránea (olivares), para todas las estaciones del año hidrológico, se identifica como sulfatada-bicarbonatadas sódicas, con poco cloruro y calcio.

- En la zona de olivares (monitoreo de pozos), se observa una disminución en el tenor del bicarbonato y enriquecimiento en sulfato en dirección al norte. Es probable que, en esta zona, exista una dirección de flujo distinta (hacia el norte), a la mencionada para los alrededores de la ciudad.

- Los valores de radio 226 hallados, para todas las muestras, se encuentra muy por debajo del límite establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para agua de bebida humana.

- En cuanto al uranio, las muestras de las quebradas Alipán y de Lino, superan el nivel guía para irrigación y para protección de vida acuática en agua dulce (Ley Nacional N° 24.585). Excepcionalmente superan el nivel guía para bebida humana de dicha ley. Las muestras de agua que representan a la quebrada de Alipán superan también, en todas las épocas, el nivel guía para bebida de ganado.

- Para los manantiales del poblado Las Cañas, los valores de uranio hallados, superan los niveles guías para protección de vida acuática en agua dulce e irrigación (Ley Nacional N° 24.585). También superan, la mayoría de las muestras, el nivel guía para bebida humana. Sólo algunas de las muestras, en algunos períodos, sobrepasan el nivel guía para bebida de ganado.

- La concentración de uranio en el agua de los pobladores supera el nivel guía para irrigación y, con algunas excepciones, el nivel guía para protección de vida acuática en agua dulce (Ley Nacional N° 24.585).

- El agua de los olivares, analizadas por uranio, superan el nivel guía para irrigación de la Ley Nacional N° 24.585. En algunos casos, también se supera el nivel guía para protección de vida acuática en agua dulce.

- El sedimento de la quebrada Alipán,

MUESTRAS DE SEDIMENTO DE LA QUEBRADA DE LINO

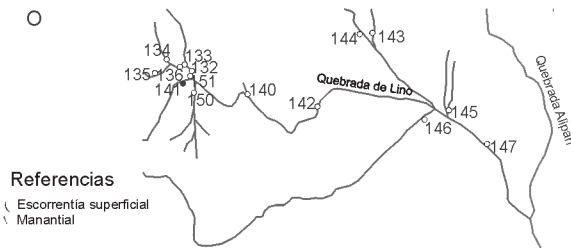
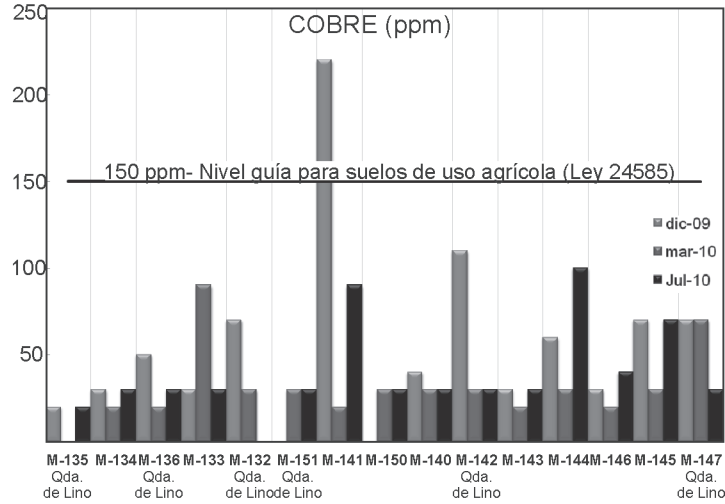


Figura 17: Concentraciones de cobre para muestras de sedimento de la quebrada de Lino. Esquema en planta de la quebrada y de sus afluentes muestreados.

MUESTRAS DE SEDIMENTO DE LA QUEBRADA DE LINO

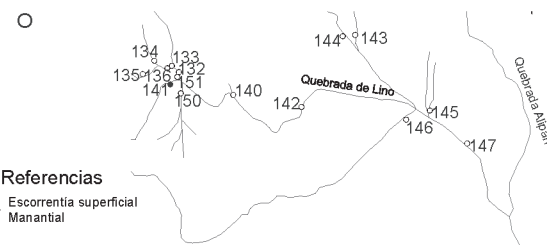
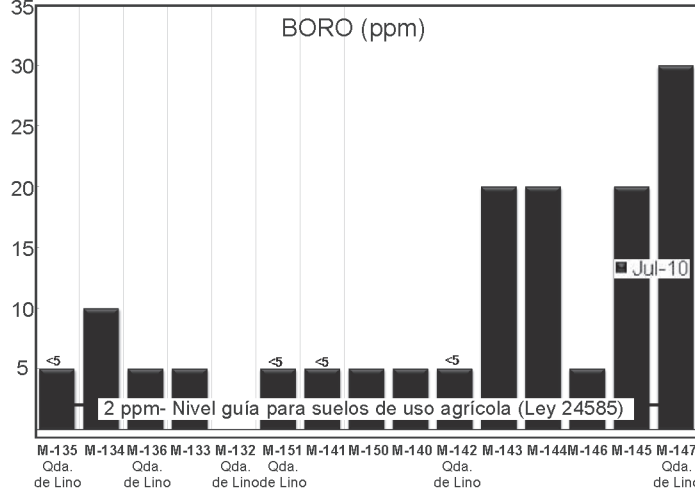


Figura 18: Concentraciones de boro para muestras de sedimento de la quebrada de Lino. Esquema en planta de la quebrada y de sus afluentes muestreados.

analizado por uranio total, no detecta aportes de importancia de los afluentes que inciden sobre el colector principal. El mayor aporte proviene del manantial que

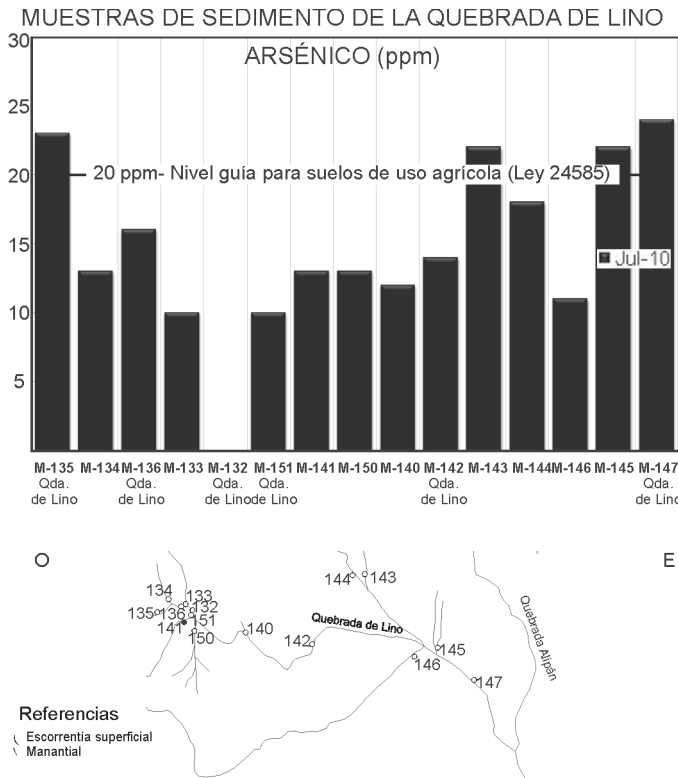


Figura 19: Concentraciones de arsénico para muestras de sedimento de la quebrada de Lino. Esquema en planta de la quebrada y de sus afluentes muestreados.

alumbrado próximo a la anomalía de uranio (M-100), y se ve nuevamente reflejado sobre el cauce en la muestra M-105. Para el cobre se observa que la quebrada de Lino impacta sobre el cauce principal con una concentración más elevada que el resto de los afluentes pero la misma se ve diluida arroyo abajo de la confluencia. Para el boro, se presenta un llamativo aumento en dirección de la pendiente, probablemente se deba al aporte proveniente de la quebrada de Lino y de los otros afluentes. Para el arsénico se observa un comportamiento uniforme tanto en cabecera del arroyo quebrada Alipán como aguas abajo del mismo. Sin embargo, en la parte media del curso, se presenta una zona de mayor concentración en las cercanías de la afluencia del arroyo Quebrada de Lino.

- Para la quebrada de Lino, el uranio total en sedimento no detecta aportes de importancia de los afluentes que inciden sobre el colector principal, a excepción del que proviene del manantial de esta quebrada. Para el cobre, se presenta un llamativo aumento en su concentración en el manantial para la campaña de diciembre de 2009. Si bien hay variabilidad de aporte por parte de los afluentes, todos se

encuadran por debajo del nivel guía recomendado. El boro presenta un aumento en dirección de la pendiente con aporte de cierto interés de los afluentes. Para el arsénico se observa igual comportamiento en la cabecera de la cuenca como en la parte de descarga de la misma, con una baja concentración en su parte media.

- Todos los valores encontrados responden a condiciones naturales, sin acción antrópica por parte de la CNEA.

AGRADECIMIENTOS

A la Gerencia Exploración de Materias Primas por permitir presentar esta contribución; a los compañeros del Departamento Regional Centro 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

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) 2009. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA

Number 822-R-09-011 (ES UN INFORME INEDITO??) 12 p., Washington, DC.

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, Buenos Aires.

Ferrés, C. J. 2004. Diseño y operación de una red de control de la evolución química del agua subterránea en las cuencas del cono aluvial de la Rioja capital y bañados de los pantanos-Machigasta. Informe técnico, Convenio Gobierno de la Rioja INA_CRAS, Acta complementaria n° 3 y 10, 32 p., San Juan.

Ley Nacional N° 24.585, Título Complementario de Protección Ambiental para la Actividad Minera del Código de Minería publicada en el Boletín Oficial el 14 de Abril de 1995.

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.

Nievas, H.O., Pizzio, F., Ferri, F.O., Alvarez, J.O. 2010. Línea de base ambiental de agua y sedimento de escorrentía superficial para la Quebrada Alipán, faldeo oriental de la sierra de Velasco, provincia de La Rioja. Informe interno, Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 66 p., Buenos Aires.

Salvioli, G. H., Luna, P., Poblete, M., Gianni R. 2005. Diagnóstico expeditivo del estado actual de la piezometría y extracción de agua subterránea en el cono aluvial del río de la Rioja. Documento interno, Convenio Gobierno de la Rioja INA_CRAS, 26 p., San Juan.

Stelzner, A., 1873. Comunicaciones al profesor H.B. Geinitz Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Ibidem 1873: 726-746. Traducido por Kittl, R. 1966 en Academia Nacional de Ciencias, boletín 45: 115-150, Buenos Aires.

Recibido: 19 de febrero, 2013
 Aceptado: 14 de mayo, 2013