



## TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA  
DE LA CUENCA DEL RÍO ANDALGALÁ  
PROVINCIA DE CATAMARCA – REPÚBLICA ARGENTINA**

## AUTORA

**Miriam Ysabel Cisternas**

	<b>Esta edición ha sido realizada en 2010</b>
Director	Manuel Olías Álvarez
Co-directora	Margarita Hidalgo
Curso	Programa de Doctorado Interuniversitario en Ingeniería Ambiental (Universidad Internacional de Andalucía / Universidad de Huelva)
Bienio	2005-2007
ISBN	978-84-7993-158-2
©	Miriam Ysabel Cisternas
©	Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 2.5 España

Usted es libre de:

- copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial** . No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor .*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

**CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA  
DEL RÍO ANDALGALÁ – Provincia de Catamarca –  
República Argentina**

**Tesista:** Miriam Ysabel Cisternas Moreno

**Línea de Investigación:** Hidroquímica y contaminación de agua

**Director:** Manuel Olias Alvarez – Universidad de Huelva - España

**Co-Director:** Margarita Hidalgo – Universidad Nacional de Catamarca - Argentina

**AGOSTO DE 2007**

## INDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA HÍDRICA</b> .....	7
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	10
<b>4.1 Fuente de la información utilizada</b> .....	11
<b>4.1.1 Programa de monitoreo de agua y caudales superficiales de la empresa Minera Agua Rica LLC.</b> .....	11
<b>4.1.2 Programa de monitoreo de agua – proyecto Agua Rica - de la Secretaría de Estado de Minería de la provincia de Catamarca</b> .....	13
4.1.2.1 Subprograma de monitoreo de agua Cuenca del río Andalgalá, proyecto Agua Rica .....	13
4.1.2.2 Subprograma de monitoreo de agua estación La Toma, Andalgalá, proyecto Agua Rica .....	14
<b>4.2 Criterios aplicados</b> .....	15
4.2.1 Selección de estaciones de monitoreo .....	15
4.2.2 Selección de determinaciones analíticas de calidad de agua y caudal .....	17
4.2.3 Control de calidad de los datos hidroquímicos .....	17
4.2.3.1 Balance de electroneutralidad .....	17
4.2.3.2 Relación entre la conductividad eléctrica y la suma de cationes - aniones .....	19
4.2.4 Selección de los registros hidroquímicos .....	20
4.2.5 Obtención de los coeficientes de correlación .....	20
<b>5. RESULTADOS</b> .....	20
<b>5.1 Registros hidroquímicos confiables</b> .....	20
<b>5.2 Caudales de los ríos de la cuenca y su relación con las lluvias</b> .....	23
<b>5.3 Caracterización hidroquímica de la cuenca del río Andalgalá</b> .....	27
5.3.1 Hidroquímica por estación de monitoreo .....	27
5.3.1.1 Estación Candado .....	27
5.3.1.2 Estación Minas .....	30
5.3.1.3 Estación Candado – Minas .....	33
5.3.1.4 Estación Blanco .....	36

5.3.1.5 Estación La Toma .....	40
<b>5.3.2 Hidroquímica de la cuenca del río Andalgá .....</b>	<b>43</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>47</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo I:</b> Datos hidroquímicos de las estaciones de monitoreo de agua: Candado, Minas, Candado – Minas, Blanco, La Toma .....	50
<b>Anexo II:</b> Datos de caudal promedio mensual de las estaciones de monitoreo Candado, Minas, Blanco, La Toma .....	59
<b>Anexo III:</b> Niveles guía de calidad de agua para bebida humana: Anexo IV de la normativa complementaria de la ley 24.585 “De Protección Ambiental para la Actividad Minera” y Código Alimentario Argentino .....	68
<b>Anexo IV:</b> Fotografías de la cuenca hídrica y de las estaciones de monitoreo de agua: Candado, Minas, Candado – Minas, Blanco, La Toma .....	72

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar deseo manifestar mi profundo agradecimiento a los doctores Manuel Olias Alvarez y Margarita Hidalgo, profesionales que me asesoraron y guiaron en la ejecución de esta investigación, por su buena predisposición, por las sugerencias oportunas.*

*A la Universidad Internacional de Andalucía por la beca de ayuda económica otorgada, que me brindó la oportunidad de perfeccionamiento en actividades de postgrado.*

*A la Universidad de Huelva, por la asistencia y capacitación en el periodo de Docencia de la carrera de Doctorado iniciada.*

*A mi querida Universidad Nacional de Catamarca, en el interior de cuyos claustros me he formado y en la cual desarrollo mi actividad docente.*

*A la Secretaría de Estado de Minería, por el apoyo brindado.*

## 1. RESUMEN

El presente estudio tiene como objeto establecer las características hidroquímicas de la cuenca del río Andalgalá, ubicada en el departamento homónimo, provincia de Catamarca, República Argentina. El sector superior de la cuenca posee interesantes depósitos minerales metalíferos (Cu, Mo), de tipo hidrotermal, susceptibles de generar drenaje ácido de rocas y de minas; a la salida de la cuenca intermontana, se localiza una importante población de más de 14.000 habitantes.

Se ha ejecutado a fin de cumplimentar con el requisito establecido por la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) referida a la etapa investigativa de la carrera Doctorado Interuniversitario en Ingeniería Ambiental correspondiente al Bienio 2005 – 2007.

La información analizada ha provenido fundamentalmente del Programa de Calidad de Agua de las empresas concesionarias del proyecto minero "Agua Rica", que se lleva a cabo en la cuenca hídrica, desde finales de 1995. Existen grandes perspectivas de que este proyecto inicie su etapa de explotación, en un futuro muy cercano.

Ha incluido recopilación y revisión de la información meteorológica, geológica, hidrológica e hidroquímica existente y selección de indicadores de calidad de agua. Se aplicaron criterios de control de los registros hidroquímicos, tratamiento estadístico de la información seleccionada, aplicación de matriz de correlación, determinación de especies mayoritarias y tipos de agua mediante el empleo de diagramas hidroquímicos (diagramas de Piper y Schoeller) y evaluación e interpretación de la información generada. Se usaron los softwares AquaChem versión 7.1, MapInfo versión 7.0 y Microsoft Office Excel 2003.

El análisis se ha centrado en cinco estaciones de monitoreo: Minas, Candado, Candado – Minas (ubicadas en el sector superior de la cuenca), Blanco (sector medio) y La Toma (a la salida de cuenca intermontana).

Se ha comprobado que gran parte de los registros de calidad de agua analizados presentan errores sistemáticos en las determinaciones de laboratorio. Los registros de calidad de agua que muestran mayor error corresponden a la estación río Minas (16 % de datos rescatados) y los que manifiestan menor error, corresponden a la estación Candado - Minas (42% de datos rescatados).

En la cuenca se observan dos tipos de facies hidroquímica: **bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica**. El aporte de agua sulfatada cálcica, proveniente del río Minas, si bien es neutralizada en parte por el agua bicarbonatada del río Candado y aguas abajo por el río Blanco, provoca el incremento de la cantidad y concentración de sustancias disueltas, en el agua resultante a la salida de la cuenca hídrica (estación La Toma).

Entre los metales trazas, el hierro, el aluminio y el manganeso son los que se encuentran en mayor proporción en las aguas de la cuenca, superando en algunos registros, los niveles guías de calidad de agua potable establecidos por las normativas vigentes nacionales. El cobre y zinc únicamente en la estación Minas manifiestan en algunos registros valores ligeramente anómalos.

Los principales procesos físicos y químicos que controlan la calidad de agua de gran parte de la cuenca de estudio son la meteorización de los minerales aluminio – silicatados y la oxidación de sulfuros.

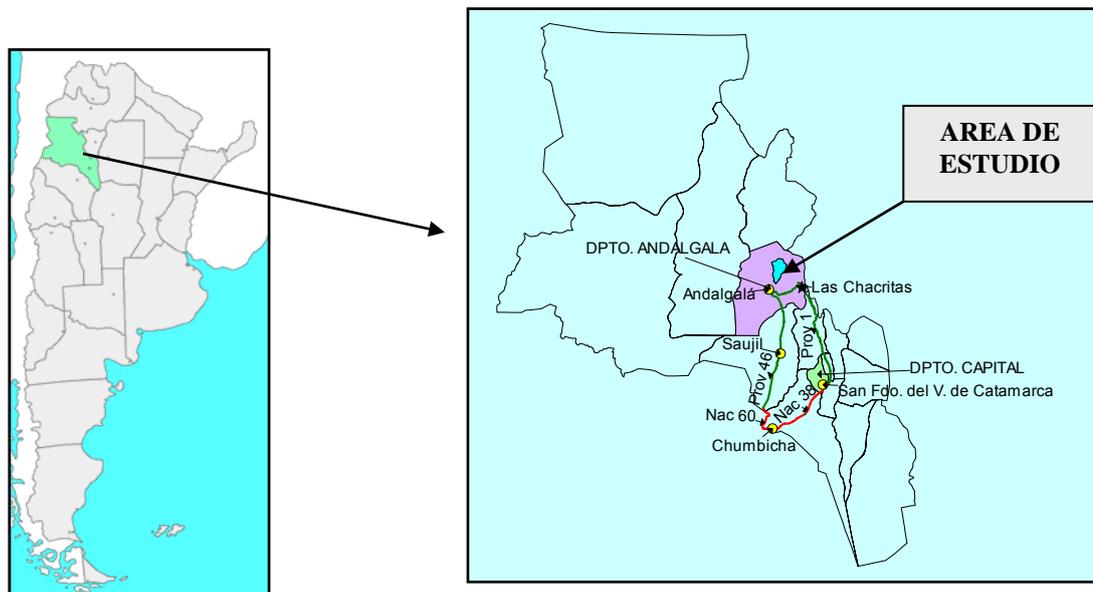
**Palabras claves:** hidroquímica, calidad de agua, Andalgalá, Catamarca, drenaje ácido de roca (ARD)

## 2. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica en el sector oeste de la sierra de Aconquija, Departamento Andalgalá, provincia de Catamarca, República Argentina.

La ciudad de Andalgalá, capital del Departamento homónimo, se localiza a una altura promedio de 900 m.s.n.m. y se encuentra al O. de la ciudad Capital de la provincia, desde la que se puede acceder por dos vías (ver Figura N° 1):

- Partiendo hacia el S. por ruta nacional N° 38, hasta la localidad de Chumbicha, se conecta con ruta nacional N° 69, se cruza la quebrada de la Cébila en su totalidad y se empalma a la salida de esta quebrada, con ruta provincial N° 46. Se continúa por esta ruta bordeando el piedemonte occidental de la Sierra de Ambato y luego de atravesar diversas pequeñas localidades, se llega a la ciudad de Andalgalá. Todas las rutas están asfaltadas. La distancia que separa ambas localidades siguiendo esta vía de acceso es de 253 km. Constituye la principal vía de acceso.
- Partiendo hacia el N. por ruta provincial N° 1, asfaltada en buenas condiciones hasta la localidad de Singuil. A partir de allí, el camino es solo consolidado. Pasando la localidad de las Chacritas, se empalma con ruta provincial N° 48 y se atraviesa la cuesta de la Chilca. 5 km antes de llegar a la ciudad de Andalgalá se empalma con ruta provincial N° 46. La distancia a recorrer es de 200 km.



**Figura N° 1:** Ubicación del área de estudio en el departamento Andalgalá, en la provincia de Catamarca y en la República Argentina. Se indican las localidades más importantes, en color verde las rutas provinciales N° 46 y 1 y en rojo las rutas nacionales N° 38 y 60. Se han coloreado los departamentos Andalgalá y Capital.

El río Andalgá es de régimen permanente. Su cuenca hídrica posee una superficie de 240 km<sup>2</sup> ([www.hidricosargentina.gov.ar](http://www.hidricosargentina.gov.ar)), forma alargada en sentido N – S y sus principales afluentes son los ríos Candado y Blanco, ambos de régimen perenne.

En la parte superior de esta cuenca se localizan depósitos mineralizados de cobre y molibdeno, que han producido la acidificación natural de arroyos de exiguuo caudal (arroyo Quebrada Mina, arroyo Filo Colorado), los cuales son neutralizados por el río Candado, curso de agua de mayor jerarquía y caudal. Dichos depósitos están siendo explorados por empresas mineras a fin de determinar la factibilidad económica de su explotación. En el punto de salida de la cuenca, se ubica la ciudad de Andalgá, población de 14.068 habitantes, según el Censo Poblacional 2001 ([www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp](http://www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp)) que usa las aguas del río homónimo como fuente de abastecimiento para agua potable y para riego principalmente.

El área de estudio dispone de datos de calidad de agua, obtenidos a partir de monitoreos realizados por organismos provinciales, nacionales y empresas privadas. Si bien existen antecedentes de investigaciones realizadas en el área, corresponden a estudios de pequeña escala que incluyeron otras cuencas hídricas, además del área del presente proyecto y en los cuales se analizó un número reducido de variables químicas. En estos estudios no se menciona que se hubiese efectuado una evaluación previa de calidad de los datos analizados.

En julio de 2007, la empresa Minera Agua Rica LLC (MAR) presentó ante la Secretaría de Estado de Minería de Catamarca (SEM), el informe de impacto ambiental para la etapa de explotación. La instalación de actividad productiva minera, en la sección superior de la cuenca del río Andalgá, es una situación que requiere de una estrecha vigilancia de la calidad de sus aguas, ante todo por el uso intensivo del recurso hídrico que realiza la población de Andalgá.

El objetivo principal de esta investigación es establecer las características hidroquímicas de la cuenca del río Andalgá en diversos puntos de muestreo, sobre una base de datos de registros confiables y válidos.

Pretende ser un aporte que contribuya a la determinación de la línea de base de calidad de agua, tarea reservada a los organismos competentes del estado y de imperiosa necesidad ante la puesta en marcha de cualquier actividad productiva a gran escala dentro de la cuenca.

El drenaje ácido (drenaje ácido de rocas o ARD, como se lo denomina en la literatura anglosajona) es un proceso de naturaleza física – química – biológica, que se origina por oxidación y lixiviación de terrenos geológicos en los que abundan los minerales sulfurosos, tales como piritita (S<sub>2</sub>Fe).

El ARD es un proceso originado por la acción de los agentes de meteorización y se caracteriza por poseer pH ácido, elevada conductividad, alto contenido de sulfatos y de metales trazas en solución. Sus principales consecuencias directas son aguas de mala calidad y acidificación de los suelos (Fernández Calani, 2003).

Gran parte de los minerales sulfurosos constituyen la materia prima para la extracción de metales que el hombre ha usado y usa actualmente no solamente desde el punto de vista industrial sino también en su actividad diaria.

La actividad minera extractiva implica la trituración y molienda del material extraído y consecuentemente el incremento de su superficie de exposición a los agentes atmosféricos; acelerando el proceso natural de generación del ARD. En este caso, recibe el nombre de drenaje ácido de minas (AMD), correspondiendo a los efluentes de las labores y residuos mineros.

Es profusa la literatura que trata sobre este proceso natural acelerado por la actividad minera y en muchos casos está ligado con la actividad del hombre desde varios siglos atrás, como es el caso de los depósitos de sulfuros masivos de la Faja Ibérica en España, que ha sido explotada desde épocas históricas, y en forma intensiva a partir de la segunda mitad del siglo XIX. El panorama actual es un gran número de pasivos ambientales constituidos por labores mineras, residuos sólidos y líquidos que abundan en el sector sur de España - cuencas de los ríos Tinto y Odiel (Oliás et al., 2004, Ruiz Cánovas et al., 2005). Esta situación se ha visto agravada por el incidente ambiental que constituyó la rotura de los muros de una balsa minera en Aznalcollar, en abril de 1998 y que produjo la contaminación de 62 km de la cuenca del río Guadiamar (Oliás et al., 2006). El plan de restauración y recuperación del ambiente afectado ha implicado un gran esfuerzo económico para el gobierno de Andalucía (Conserjería de Medio Ambiente, 2003).

Contextos similares se presentan en otros países del mundo con producciones mineras importantes, como es el caso de Canadá, Australia, Perú, Chile, entre otros.

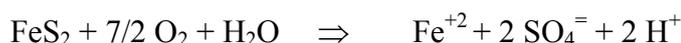
Diversos son los factores que determinan el ARD y se pueden clasificar como primarios (disponibilidad de agua para la oxidación y transporte, disponibilidad de oxígeno, características físicas del material y en menor grado temperatura, pH, equilibrio ión férrico – ión ferroso, actividad microbiológica), secundarios (presencia de otros minerales capaces de neutralizar la acidez) y terciarios (factores climáticos, principalmente precipitación y temperatura) (Environmental Australia, 1997).

Del grupo de sulfuros, la pirita es el caso más estudiado, aun cuando no es el mineral más reactivo en este proceso, siendo superado por la marcasita y la calcopirita.

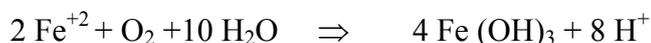
El proceso de oxidación de la pirita implica tres etapas (Fernández Calani, op.cit, [www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/legislacion/guias/manedrenaje.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/legislacion/guias/manedrenaje.pdf)):

En la primera etapa, la roca contiene suficiente poder de neutralización de la acidez que se pudiese estar generando, por la presencia de minerales carbonatados fundamentalmente. La oxidación en esta etapa es química.

La pirita al reaccionar con oxígeno y agua origina ácido sulfúrico, hierro ferroso e iones de hidrógeno, según la siguiente reacción:



El hierro ferroso a su vez produce la precipitación del hierro como hidróxido férrico:



El pH es > 4,5, la relación  $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$  es bajo, el contenido de sulfatos es elevado, en tanto el hierro en solución, es bajo. Si se la compara con las etapas siguientes, la velocidad de oxidación de la pirita es baja debido a que el ión férrico no contribuye como agente oxidante.

En la segunda etapa, cuando se van agotando los minerales carbonatados que neutralizan la acidez, el pH desciende a valores entre 4,5 y 2,5, el proceso de oxidación es catalizado por la presencia de bacterias acidófilas, los contenidos de sulfato y del ión ferroso son elevados, aunque la relación  $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$  es todavía baja.

La tercera etapa se caracteriza por  $\text{pH} < 2$ . El hierro ferroso pasa a hierro férrico, el cual sustituye al oxígeno como agente oxidante, reaccionando con la pirita y acelerando su disolución. La oxidación biológica prevalece sobre la química.

Las reacciones características de esta etapa son:



En algún momento del tiempo, que puede ser del orden de siglos, los minerales sulfurosos más reactivos se agotarán, la tasa de oxidación disminuirá y el pH se elevará.

La duración de cada etapa puede incluir pocos días hasta cientos de años dependiendo de los factores que controlen la generación de DAR.

La provincia de Catamarca presenta diversos depósitos mineralizados metalíferos distribuidos en el sector oeste de su extenso territorio, predominantemente montañoso. Existen evidencias de drenaje ácido natural, siendo escasos los casos en los cuales la actividad minera ha acelerado este proceso.

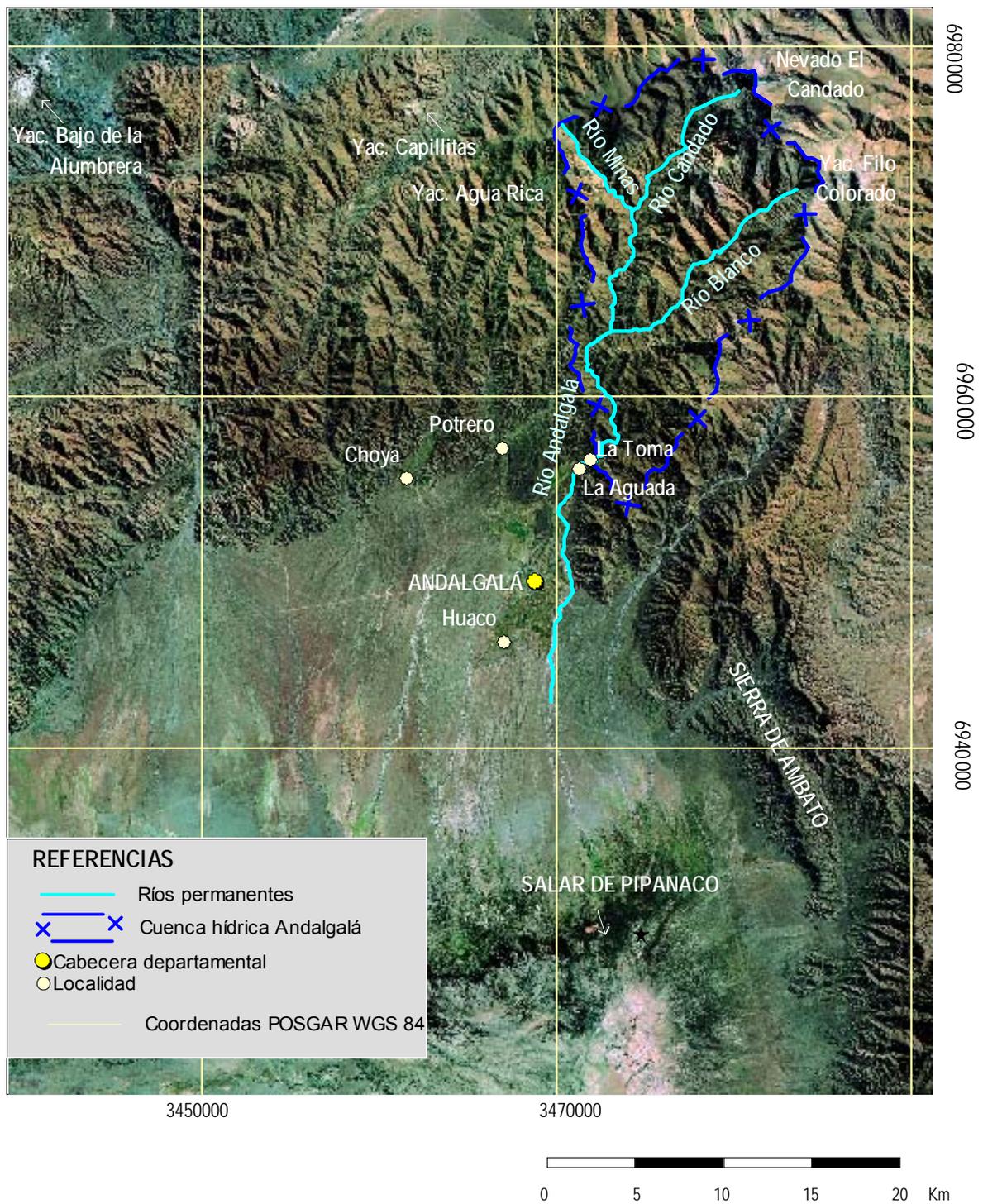
El caso más conspicuo es el de Minas Capillitas (Dpto Andalgalá), yacimiento polimetálico complejo (cobre, oro, plata, entre otros metales), localizado unos pocos km al oeste del área abarcada por el presente estudio, donde la actividad minera se remonta a épocas de los jesuitas y a la segunda mitad del siglo XIX con la explotación de cobre, oro y plata. Durante el siglo pasado, la Dirección de Fabricaciones Militares realizó numerosos trabajos de exploración y llegó a instalar una planta de concentración para la explotación de cobre, sin resultados positivos. Actualmente se produce rodocrosita, mineral que constituye la ganga del yacimiento metalífero.

La explotación minera a gran escala de este tipo de yacimientos – susceptibles de generar ARD - se ha comenzado a desarrollar recién en la segunda mitad de la década del 90', con la explotación del yacimiento de tipo cobre porfirico "Bajo de la Alumbreira" que produce concentrado de cobre desde 1997. A la fecha y debido fundamentalmente al método de tratamiento empleado (flotación) que implica el agregado de cal al proceso y el poder neutralizante del medio, las corrientes de agua superficial y subterránea dentro del área de concesión mantienen pH neutro o cercano a 7. Se ubica al oeste de la cuenca del río Andalgalá.

El yacimiento Agua Rica sería el segundo emprendimiento de este tipo en la provincia (ver Figura N° 2).

La prevención y control del AMD es la mejor herramienta que disponen los operadores mineros en yacimientos minerales donde este fenómeno se produce. El cálculo y evaluación de drenaje ácido potencial y adecuado manejo de residuos durante las etapas de planificación, operación y cierre de la explotación minera, resultará en beneficios no solamente desde el punto de vista ambiental sino también desde el punto de vista económico (Environmental Australian, op. cit.).

Cabe mencionar que en nuestro país existe una legislación ambiental minera, de tipo preventiva, la ley 24.585 "De la Protección Ambiental para la Actividad Minera"; sancionada en el año 1996, se convirtió en la primera ley aplicada a un sector específico de la economía nacional. Este marco normativo brinda uniformidad y homogeneidad jurídica en todo el país y ha generado los instrumentos necesarios para que el estado controle que el desarrollo creciente de la minería, se lleve a cabo con el menor impacto ambiental negativo posible.



**Figura N° 2:** Cuenca hídrica de Andalgala. Además se han representado cursos permanentes y esporádicos, rutas de acceso y principales localidades y yacimientos minerales metalíferos existentes en la zona, sobre la base de la carta imagen del IGM 2766 III (1997).

### 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA HÍDRICA

La zona de estudio se localiza al SO de la Sierra del Aconquija, que a su vez forma parte del sistema orográfico de Sierras Pampeanas, en el NO argentino.

La sierra de Aconquija es un cordón montañoso de orientación aproximada NNO- SSE, que alcanza alturas máximas que superan los 5.000 m de altura (ver Figura N° 2). Actúa como una barrera orográfica a los vientos húmedos de provenientes del este, que chocan y ascienden por sus laderas, originando que la humedad que contienen, condense y precipite sobre la misma. En cambio, las laderas occidentales se caracterizan por condiciones de semiaridez.

El clima es de tipo semiárido de montaña, con veranos húmedos e inviernos secos.

Las lluvias más intensas se registran durante el verano. Se producen también precipitaciones en forma de nieve o granizo (en el invierno) en alturas superiores a los 2.000 m y por encima de los 3.000 m son frecuentes las horizontales o de neblina.

La página web [www.mineria.gov.ar/ambiente/estudio](http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudio) menciona que una estación climatológica, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional funcionó en la ciudad de Andalgá (27° 36' latitud Sur y 66° 20' longitud Oeste, a 930 m.s.n.m. – localidad La Aguada) durante un periodo de tiempo considerable en el siglo pasado. Proporcionó registros para el periodo 1901-1960, que han permitido establecer la estadística local de las principales variables meteorológicas (ver Tabla N° 1). La mencionada estación ha sido suprimida.

VARIABLE	Unid.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Precipitación media	mm	75,5	64,8	45,7	15,8	8,4	4,4	5,4	5,2	4,8	13,7	18,6	35,3	297,5
Presión atmosférica	mb	888,6	889,5	890,1	891,9	891,9	892,1	893,1	892,4	891,7	890,5	889,0	887,9	890,8
Temperatura media	°C	25,1	24,0	21,9	17,9	13,7	9,9	10,0	12,6	16,7	20,1	22,9	25,0	18,3
Temperatura máxima media	°C	33,6	32,3	30,1	26,2	21,7	18,3	18,6	21,5	25,5	28,9	31,9	33,6	26,9
Temperatura mínima media	°C	18,4	17,6	15,6	11,3	7,2	3,6	3,3	5,2	8,9	12,3	15,4	17,4	11,4
Temperatura máxima absoluta	°C	43,4	43,1	39,9	38,6	36,3	35,3	37,2	39,3	39,9	42,2	41,9	43,3	43,5
Temperatura mínima absoluta	°C	8,6	9,1	4,8	-1,8	-3,1	-4,7	-6,2	-5,6	-2,5	1,6	2,1	4,9	-6,2

Fuente de información: página web [www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios](http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios)

La precipitación media anual es de 297,5 mm. Enero constituye el mes más lluvioso (media mensual de 75,5 mm), seguido por febrero y marzo. Junio es el mes de menor precipitación (media mensual de 4,4 mm), seguido por septiembre y agosto.

La presión atmosférica media anual al nivel del terreno es de 890,8 mb. La mayor presión media mensual corresponde al mes de julio (893,1 mb) y la mínima a diciembre (887,9 mb).

La temperatura media anual es de 18,3 °C. Los mayores temperaturas corresponden a diciembre y enero y las más bajas a junio y julio.

El principal tributario del río Andalgá es el río Candado que nace en el Nevado del Candado (altura máxima de 5.450 m), a consecuencia del derretimiento de las nieves y de precipitaciones estivales principalmente. En su primer tramo, circula con dirección NNE – SSE, recibiendo el aporte de pequeños arroyos, tanto del este como del oeste. El río Minas constituye un pequeño arroyo, de exiguo caudal, que tributa al Candado desde el NO y el río Blanco es el principal aporte desde el NE.

Posterior a la confluencia de los ríos Candado – Blanco, a la altura del "Paraje Las Juntas" adopta la denominación de río Andalgá, describe una amplia curva hacia este, para retomar su dirección de escurrimiento NNE – SSO. Sale de la cuenca intermontana, formando un amplio cono de deyección – sobre el que se asienta la población de Andalgá. En este punto, todo su caudal es captado para diversos usos (riego, agua potable), razón por la cual al atravesar la ciudad homónima, permanece generalmente seco, excepto en épocas de gran escorrentía.

Hacia el sur, se infiltra en el extremo norte del Salar de Pipanaco, amplio bolsón colmatado por sedimentos modernos, fluviales y salinos, que constituye el nivel de base de todas las corrientes de agua que descienden de los sistemas serranos que lo rodean.

La superficie de la cuenca del Río Andalgá, a la altura de "La Toma", es de 211 km<sup>2</sup> (Minera Agua Rica, 2007) y a la altura de "La Aguada" – lugar donde se localizaba la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional - es de 240 km<sup>2</sup> ([www.hidricosargentina.gov.ar](http://www.hidricosargentina.gov.ar)).

Todos los ríos mencionados – Minas, Candado, Blanco y Andalgá – son cursos de agua de régimen permanente.

El relieve de la cuenca es muy escarpado, con laderas empinadas y pendiente general hacia el sur, con gradientes que superan los 25°, siendo más empinadas en el sector superior de la cuenca, lo que las hace muy susceptibles a fenómenos de deslizamientos y soliflucción (ver Fotos N° 1, 2 en Anexo IV). La morfología de la cuenca se puede observar en la Figura N° 2.

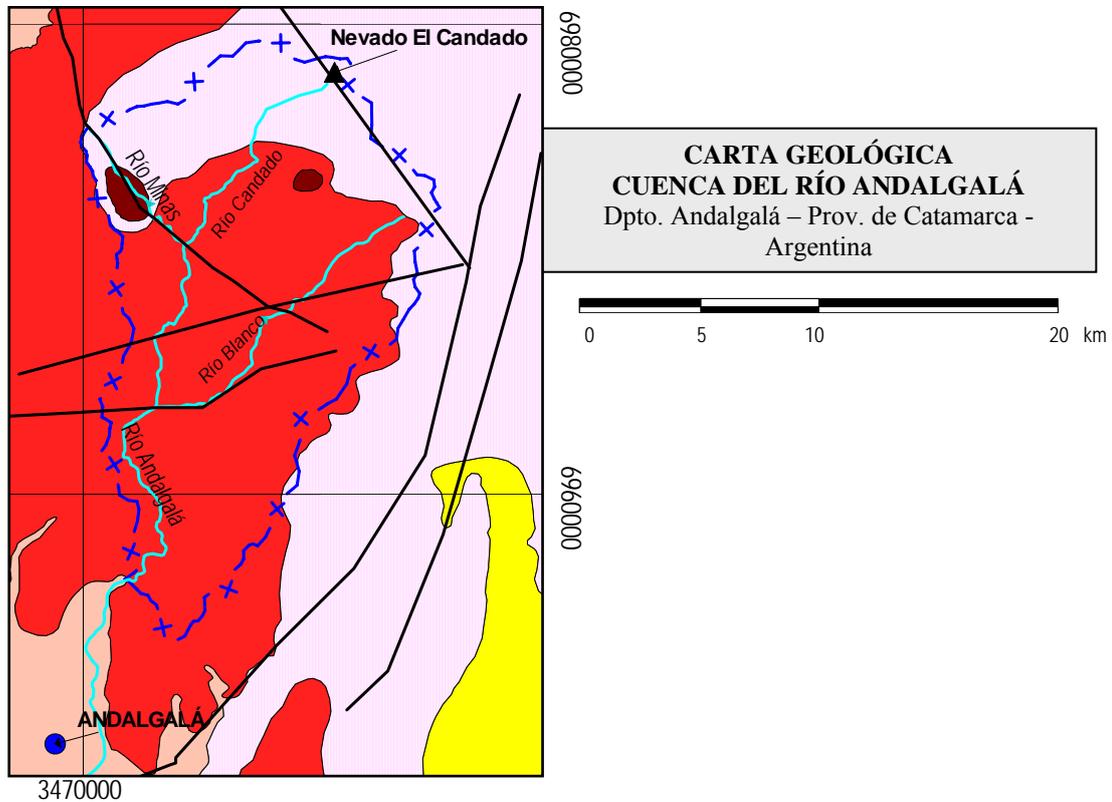
El relieve de la zona cumbre de las nacientes del río Candado ha sido labrado por la acción glaciaria, pudiéndose observar circos y depósitos escasamente consolidados de este origen. Hacia el sector medio de la cuenca, la acción fluvial es el proceso geomorfológico predominante.

El terreno aflorante es de naturaleza cristalina ígnea – metamórfico, lo que determina un bajo coeficiente de infiltración. Estos dos factores – pendientes pronunciadas y terreno impermeable – provocan que el escurrimiento sea muy rápido, originándose crecidas repentinas de alto caudal y con importante carga sólida transportada. La presencia de material sólido suspendido en el río Andalgá, provoca una cierta turbidez permanente en sus aguas.

La geología de la cuenca se muestra en la Figura N° 3 y se la ha definido a través de la consulta de antecedentes bibliográficos (González Bonorino, 1950, Servicio Nacional Minero Geológico, 1972, Ramos, 1999, Martínez et al, 1995, Minera Agua Rica b, 2006 y la interpretación de la carta imagen satelital IGM 2766 III, 1997).

Desde el punto de vista geológico – morfoestructural, la zona pertenece al Sistema de Sierras Pampeanas Noroccidentales. Dichas sierras fueron elevadas por la tectónica andina y representan bloques asimétricos limitados por fracturas inversas, de alto ángulo y rumbo NNE

– SSO que se horizontalizan en profundidad al encontrar transiciones frágil – dúctil dentro de la corteza (González Bonorino, op. cit.).



### REFERENCIAS

	<i>Sedimentos detríticos modernos</i>	Holoceno	Cuartario	CENOZOICO	
	<i>Sedimentitas continentales indiferenciadas</i>		<i>Pórpidos dacíticos, andesíticos</i>		Mioceno
	<i>Siénogranito, sienodiorita</i>		Ordovícico - Silúrico	PALEOZOICO	
	<i>Gneiss, migmatitas, hornfels, esquistos</i>		Proterozoico Sup - Cámbrico	PALEOZOICO - PRECAMBRICO	

- Fracturas
- Cabecera departamental
- ▲ Cerro
- Localidad
- Coordenadas POSGAR WGS 84
- × × Límite de la cuenca hídrica de Andalgálá
- Río permanente

**Figura N° 3:** Geología de la cuenca del río Andalgálá

Las rocas más antiguas están representadas por un basamento metamórfico de edad Proterozoico Superior – Cámbrico, constituido por gneiss, migmatitas, hornfels, esquistos, etc. en el cual han intruido durante el Ordovícico – Silúrico, rocas de composición sienodiorita - sienogranito que forman parte de un extenso batolito, conocido como Capillitas.

En el Terciario Superior (Mioceno) se produce la depositación de sedimentos continentales entre los que se intercalan eventos volcánicos que darán origen a los depósitos mineralizados hidrotermales existentes en la zona, tales como Agua Rica y Filo Colorado (ver Fotos N° 3 y 4 en Anexo IV). La mineralización se asocia espacial y genéticamente con la alteración hidrotermal que afecta a intrusivos hipabisales (pórfidos dacíticos – andesíticos) y brechas. La presencia de sulfuros de hierro (principalmente pirita), además de otros de interés económico como calcosina, covelina, molibdenita, determinan la potencialidad de estos materiales de generar drenaje ácido de rocas, tal cual lo demuestran las aguas ácidas naturales de los arroyos Minas y Filo Colorado.

Los depósitos modernos cuaternarios, corresponden a sedimentos fluviales y aluviales originados por procesos erosivos que han afectado a las secuencias litológicas antes mencionadas y que han rellenado las áreas más deprimidas.

#### 4. METODOLOGÍA

La realización del presente estudio implicó las siguientes actividades:

- Recopilación y revisión de la información meteorológica, geológica, hidrológica e hidroquímica existente.
- Contraste de la información hidroquímica compilada con informes de laboratorios químicos correspondiente a los períodos octubre de 1995 a octubre de 1997 y junio de 2000 a marzo de 2002.
- Reprocesamiento de la información compilada por otras fuentes.
- Elaboración de cartografía de la cuenca hídrica, mediante el empleo del software MapInfo, versión 7.0 y carta satelital 2766 III del Instituto Geográfico Militar en formato digital.
- Selección de indicadores de calidad de agua y aplicación de criterios de control de los registros hidroquímicos.
- Tratamiento estadístico de la información seleccionada para la obtención de la estadística general básica de los datos de calidad de agua y caudales y aplicación de matriz de correlación para determinar la relación entre parámetros físicos químicos e iones mayoritarios del agua.
- Determinación de especies mayoritarias y tipos de agua mediante el empleo de diagramas hidroquímicos (diagramas de Piper y Schoeller).
- Se usaron los softwares AquaChem versión 7,1 y Microsoft Office Excel 2003.
- Evaluación e interpretación de la información generada.

#### 4.1 Fuentes de la información utilizada

Los datos de calidad de agua y caudal usados en esta investigación se obtuvieron principalmente a partir de la consulta pública de los siguientes expedientes, disponibles en la Secretaría de Estado de Minería de la provincia de Catamarca (SEM):

- **E - 1898/97**, caratulado informe de impacto ambiental del proyecto Agua Rica – etapa de exploración. La empresa Minera Agua Rica LLC (MAR) es el actual concesionario de las propiedades mineras que integran el Proyecto Agua Rica. Hasta 2002, la concesionaria fue la empresa BHP Copper. Este expediente es un documento público que está organizado por cuerpos o tomos de acuerdo al volumen y temática de la información. Fue iniciado en el año 1997 con la presentación del estudio de impacto ambiental en la SEM, por parte de la empresa BHP Copper, de acuerdo a la legislación ambiental minera existente en la provincia y en el país y fue incrementándose con presentaciones periódicas realizadas por las empresas mencionadas y por actuaciones. Contiene 3800 fojas al momento de consulta de la fuente. La información se extrajo de los cuerpos 1, 3, 4, 8, 11, 14 y 16.
- **S - 9323/07** correspondiente al subprograma de monitoreo de agua – proyecto Agua Rica –cuenca del río Andalgala, que lleva a cabo la Unidad de Gestión Ambiental Provincial (UGAP) (Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007). La UGAP es un área técnica incluida dentro de la Secretaría de Estado de Minería, que asesora a la máxima autoridad en la aplicación de la ley 24.585 “De Protección Ambiental para la Actividad Minera” en territorio provincial.
- **S - 4363/07**, correspondiente al subprograma de monitoreo puntual de agua – proyecto Agua Rica – estación La Toma, Andalgala que ejecuta la Unidad de Gestión Ambiental Provincial desde mediados de Febrero con una frecuencia de dos veces por semana (Unidad de Gestión Ambiental Provincial b, 2007).

##### 4.1.1 Programa de monitoreo de agua y caudales superficiales de la empresa Minera Agua Rica

El programa de monitoreo de agua y caudales superficiales de la empresa Minera Agua Rica posee 10 estaciones de monitoreo distribuidas a lo largo de la cuenca. Los datos de calidad de agua pertenecen al periodo comprendido entre octubre de 1995 y marzo de 2006, obtenidos con una frecuencia bimestral, si bien hay años en los cuales existen datos mensuales y/o trimestrales (BHP a, 1997; BHP b, 1997; BHP c, 1997; BHP d, 2002; Minera Agua Rica – a, 2006; Minera Agua Rica b, 2006; Minera Agua Rica c, 2006, Minera Agua Rica d).

Los analitos corresponden a determinaciones de campo (pH, conductividad, temperatura y caudal) y de laboratorio (parámetros físico químicos generales, aniones y cationes mayoritarios, metales traza, análisis bacteriológico). En el primer año de muestreo (mediados 1995 a 1996) se analizaron cationes totales y recién a partir de mediados de 1996, se comienzan a analizar ambas fracciones: total y disuelta (Minera Agua Rica c, op cit.).

Dos laboratorios nacionales efectuaron el muestreo y análisis químicos de las muestras de agua en el periodo de tiempo analizado. Hasta Marzo de 2005, se trabajó con el laboratorio Emisión y Control (EyC) y posteriormente con Societé Générale de Surveillance (SGS), ambos con sede en la provincia de Buenos Aires, Argentina (Minera Agua Rica a; Minera Agua Rica d, op. cit.)

Según el protocolo de monitoreo empleado por EyC, la recolección de las muestras destinadas a la determinación de pH, alcalinidad, conductividad, aniones y cationes

mayoritarios, se realiza en envases plásticos de 1 litro, los cuales son mantenidos a temperatura de 4 ° C en conservadoras y al resguardo de la luz. Las muestras destinadas a la determinación de metales trazas son filtradas usando membrana de acetato de celulosa de 0,45 µm con un volumen de 250 mL en envases plásticos. Luego se acidifican usando ácido nítrico concentrado. Las determinaciones analíticas de laboratorio se realizaron siguiendo métodos normalizados para análisis de agua potable y residuales APHA-AWWA-WPCF- 20 edición.

SGS realizó el muestreo según Method 1669 - Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels - July 1996 - U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Engineering and Analysis Division (4303).

Los métodos, las técnicas analíticas y los límites de detección empleados por ambos laboratorios se detallan en Tabla N° 2.

<b>Tabla N° 2:</b> Procedimientos y métodos analíticos empleados por Minera Agua Rica			
<b>Laboratorio Emisión y Control (E y C)</b>			
<b>Analito</b>	<b>Unid.</b>	<b>Métodos normalizados para análisis de agua potable y residuales APHA-AWWA-WPCF- 20 edición</b>	<b>Límite de detección</b>
<b>Conductividad</b>	µS/cm	SM 2510 B	10
<b>pH</b>	unidades	SM 4500 - H <sup>+</sup>	0,10
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/L	SM 2540	1
<b>Alcal. de bicarbonato</b>	mg/L	SM 2320	5 – 4.000
<b>Alcal. de fenolftaleína</b>			
<b>Alcalinidad total</b>			
<b>Cloruro</b>	mg/L	SM 4500 B	4
<b>Sulfato</b>	mg/L	SM 4500 - SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> E	1
<b>Fluoruro</b>	mg/L	SM 4500 - F <sup>-</sup> D	0,10
<b>Nitrato</b>	mg/L	SM 4500 - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B	0,05
<b>Metales</b>	mg/L	SM 3500 *	
* <b>Observaciones:</b> No se consignan en forma específica los métodos empleados para determinación de metales, debido que se han constatado errores de causas desconocidas en la información detallada en la fuente consultada			
<b>Laboratorio SGS</b>			
<b>pH</b>	unidades	SM 4500	
<b>Conductividad</b>	µS/cm	SM 2151 B	1
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/L	SM 2320 B	1
<b>Alcalinidad</b>	mg/L	SM 2320 B	1
<b>Bicarbonato</b>	mg/L	SM 2320 B	1
<b>Carbonato</b>	mg/L	SM 2320 B	1
<b>Cloruro</b>	mg/L	SM 4500 Cl B	0,10
<b>Sulfato</b>	mg/L	SM 4500 E	1
<b>Fluoruro</b>	mg/L	SM 4500 F D	0,02
<b>Nitrato</b>	mg/L	SM 4500 NO <sub>3</sub> E	0,10
<b>Calcio</b>	mg/L	SM 3500 Ca B	0,02
<b>Magnesio</b>	mg/L	SM 3500 Mg B	0,01
<b>Potasio</b>	mg/L	SM 3500 K B	0,01
<b>Sodio</b>	mg/L	SM 3500 Na B	0,01
<b>Aluminio</b>	mg/L	SM 3500 Al B	<b>0,02 *</b>
<b>Cobre</b>	mg/L	SM 3500 Cu B	0,04
<b>Hierro</b>	mg/L	SM 3500 Fe B	0,10
<b>Manganeso</b>	mg/L	SM 3500 Mn B	0,05
<b>Cinc</b>	mg/L	SM 3500 Zn B	0,01
* <b>Observaciones:</b> se ha indicado el límite de detección que consta en los registros hidroquímicos, que difiere del indicado en Minera Agua Rica, 2006, Cuerpo 18			

La medición de **caudales**, se ejecuta en forma puntual y conjunta con la toma de la muestra, utilizando un caudalímetro tipo molinete. En la base de datos existente en el expediente E - 1898/97 (Minera Agua Rica b, op. cit.) se observa falta de datos de esta variable, en algunos registros hidroquímicos, no precisándose causas.

También hay datos de caudales provenientes de un programa de aforos, que se llevó a cabo desde el año 1996. Existen registros comprendidos entre junio de 1996 a noviembre de 2005. En los primeros años, las mediciones se efectuaron en forma quincenal e incluso en algunos meses existe mayor cantidad de datos evidenciado una frecuencia de medición mayor. Desde el año 2003, las mediciones se realizan con una frecuencia promedio mensual.

La empresa Minera Agua Rica tiene instalada en la cuenca dos estaciones meteorológicas automáticas, en las cuales se registran diversos parámetros, entre ellos la lluvia:

- **Estación Minas:** se ubica en la subcuenca del río Minas, sector superior de la cuenca en estudio. Opera desde Diciembre de 1995. Se ubica a 27° 22' 18" latitud S y 66° 16' 53" longitud O, a una altura de 3.150 m.s.n.m. Se han registrado datos de precipitación desde febrero de 1996 hasta agosto de 2005. Hasta finales de 2002 existen registros en forma ininterrumpida. Los datos correspondientes a los años 2003, 2004 y parte de 2005 muestran series parciales.
- **Estación Andalgalá:** se ubica a 27° 36' latitud Sur y 66° 20' longitud Oeste, a una altura de 930 m.s.n.m., a la salida de la cuenca hídrica en estudio. Existen registros casi ininterrumpidos entre Junio/ 1996 a 2002. Los años 2003, 2004 y 2005 muestran datos parciales ya que existen varios meses sin datos.

Con relación a la falta de registros de algunos meses, en ambas estaciones, no se especifica en la información consultada si corresponden a meses sin precipitación o si la lectura no se efectuó por algún motivo. Solamente se menciona que gran parte del año 2005 la estación no funcionó por actos de vandalismos.

#### **4.1.2 Programa de monitoreo de agua – proyecto Agua Rica - de la Secretaría de Estado de Minería de la provincia de Catamarca**

##### **4.1.2.1 Subprograma de monitoreo de agua - cuenca del río Andalgalá, proyecto Agua Rica**

Se ejecuta desde marzo de 2007, con una frecuencia mensual. Comprende 6 estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca del río Andalgalá: Minas, Candado, aguas abajo de la confluencia Minas – Candado, Blanco aguas abajo de la confluencia Candado – Blanco y Andalgalá en La Toma (Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, op. cit.).

A la fecha de elaboración de este informe, se disponen de datos de calidad de agua superficial, del mes de marzo únicamente. En dicho expediente, existen otros antecedentes hidroquímicos, correspondientes a diciembre de 2000 y abril de 2005. Comprende algunos duplicados de muestras.

Las determinaciones analíticas realizadas en el laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN), dependiente del Servicio Geológico Minero Nacional, con sede en la provincia de Buenos Aires. Incluyen parámetros físicos químicos generales, aniones y cationes mayoritarios y una amplia variedad de metales trazas analizados sobre la fracción filtrada de la muestras. Totalizan 33 determinaciones (campo – laboratorio).

Las muestras son recolectadas en envases plásticos de 1 litro y de 100 mL. El envase de 1 litro se destina a la determinación de parámetros físico químicos generales, aniones y cationes mayoritarios. Se filtra en campo 100 mL de muestra, usando jeringas y filtros de membrana de acetato de celulosa de 0,45 µm de poro, se acidifica con ácido nítrico concentrado hasta alcanzar pH < 2 y se asigna para el análisis de metales trazas. Las muestras son enviadas al laboratorio por vía aérea y con servicio de entrega de 24 hs.

Un resumen de los métodos analíticos y límites de detección empleados por el laboratorio se incluyen en la Tabla N° 3.

<b>Tabla N° 3:</b> Métodos analíticos, instrumental y límites de detección empleado por el Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN)				
<b>Cationes</b>				
	<b>Método</b>	<b>Instrumental</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite de detección</b>
<b>Aluminio</b>	Espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo (ICP) – Norma EPA 200.7	Espectrómetro de emisión atómica marca Perkin Elmer, modelo Optima 3000	µg/L	10
<b>Cinc</b>			µg/L	2
<b>Cobre</b>			µg/L	2
<b>Hierro</b>			µg/L	8
<b>Manganeso</b>			µg/L	5
<i>La validación de la metodología se realiza con muestras de referencia certificadas del NIST y Analytical Products Group de Estados Unidos. INTEMIN participa en ensayos interlaboratorios con Italia (Instituto Italiano de Hidrobiología) y Canadá (National Water Research Institute) perteneciente a Environmental Canadá y se encuentra en proceso de acreditación de los ensayos por la norma ISO 17.025.</i>				
<b>Calcio</b>	Espectrometría de absorción atómica por llama		mg/L	1
<b>Potasio</b>			mg/L	1
<b>Magnesio</b>			mg/L	0,5
<b>Sodio</b>			mg/L	1
<b>Fluoruros</b>	Cromatografía iónica		mg/L	1
<b>Cloruros</b>			mg/L	1
<b>Sulfatos</b>			mg/L	1,5
<b>Nitratos + nitritos</b>			mg/L	2
<b>Otras determinaciones</b>				
<b>pH</b>	Técnica del Standard Methods			
<b>Conductividad</b>	Técnica conductimétrica del Standard Methods		µS/cm	1
<b>Alcalinidad total</b>	Técnica potenciométrica del Standard Methods (con titulador automático)		mg/L	15
<b>Sólidos totales disueltos (STD)</b>	Técnica gravimétrica del Standard Methods		mg/L	20
<i>Fuente de información: Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007</i>				

#### 4.1.2.2 Subprograma de monitoreo de agua estación La Toma, Andagalá

Se lleva a cabo desde febrero de 2007. Se toman muestras puntuales con una frecuencia de dos veces por semana. Se disponen de datos hasta julio de 2007 (Unidad de Gestión Ambiental Provincial b, op. cit.).

Se ejecutan mediciones de parámetros de campo (pH, conductividad, temperatura del agua y del aire) y toma de muestra, bajo normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Racionalización) Serie 29012, Calidad Ambiental – Calidad de Agua. Muestreo.

Las determinaciones efectuadas en laboratorio son pH, conductividad, alcalinidad, sulfatos y cloruros. La cátedra de Química General de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán realiza estas determinaciones según técnicas recomendadas por los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, los que detallan en la Tabla N° 4.

<b>Tabla N° 4:</b> Métodos empleados por el laboratorio de Química General de la Facultad de Ciencias Naturales e IML, de la Universidad Nacional de Tucumán		
<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Métodos de referencia</b>
<b>Cloruro</b>	Argentométrico 4500 – Cl	Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF
<b>Conductividad</b>	2510 – B	
<b>pH</b>	Electrométrico 4500 – H+	
<b>Alcalinidad</b>	Volumétrico	Análisis de agua – J. Rodier
<b>Sulfato</b>	Nefelométrico	

*Fuente de información: Unidad de Gestión Ambiental Provincial b 2007*

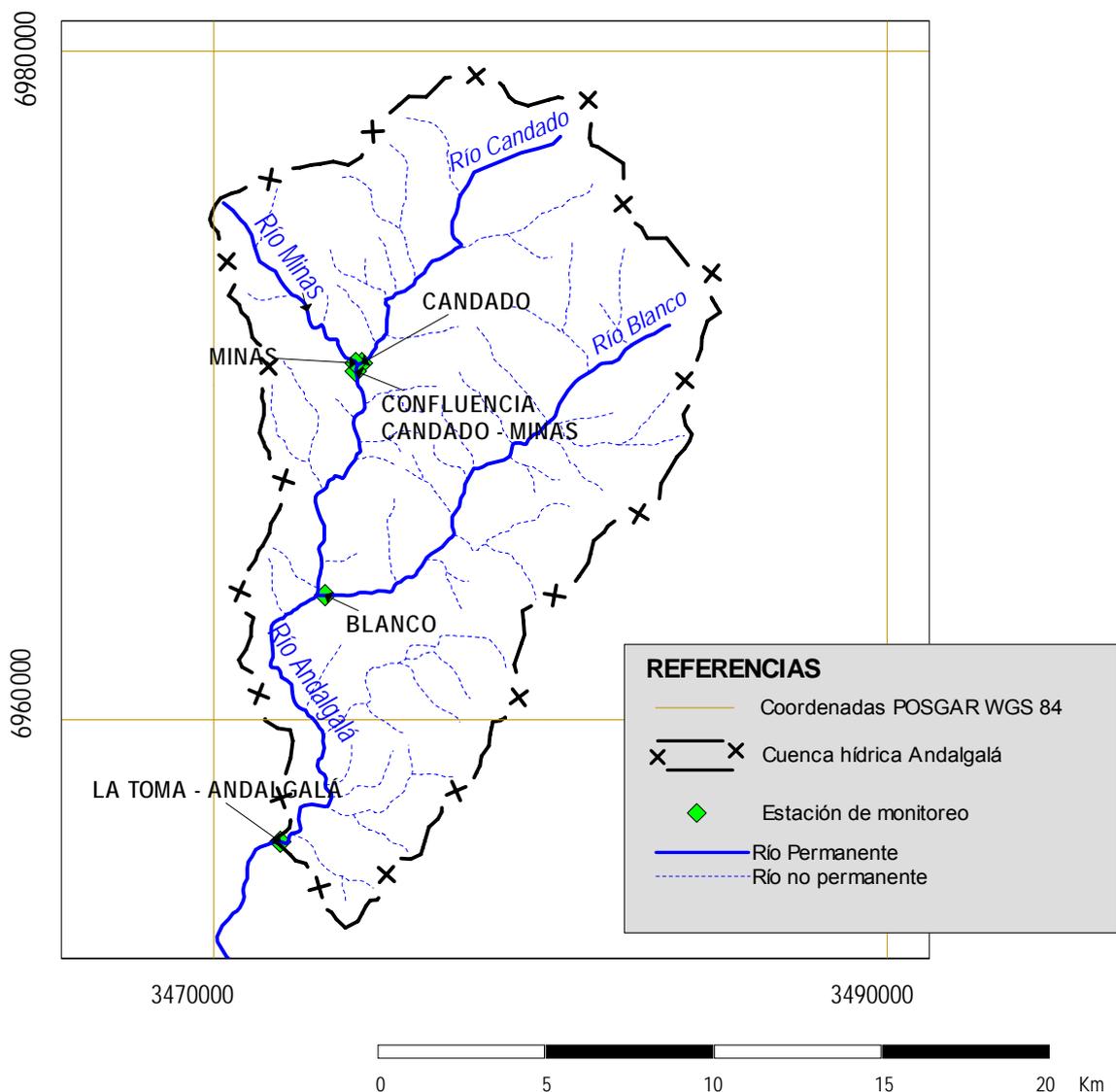
## 4.2 CRITERIOS APLICADOS

### 4.2.1 Selección de estaciones de monitoreo

Para la presente investigación se seleccionaron **5 estaciones de control** en virtud de la cantidad de datos hidroquímicos existentes y de su ubicación dentro de la cuenca (ver Tabla N° 5 y Figura N° 4): río Minas, río Candado, confluencia Candado – Minas aguas abajo, río Blanco y La Toma, Andalgala.

Las otras cinco estaciones restantes no se han tenido en cuenta por la discontinuidad de los datos y el corto periodo de medición. Se ubican en la subcuenca del río Minas, donde se localiza el yacimiento de cobre porfirico, denominado Agua Rica.

<b>Tabla N° 5:</b> Ubicación geográfica de las cinco estaciones de monitoreo de agua analizadas en la cuenca del río Andalgala		
<b>Estación</b>	<b>Coordenadas – Sistema POSGAR - WGS 84</b>	
	<b>Y</b>	<b>X</b>
<b>Minas</b>	3.474.261	6.970.738
<b>Candado</b>	3.474.381	6.970.702
<b>Candado – Minas</b>	3.474.231	6.970.591
<b>Blanco</b>	3.473.145	6.963.732
<b>La Toma – río Andalgala</b>	3.472.248	6.956.515



**Figura N° 4:** Ubicación de las estaciones de monitoreo de agua en la cuenca del río Andalgala

La estación **La Toma** se ubica a 8 km al norte de la ciudad de Andalgala y se accede a través de camino asfaltado (ver Fotos N° 5 y 6 en Anexo IV).

La estación **Blanco** se ubica hacia el Norte de la ciudad de Andalgala. Se llega en vehiculo hasta la localidad de El Potrero, distante aproximadamente 10 km al NO de la ciudad mencionada y a partir de allí por senda de montaña, en terreno escarpado, se recorre una distancia aproximada de 6 km caminando o en mulares (2 horas de viaje) hasta el punto de monitoreo (ver Fotos N° 7 y 8 en Anexo IV).

Las estaciones **Minas** y **Candado** se ubican en la cuenca alta del río Andalgala. Se accede desde la ciudad de Andalgala por ruta asfaltada hasta la localidad de El Potrero y luego se continúa por la huella minera de la empresa Agua Rica, que lleva a la zona del proyecto minero. Aproximadamente en el km 28, en el paraje conocido como Melcho, se desciende por una huella minera hasta el arroyo homónimo y luego se continúa por una

estrecha senda - caminando o en mulas - unos 5 km hasta la zona de confluencia de estos dos ríos (ver Fotos N° 9, 10, 11 y 12, en Anexo IV).

La estación **Candado – Minas** se localiza aproximadamente 20 m. aguas abajo de la zona de confluencia de estos dos ríos (ver Fotos N° 13 y 14, en Anexo IV).

#### 4.2.2 Selección de determinaciones analíticas de calidad de agua y caudal

Dentro del amplio espectro de determinaciones (más de 100) que se ejecutan dentro de programa de monitoreo de agua de la empresa Minera Agua Rica se seleccionaron entre 16 a 18 determinaciones – dependiendo de la estación de monitoreo - sobre la base de los siguientes criterios:

- Aniones y cationes principales que permitan caracterizar la tipología del agua superficial.
- Elementos trazas que manifiestan valores por encima del límite de detección de la técnica analítica utilizada por el laboratorio, en la estación río Minas donde se manifiesta el mayor contenido de cationes. Se observó que dichos límites son iguales o se encuentran por debajo de los niveles guía de calidad de agua para bebida humana establecidas por normativas nacionales (Normativa complementaria de la ley 24.585, Código Alimentario Argentino).

Los parámetros seleccionados son: caudal, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, fluoruros, nitratos, calcio, sodio, potasio, magnesio. De los elementos metálicos traza se consideraron hierro, aluminio, manganeso, cobre y zinc.

Se escogieron para la evaluación solo metales en solución, debido a que son los habitualmente estudiados y constituyen la fracción que los organismos vivos incorporan en forma directa a su metabolismo.

Se tuvieron en cuenta los valores de pH y conductividad de laboratorio, en lugar de los obtenidos en campo, debido a que estos últimos están incompletos en la mayor parte de las estaciones. En la información consultada no constan los motivos por los cuales a veces no se han efectuado las mediciones de campo.

#### 4.2.3 Control de calidad de los datos hidroquímicos

La exactitud de los análisis se define como "*la proximidad de una medida al valor establecido como verdadero y expresado generalmente en porcentaje*" y el error relativo *es la unidad recíproca de la exactitud*" (Cardenas León, 2005).

Esta exactitud puede estar afectada de errores sistemáticos debido a fallas en los procedimientos o interferencia durante el proceso de análisis (Appelo y Postma, 1999).

Previo a la interpretación de los datos hidroquímicos se procedió a evaluar su consistencia y coherencia, mediante el establecimiento de una serie de relaciones interparamétricas. Se aplicaron las siguientes técnicas:

##### 4.2.3.1 Balance de electroneutralidad

En una muestra de agua el contenido total de cationes y de aniones, expresado en meq/L, debe ser aproximadamente igual.

Appelo y Postma (op. cit.) denominan a esta relación balance de electroneutralidad y manifiestan que si bien en general se consideran los aniones y cationes mayoritarios en este cálculo, en ocasiones otros elementos minoritarios, tales como el  $\text{Fe}^{+2}$  o el  $\text{NH}^{+4}$ , en aguas subterráneas reductoras o el  $\text{H}^{+}$  o el  $\text{Al}^{+3}$  en aguas ácidas pueden contribuir de manera significativa y deben ser tenidos en cuenta. Para el cálculo del error admisible plantean la siguiente relación:

$$\frac{(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}) \times 100}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} < 5 \%$$

Un error mayor de 5 % implica que los procedimientos de análisis deben ser examinados.

Según Cardenas León (op. cit.), cuanto mayor es la conductividad menor es el error admisible. Establece los siguientes rangos y criterios de aceptación en función de la conductividad eléctrica:

Tabla N° 6: Error admisible en el balance de electroneutralidad de análisis hidroquímicos (Cardenas León, 2005)	
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Error admisible (%)
<100	10%
100 – 500	7%
500 - 1000	5%
> 1000	< 5%

De modo similar, Custodio y Llamas (1983) establecen que el error admisible depende de la concentración y del tipo de agua. Los rangos de conductividad eléctricas versus error admisible que propone son aún más estrictos (multiplica el error analítico por 200) y se muestran en la Tabla siguiente:

Tabla N° 7: Error admisible en el balance de electroneutralidad de análisis hidroquímicos (modificado de Custodio y Llamas, 1983)		
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Error admisible (%) Multiplicado x 200	Error admisible (%) Multiplicado x 100
< 50	30	15
50 - 200	10	5
200 - 500	8	4
500- 2000	4	2
> 2000	4	2

La conductividad eléctrica del agua superficial en la cuenca del río Andalgá en las 5 estaciones de monitoreo analizadas varía en un rango promedio comprendido entre 200 y 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ver Tablas N° 1, 2, 3, 4, 5 en Anexo I).

Considerando los criterios de valor admisible para el balance de electroneutralidad antes planteados, por los distintos autores consultados, se deberían descartar todos los análisis que

evidencien un error mayor al 7 %, al 5 % o 4 %, según los valores dados de conductividad. Esto habría originado la eliminación de la mayor parte de los registros, especialmente en la estación Minas, donde por su acidez natural las determinaciones analíticas son más susceptibles de error.

En consecuencia y a efectos de iniciar un proceso de depuración de datos con un número mínimo de registros hidroquímicos que permita obtener conclusiones generales para este estudio en particular y teniendo en cuenta que se aplicaría también otro criterio de control (ítem 4.3.3.2) se consideró como error admisible el **10 %**.

En el caso del río Minas con drenaje ácido natural, al efectuar el cálculo del balance de electroneutralidad, además de los cationes mayoritarios, se incorporaron metales trazas como el hierro, el aluminio, el manganeso como también nitratos y fluoruros, debido a la mayor proporción presente de estas especies.

#### 4.2.3.2 Relación entre la conductividad eléctrica y la suma de cationes - aniones

Existe una relación entre la conductividad eléctrica y la concentración de iones presentes en una solución.

La conductividad eléctrica (CE) – expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - dividida por 100 debe ser aproximadamente igual a la suma de cationes y a la suma de aniones, expresada en  $\text{meq}/\text{L}$  (Appelo y Postma, op cit.).

$$\begin{aligned} \text{CE}/100 &\approx \sum \text{cationes (meq/L)} \\ \text{CE}/100 &\approx \sum \text{aniones (meq/L)} \end{aligned}$$

Estos autores no especifican cuanto es la desviación admisible entre estos parámetros.

En este mismo sentido APHA, AWWA, WPCF (1992), consideran la siguiente relación, estableciendo un rango de desviación admisible para considerar un resultado químico confiable:

$$\left. \begin{aligned} \sum \text{cationes (meq/L)} \times 100 / \text{CE} \\ \sum \text{aniones (meq/L)} \times 100 / \text{CE} \end{aligned} \right\} 0,1 - 0,9$$

Para obtener la suma de cationes y aniones se tuvieron en cuenta los iones mayoritarios en la mayor parte de los registros provenientes de los programas de monitoreo que se consultaron, excepto en la estación Minas donde por las características de acidez del agua se hicieron intervenir en el cálculo iones minoritarios, tales como nitratos, hierro, aluminio y manganeso.

Aquellos registros cuyas sumas de cationes y de aniones no cumplieran con esta condición se descartaron, aún cuando el error de electroneutralidad estuviese por debajo del 10 %.

#### **4.2.4 Selección de los registros hidroquímicos**

El primer criterio de selección de los registros es que cumplan con los ítems 4.2.3.1 y 4.2.3.2.

Se descartaron los primeros registros disponibles en cada una de las estaciones, correspondientes al primer año de monitoreo de la empresa Minera Agua Rica, debido a que se registraron solo metales totales.

Se excluyeron aquellos registros que carecían de contenidos de algunos cationes o aniones mayoritarios y que impedían efectuar el cálculo del balance de electroneutralidad de la muestra.

Existen algunas pocas muestras duplicadas especialmente a partir del año 2005 (entre 3 a 7), dependiendo de la estación. Se computaron como un registro más al contabilizar el total de muestras consideradas y posteriormente se seleccionó la muestra original o su duplicado, en función del mejor balance de electroneutralidad.

Los datos de la Secretaría de Estado de Minería procedentes del Subprograma de monitoreo de agua de la cuenca del río Andalgá (Unidad de Gestión Ambiental Provincial a; op. cit) se incorporaron – previo control de calidad de los mismos – a la secuencia de datos seleccionados de la empresa Minera Agua Rica.

Los datos de alcalinidad generados en el Subprograma de monitoreo de la estación La Toma (Unidad de Gestión Ambiental Provincial b, op. cit.) se usaron para establecer la confiabilidad de los datos de bicarbonato / alcalinidad procedentes del programa de monitoreo de la empresa Agua Rica, en esta estación. Estos datos también se controlaron usando la relación que vincula la suma de aniones con la conductividad eléctrica.

#### **4.2.5 Obtención de los coeficientes de correlación**

Los metales trazas en la mayor parte de los registros muestran valores por encima del límite de la técnica de detección empleada por los laboratorios, excepto en el caso del río Minas. Por esta razón no se hicieron interactuar en las matrices de correlación.

En la interacción conductividad y sólidos totales disueltos con caudal se tuvo en cuenta la medición puntual realizada en el momento de obtención de la muestra, por considerarse más representativo de las condiciones imperantes que el promedio mensual. Los coeficientes de correlación se calcularon con planilla de cálculo y en consecuencia se presenta su potencia cuadrada en cada figura obtenida.

El resto de las matrices de correlación se calcularon con el programa AquaChem. En todos los casos, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson o coeficiente de correlación lineal.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Registros hidroquímicos confiables**

El programa de calidad de agua que ejecuta la empresa Minera Agua Rica en la cuenca del río Andalgá implica un periodo de medición de calidad de agua que supera los 10 años, con generación de una gran cantidad de datos muy importantes para establecer las condiciones

de base ambiental, en forma previa a la explotación de los recursos mineros. Sin embargo la mayor parte de estos registros no superaron el control de calidad de los datos, especificados en el ítem 4.2.3.

Un resumen cuantitativo de los datos analizados se presenta en la Tabla N° 8, la cual muestra la cantidad de registros y parámetros que incluyen los programas de monitoreo de agua, que han constituido la fuente de información de los datos que se evalúan en el presente informe, como así también el porcentaje de registros hidroquímicos válidos y confiables respecto del total de datos considerados. Estos porcentajes demuestran que más del 50% no son exactos y contienen errores sistemáticos.

**Tabla N° 8:** Registros de calidad de agua por estación de monitoreo

Fuente inform.	ESTACIÓN	La Toma - Andalgá	Minas	Confl. Minas - Candado	Candado	Blanco
Minera Agua Rica (MAR)	Total Analitos (campo/laboratorio):	104	104	106	106	105
	Total analitos seleccionados	19	16	19	19	19
	Total registros de calidad de agua	111	91	70	85	39
	Total de registros considerados	101	80	65	74	31
	Total de registros descartados	72	76	33	45	17
	Total de registros válidos	27	14	32	29	14
Secret. Estado	Total Analitos (campo/laboratorio):	34	34	34	34	34
	Total analitos seleccionados	19	19	19	19	19
Minería (SEM)	Total de registros de calidad de agua (fracción disuelta para cationes)	4	3	4	3	2
	Total de registros válidos	3	1	3	2	2
<b>Total de registros considerados (SEM – MAR)</b>		<b>105</b>	<b>94</b>	<b>74</b>	<b>88</b>	<b>41</b>
<b>Total de registros válidos (SEM – MAR)</b>		<b>29</b>	<b>15</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>12</b>
<b>% registros válidos / registros considerados</b>		<b>28 %</b>	<b>16 %</b>	<b>42 %</b>	<b>35 %</b>	<b>29 %</b>

El detalle de todos los registros hidroquímicos utilizados para efectuar la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, ordenados por estación y fecha, se incluyen en la sección Anexo I, por su gran extensión.

En el caso de los registros hidroquímicos de la estación La Toma, se ha inferido que el error de balance de electroneutralidad existente en gran parte de las muestras consideradas – periodo Octubre de 1998 a julio de 2004 - se debió a valores probablemente erróneos en la determinación de bicarbonato y alcalinidad, ambas expresadas como mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

Atendiendo a que existe una estrecha relación entre el pH del agua y las especies dominantes de ácido carbónico. Langmuir (1977), menciona que en general por debajo de 6,3 predomina el ácido carbónico, entre 6,5 y 10,3 domina el bicarbonato y por encima de 10,3 la especie predominante es el carbonato.

Considerando el pH promedio (7,8) que posee el agua del río Andalgá en este punto de control, la alcalinidad se debe principalmente a la presencia en solución de bicarbonato y en mucha menor proporción a otras especies que pudiese contener, tales como hidróxidos y carbonato.

Por lo tanto, si las determinaciones están correctamente realizadas, el contenido de bicarbonato no debe superar al contenido de alcalinidad. En el caso de la estación La Toma, en gran parte de los registros se informan valores de bicarbonato, superiores a los de alcalinidad. En el periodo octubre de 1998 a febrero de 2000, los valores de bicarbonato duplican a los contenidos de alcalinidad y al promedio de los valores obtenidos en el año 1997. Entre abril de 2000 a julio de 2004, los valores de alcalinidad disminuyen aproximadamente a la mitad del promedio de los valores obtenidos en el año 1997.

Tomando como valores de referencia los datos existentes en la base de datos de la Secretaría de Estado de Minería (ver Tabla N° 9) y aquellos informados con iguales valores para ambas determinaciones, correspondientes principalmente al año 1997 (registros que han superado el control de calidad de los datos) se optó por hacer intervenir en el balance de electroneutralidad los valores de bicarbonato.

**Tabla N° 9:** Datos hidroquímicos – Subprograma de monitoreo estación La Toma – Andalgá

Fecha extracción	pH lab.	Conductividad lab. a 25 °C	Alcalinidad total	Sulfato	Cloruro
		( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )
15/02/07	7,34	176	55,0	21	8,2
19/02/07	8,33	225	67,0	35	4,9
22/02/07	8,05	249	70,0	39	5,0
26/02/07	8,54	266	72,0	39	3,8
01/03/07	8,52	244	71,0	42	3,4
05/03/07	8,47	235	69,0	43	3,8
08/03/07	8,60	230	70,0	38	3,8
12/03/07	8,51	258	76,0	43	3,5
15/03/07	8,60	239	70,0	37	2,9
19/03/07	8,51	292	76,0	42	3,8
22/03/07	8,51	235	72,0	43	3,6
26/03/07	8,59	247	72,0	39	3,4
29/03/07	8,60	244	72,0	43	3,8
03/04/07	8,33	257	73,0	41	3,6
09/04/07	8,42	260	73,0	46	3,3
12/04/07	8,19	254	79,0	44	3,5
16/04/07	8,20	255	72,0	44	3,0
19/04/07	8,32	250	73,0	46	3,5
23/04/07	8,46	253	71,0	46	3,2
25/04/07	8,27	259	73,0	47	3,5
03/05/07	8,54	276	74,0	43	3,2
07/05/07	8,61	245	73,0	45	3,0
10/05/07	8,80	243	74,0	47	3,4
14/05/07	8,69	254	72,0	47	3,4
17/05/07	8,64	247	74,0	50	3,3
23/05/07	8,56	260	77,0	52	3,3
28/05/07	7,97	264	74,0	48	3,1
31/05/07	8,50	254	77,0	54	3,8
04/06/07	8,51	255	72,0	51	3,1

<b>Tabla N° 9 (Continuación):</b> Datos hidroquímicos – Subprograma de monitoreo estación La Toma – Andalgá					
<b>Fecha extracción</b>	<b>pH lab.</b>	<b>Conductividad lab. a 25 °C</b>	<b>Alcalinidad total</b>	<b>Sulfato</b>	<b>Cloruro</b>
		( $\mu S/cm$ )	( $mg/L$ )	( $mg/L$ )	( $mg/L$ )
07/06/07	8,22	262	69,0	53	3,4
11/06/07	8,06	273	74,0	49	3,3
14/06/07	8,61	271	74,0	52	2,9
19/06/07	8,47	260	72,0	49	2,9
21/06/07	8,70	247	73,0	52	2,9
21/06/07	8,62	255	70,0	51	2,9
25/06/07	8,66	266	71,0	51	3,1
28/06/07	8,40	260	77,0	52	3,4
02/0707	8,74	265	74,0	51	3,1
		<b>Promedio</b>	<b>72,3</b>		
<i>Fuente de información: Unidad de Gestión Ambiental Provincial b, 2007</i>					

Los datos hidroquímicos de las estaciones de monitoreo Blanco, Candado y Candado – Minas presentan el mismo conflicto con los datos de bicarbonato y alcalinidad que la estación La Toma, aunque la situación es completamente a la inversa ya que los valores de alcalinidad – comparado con los datos de referencia – son los más confiables.

## 5.2 Caudales de los ríos de la cuenca y su relación con las lluvias

Se han detectado errores de cálculo e incongruencias entre los valores de caudales mínimos, máximos y promedios - mensuales y anuales presentados en las tablas - resúmenes contenidas en el expediente E 1898/97 (Minera Agua Rica b, op. cit.). Por ejemplo, caudal promedio mayor al máximo medido en algunas fechas, valores anormalmente altos, etc., lo que condujo a efectuar la revisión detallada y nuevo cálculo de estos promedios sobre la base de cada uno de los aforos realizados.

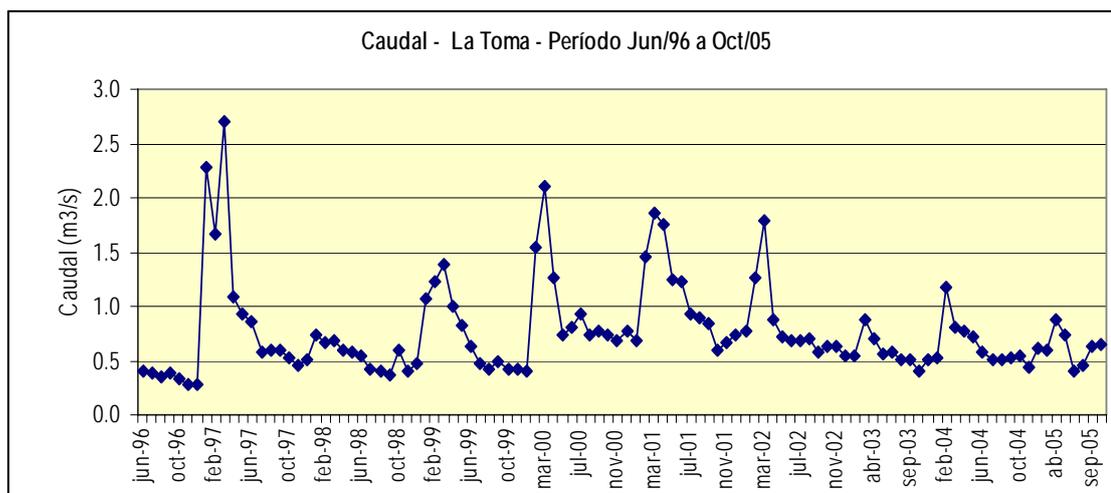
La Tabla N° 10 muestra los valores de caudales mínimos, máximos y promedios anuales calculados a partir de las mediciones realizadas por la empresa Minera Agua Rica en las estaciones de monitoreo de la cuenca estudiada, en un periodo de varios años, durante gran parte de la década pasada y la presente, mediante aforos puntuales, con frecuencia variable entre bimestral y semanal. Se indica también la cantidad de cantidad de aforos efectuados por año.

Debido a su extensión las tablas que contienen la totalidad de los datos promedios mensuales obtenidos discriminados por año y por estación de monitoreo, se incluye en la sección Anexo II.

El río Andalgá, en la estación La Toma, presenta un caudal promedio de **0,74 m<sup>3</sup>/s**, calculado a partir de los registros medidos entre junio de 1996 a octubre de 2005. Los máximos caudales del río se producen en la época estival especialmente en marzo, como puede observarse en la Figura N° 5.

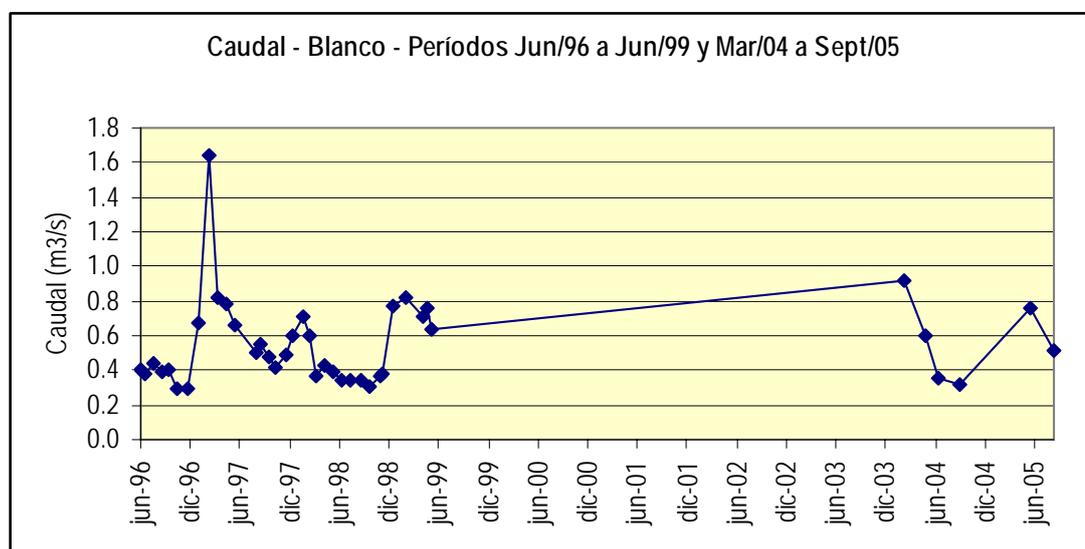
<b>Tabla N° 10:</b> Caudal promedio anual medido en los ríos de la cuenca de Andalgá						
Estación	Año	Cantidad de aforos	Caudal m <sup>3</sup> /s			Promedio anual período
			Máximo	Mínimo	Promedio	
Río Caudado	1996	17	0,273	0,061	0,128	0,24
	1997	35	1,202	0,137	0,281	
	1998	39	0,424	0,094	0,151	
	1999	30	0,935	0,098	0,267	
	2000	17	1,035	0,146	0,380	
	2001	16	0,504	0,137	0,274	
	2002	11	0,409	0,136	0,256	
	2003	7	0,205	0,123	0,144	
	2004	5	0,286	0,123	0,193	
	2005	4	0,479	0,161	0,329	
Río Minas	1996	21	0,044	0,017	0,025	0,06
	1997	45	0,261	0,014	0,067	
	1998	52	0,058	0,024	0,041	
	1999	29	0,250	0,035	0,059	
	2000	29	0,151	0,023	0,082	
	2001	17	0,093	0,035	0,067	
	2002	11	0,072	0,050	0,061	
	2003	7	0,059	0,025	0,037	
	2004	4	0,171	0,043	0,094	
	2005	3	0,084	0,012	0,049	
La Toma - río Andalgá	1996	24	0,408	0,216	0,343	0,74
	1997	42	4,375	0,418	1,066	
	1998	41	0,834	0,349	0,538	
	1999	38	1,743	0,359	0,731	
	2000	45	2,265	0,027	1,009	
	2001	41	2,267	0,479	1,074	
	2002	52	1,793	0,541	0,822	
	2003	13	1,142	0,405	0,576	
	2004	21	1,171	0,348	0,645	
	2005	10	0,884	0,416	0,622	
Río Blanco	1996	14	0,400	0,346	0,373	0,57
	1997	30	0,841	0,565	0,703	
	1998	41	0,479	0,384	0,431	
	1999	7	0,763	0,719	0,741	
	<b>2000 a 2003 – Sin mediciones</b>					
	2004	6	0,577	0,520	0,549	
	2005	2	0,639	0,639	0,639	

Fuente de información: Minera Agua Rica b, 2006



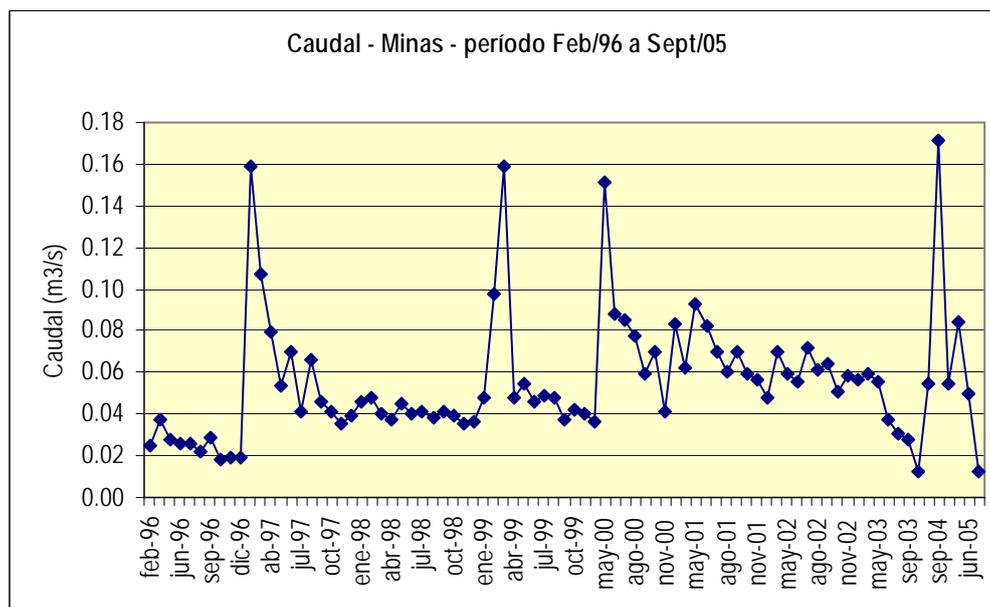
**Figura N° 5:** Evolución temporal del caudal medido en la estación La Toma entre noviembre de 1996 y junio de 2004.

El río Blanco, es el más caudaloso de la cuenca, con un promedio anual de **0,57 m³/s** teniendo en cuenta mediciones mensuales realizadas entre junio de 1996 a junio de 1999 y marzo de 2004 y septiembre de 2005. Las lluvias constituyen el principal aporte en esta subcuenca, hecho evidenciado por los caudales máximos verificados en los meses de verano (ver Figura N° 6). Se observan máximos secundarios en los meses de invierno, debido a que este río también tiene aportes por derretimiento de nieves, no tan marcado como el río El Candado.



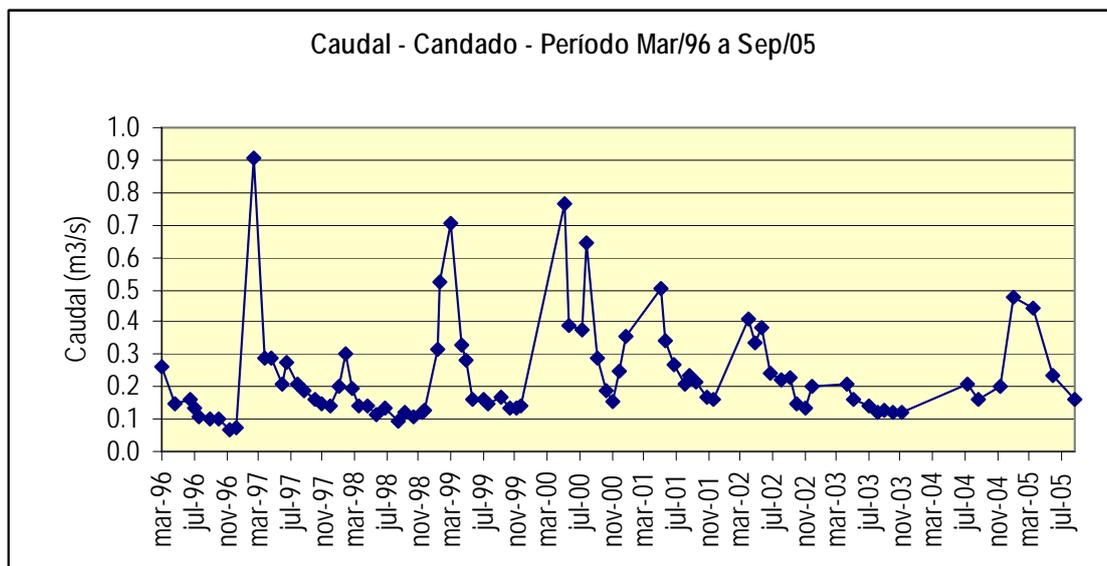
**Figura N° 6:** Evolución temporal del caudal medido en la estación río Blanco entre junio de 1996 y junio de 1999 y entre marzo de 2004 a septiembre de 2005. Entre la mitad del año 1999 y principios del año 2004, no hubo mediciones.

El aporte del río Minas con **0,06 m³/s** es el menos significativo. En la Figura N° 7 se muestran los caudales medidos en este río en el período comprendido entre febrero de 1996 a septiembre de 2005.



**Figura N° 7:** Evolución temporal del caudal medido en la estación río Minas entre febrero de 1996 y a septiembre de 2005.

El río Candado presenta un caudal promedio de **0,24 m³/s**, en el periodo comprendido entre marzo de 1996 y septiembre de 2005 (Figura N° 8). Los máximos valores corresponden a la época estival – coincidente con los meses de mayores precipitaciones y también a la época invernal – consecuencia del derretimiento de nieve acumulada en las zonas de altas cumbres.



**Figura N° 8:** Evolución temporal del caudal medido en la estación río Candado entre marzo de 1996 y a julio de 2005.

Se ha intentado analizar la relación entre las lluvias de las dos estaciones automáticas disponibles (ver ítem 4.1.1) y los caudales aforados mensuales. Sin embargo la falta de buena

correlación entre estas variables, hacen presuponer errores (causas desconocidas) en los registros de precipitaciones por lo que han sido descartados de este estudio.

### 5.3 Caracterización química del agua

Se presenta la caracterización química del agua en función de:

- Análisis detallado de cada una de las estaciones de monitoreo comenzando por la sección superior de la cuenca, presentando las variables estadísticas básicas más relevantes y la matriz de correlación con los parámetros físicos químicos y elementos mayoritarios en disolución, en cada caso particular.
- Análisis integral de los tipos de agua dominantes en la cuenca hídrica en estudio.

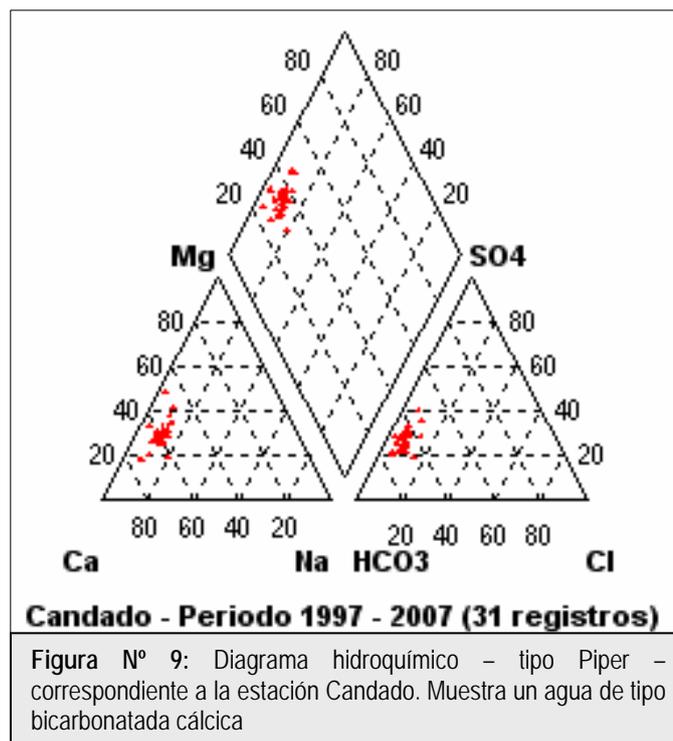
#### 5.3.1 Hidroquímica por estación de monitoreo

##### 5.3.1.1 Estación Candado

Se analizaron **88** registros y luego de aplicarles los controles de calidad y criterios de selección detallados en el ítem 5, Metodología, se escogió para esta evaluación un total de **31** que representan el **35 %** del total de registros disponibles.

Las Tablas N° 11 y 12 muestran las variables estadísticas más representativas para estos 31 registros y la matriz de correlación entre los parámetros físicos químicos principales de los mismos, respectivamente. Solo algunas pocas variables presentan una mediana correlación.

El diagrama Piper (Figura N° 9) muestra un tipo de agua bicarbonatada cálcica para esta estación, siendo el magnesio el catión que le sigue en orden de importancia por sus contenidos relativos. El contenido de bicarbonato promedio es de 95,2 mg/L y el de calcio de 25,7 mg/L.



**Tabla N° 11: Estadística de datos hidroquímicos - Estación de monitoreo Río Candado**

CANDADO	Unidad	N° Observ.	Promedio	Mediana	Desv. St	Min.	Máx.
pH lab		31	7,57	7,70	0,51	6,40	8,20
CE lab	μS/cm	31	219	220	22	160	270
STD	mg/L	31	168	145	63	95	420
HCO <sub>3</sub> (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	31	141	154	38	59	180
* HCO <sub>3</sub>	mg/L	31	95	98	11	73	111
ALC. (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	31	78	80	9	60	91
Cl	mg/L	31	6,62	6,60	2,23	1,80	12
SO <sub>4</sub>	mg/L	31	31,03	30	7,65	18	48
NO <sub>3</sub>	mg/L	14	4,26	2,15	4,43	0,70	13
F	mg/L	13	0,67	0,70	0,35	0,10	1,10
Mg	mg/L	31	7,66	8,00	1,83	4,00	13,20
Ca	mg/L	31	25,70	26	3,78	17,00	33,80
K	mg/L	31	1,92	1,80	0,66	0,70	4,00
Na	mg/L	31	5,23	5,30	1,60	1,60	10,00
Al	mg/L	27	0,27	0,27	0,19	0,02	0,70
Fe	mg/L	19	0,81	0,20	2,14	0,06	9,5
Mn	mg/L	21	0,08	0,07	0,03	0,04	0,17
Cu	mg/L	6	0,12	0,13	0,08	0,02	0,20
Zn	mg/L	14	0,14	0,06	0,31	0,02	1,20
Caudal puntual	L/s	14	417	333	315	136	1220

\* Datos calculados a partir del valor de bicarbonato expresado como carbonato de calcio.

**Tabla N° 12: Coeficientes de correlación - estación Candado**

	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	HCO <sub>3</sub>	Cond.	STD	K
Na	1	0,24	-0,24	-0,005	0,15	0,19	0,093	0,32	-0,15	-0,11
Ca		1	-0,35	0,17	<b>0,45</b>	0,087	<b>0,42</b>	<b>0,55</b>	0,14	0,17
Mg			1	0,056	0,27	-0,32	0,18	-0,032	0,37	-0,35
Cl				1	0,11	-0,005	0,16	0,075	-0,24	0,23
SO <sub>4</sub>					1	-0,043	0,12	<b>0,46</b>	0,24	-0,046
pH						1	-0,026	0,21	<b>-0,44</b>	0,041
HCO <sub>3</sub>							1	<b>0,43</b>	0,36	-0,25
Conductiv.								1	0,31	-0,008
STD									1	-0,027
K										1

El pH promedio es de 7,52. El coeficiente de correlación de **-0,44** entre los Sólidos Totales Disueltos (promedio 168 mg/L) y el pH, indica que cuando el agua se diluye y baja la concentración de sustancias disueltas se incrementa el pH.

La conductividad promedio es de 219 μS/cm y se vincula en forma directa y positiva con el calcio (coeficiente de correlación **0,55**), el sulfato (coeficiente de correlación **0,46**) y el bicarbonato (coeficiente de correlación **0,43**).

Existe una baja correlación entre conductividad (CE) y STD (coeficiente de correlación **0,31**) lo que estaría indicando que los registros analizados aún cuando han superado un

control de calidad mínimo de sus relaciones interparamétricas pueden contener algunos errores.

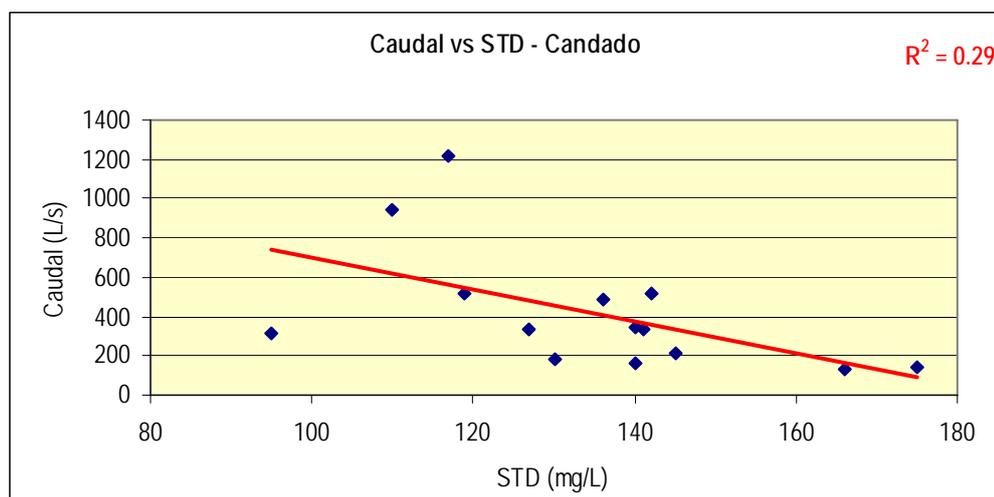
Los valores de sulfatos son bajos (promedio 31,0 mg/L) y se correlacionan en forma positiva y moderada con el contenido de calcio (coeficiente de correlación **0,45**).

Entre los metales traza, el hierro es el más abundante con un promedio de 0,81 mg/L. Este valor está fuertemente influenciado por un registro de 9,5 mg/L, correspondiente al 03/12/2002, bastante elevado si se considera que el pH medido es de 7,5 y si se compara con los valores medidos de este elemento en otras fechas. El valor de la mediana de 0,20 mg/L es seguramente más representativo, ya que muestra una menor dependencia de los valores extremos.

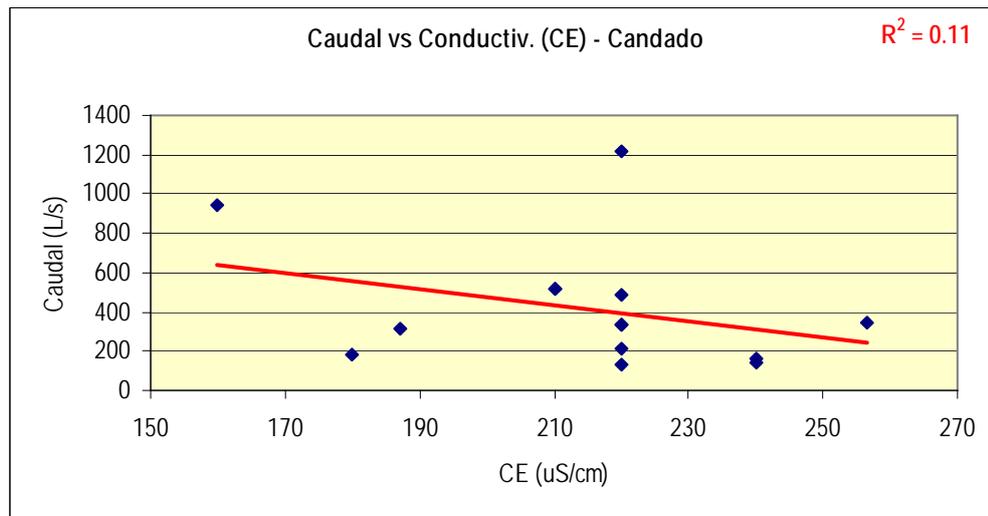
El aluminio con una media de 0,26 mg/L, en un 40 % de las muestras analizadas muestra valores que superan ligeramente los niveles guías de calidad de agua potable.

Los contenidos de cobre y cinc son muy bajos, evidenciándose solo en pocas muestras algún valor por encima del nivel de detección de la técnica empleada para su análisis.

La correlación entre el contenido de los sólidos totales disueltos con los caudales puntuales medidos es moderada e inversa determinando un coeficiente de correlación de **-0,54** (ver Figuras N° 10), indicando que cuando existe mayor cantidad de agua las sustancias disueltas tienden a diluirse. Con la conductividad la relación es del mismo tipo, aunque un poco menor, como se observa en la Figura N° 11. En este caso el coeficiente de correlación alcanza un valor muy bajo (**-0,33**). En estas dos últimas figuras se presenta en rojo la potencia cuadrada del coeficiente antes mencionado.



**Figura N° 10:** Correlación entre caudal y sólidos totales disueltos en la estación Candado



**Figura N° 11:** Correlación entre caudal y conductividad eléctrica (CE) en la estación Caudado.

### 5.3.1.2 Estación Minas

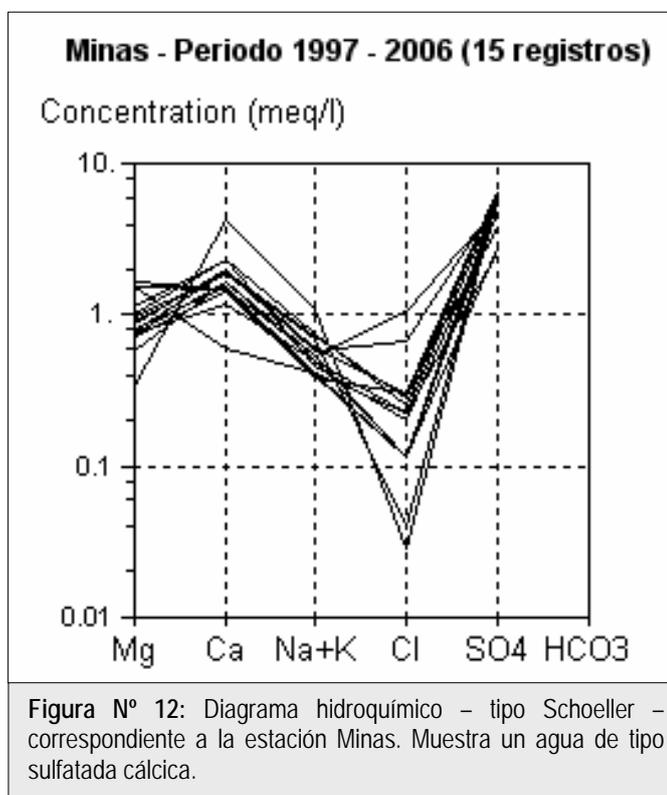
Esta estación es la que evidencia el mayor porcentaje de error en el control de calidad de los datos analizados. De un total de **94** registros, solamente **15** superan el mencionado control (**16%**).

La Tabla N° 13 contiene el resumen estadístico de las especies analizadas para esta estación.

MINAS	Unidad	N° Obs.	Promedio	Mediana	Desv. St	Mín.	Máx.
<b>pH lab</b>		15	3,21	3,20	0,41	2,80	4,20
<b>CE lab</b>	µS/cm	15	618	650	148	320	852
<b>STD</b>	mg/L	15	441	460	114	205	610
<b>Cl</b>	mg/L	15	9,62	8,00	9,62	1,00	38,00
<b>SO<sub>4</sub></b>	mg/L	15	255	276	64	123	321
<b>NO<sub>3</sub></b>	mg/L	15	6,19	6,00	3,74	0,40	12,00
<b>F</b>	mg/L	14	0,53	0,35	0,73	0,10	3,00
<b>Mg</b>	mg/L	15	11,69	10,50	4,55	4,16	19,80
<b>Ca</b>	mg/L	15	36,83	33,00	15,78	12,00	84,38
<b>K</b>	mg/L	15	8,10	8,40	1,95	5,41	12,80
<b>Na</b>	mg/L	15	8,41	7,20	3,99	4,00	19,94
<b>Al</b>	mg/L	15	13,26	16,10	5,54	2,00	19,00
<b>Fe</b>	mg/L	15	13,06	14,14	7,49	0,10	28,20
<b>Mn</b>	mg/L	15	1,89	1,90	0,55	1,00	2,90
<b>Cu</b>	mg/L	14	0,95	1,01	0,45	0,00	1,60
<b>Zn</b>	mg/L	15	0,73	0,79	0,28	0,20	1,10
<b>Caudal puntual</b>	L/s	7	126	99	124	32	376

El agua, de tipo sulfatada cálcica, es ácida con pH promedio de 3,1.

El diagrama de Schoeller de la Figura N° 12 muestra que la especie bicarbonato esta ausente, debido a que a pH menores a 4,5 se forma otra especie carbonatada, el  $H_2CO_3$  (Appelo, op. cit).



La conductividad eléctrica con un promedio de 618  $\mu S/cm$ , es la más elevada dentro del espectro de las aguas analizadas, debido a la presencia en solución de mayor cantidad y concentración de iones.

Los cationes principales, como el calcio y el magnesio, muestran un mayor contenido – respecto de las otras estaciones analizadas (promedios 36,8 mg/L y 11,7 mg/L). Se manifiestan metales trazas como el aluminio, el hierro y el manganeso con promedios de 13,3 mg/L, 13,06 mg/L y 1,89 mg/L respectivamente, los que superan ampliamente los niveles guías de calidad de agua para bebida humana establecidas por normativas nacionales (ver Anexo II – Normativa complementaria de la ley 24.585 y Código Alimentario Argentino).

El hierro y el aluminio deben provenir de la descomposición de sulfuros que contienen hierro (pirita) y de otros minerales presentes en rocas ígneas y metamórfica, constituyentes de la cuenca (horblenda, feldespatos alcalinos).

El cobre – con un promedio de 0,95 mg/L supera levemente los niveles guías mencionados. El contenido de cinc –promedio 0,73 mg/L - si bien es detectable por las técnicas analíticas empleadas por los laboratorios, se encuentra por debajo de dichos niveles.

El sulfato, con promedio de 255 mg/L procede fundamentalmente de la oxidación de sulfuros de las áreas mineralizadas.

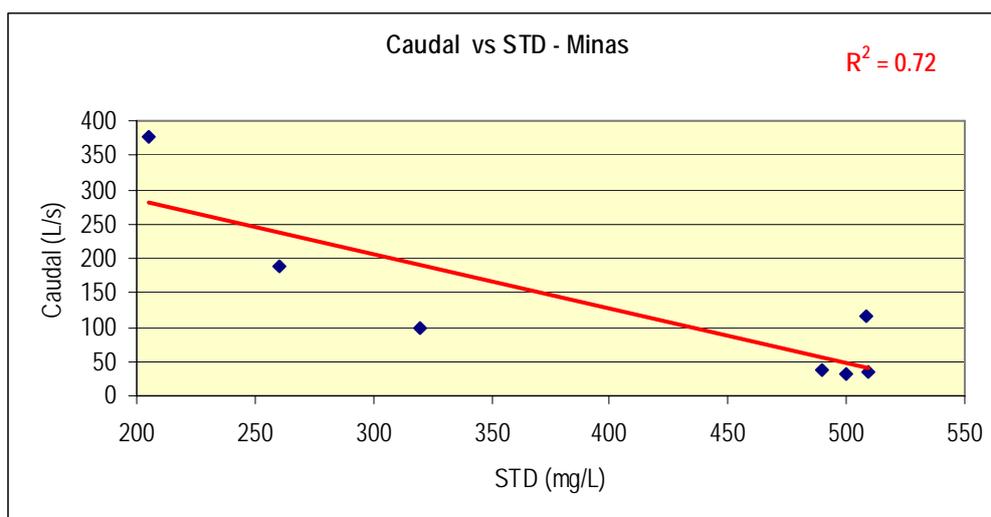
A pesar de ser la estación en la cual se han descartado la mayor cantidad de datos, es la que es la que presenta los coeficientes de correlación más altos de la totalidad de estaciones consideradas, tal cual se muestra en la Tabla N° 14.

Tabla N° 14: Coeficientes de correlación - estación Minas									
	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	Cond.	STD	K
Na	1	<b>0,848</b>	-0,42	-0,167	0,569	-0,076	<b>0,715</b>	<b>0,566</b>	0,249
Ca		1	-0,053	-0,163	0,386	-0,009	<b>0,603</b>	0,47	0,369
Mg			1	0,352	-0,042	-0,217	-0,084	0,101	-0,364
Cl				1	0,013	-0,135	0,033	0,311	0,053
SO <sub>4</sub>					1	<b>-0,774</b>	<b>0,926</b>	<b>0,792</b>	0,217
pH						1	-0,065	<b>-0,661</b>	0,188
Conductiv.							1	<b>0,883</b>	0,292
STD								1	0,218
K									1

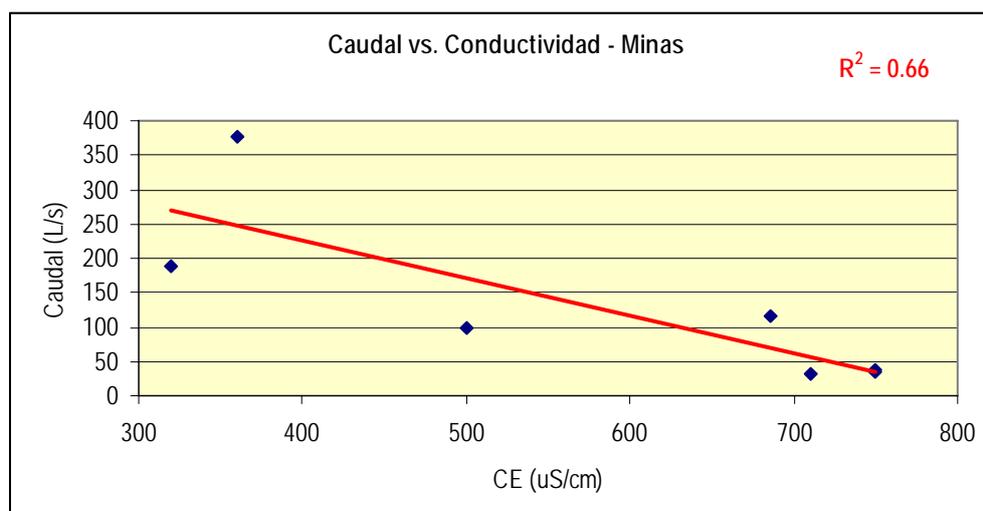
La conductividad esta condicionada en gran medida por el contenido de sulfatos demostrada por una muy buena correlación positiva, **0,93** y en menor medida con el sodio y el calcio (**0,71** y **0,60**). En este caso existe una muy buena correlación entre la conductividad y los STD (**0,88**).

Por otro lado, sulfatos y pH muestran buena correlación pero de carácter inversa (coeficiente de correlación igual a **-0,77**).

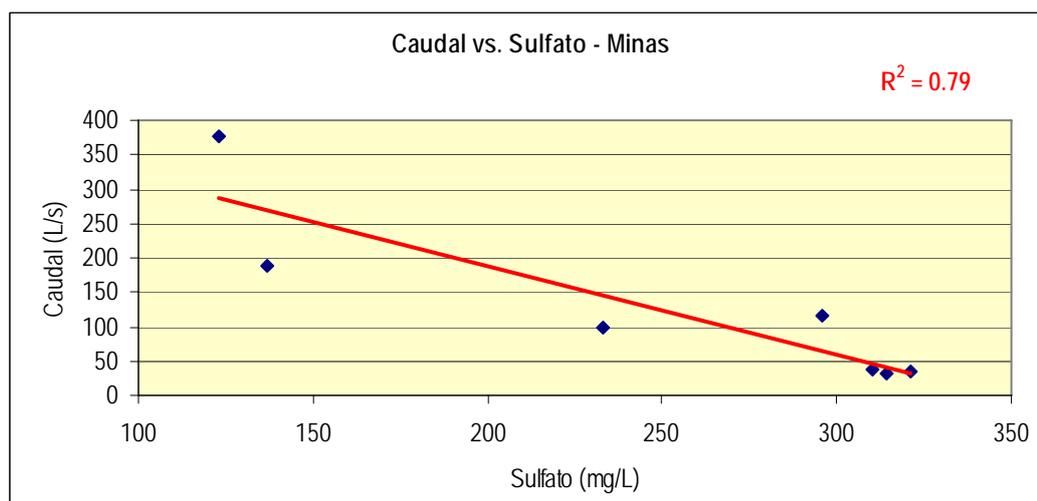
Existe una buena correlación entre el caudal puntual medido sobre río Minas y los parámetros STD y conductividad eléctrica (coeficiente de correlación **-0,85** y **-0,81** respectivamente) e incluso con relación al contenido de sulfatos (coeficiente de correlación **-0,89**). Esto puede ser observado en las Figuras N° 13, 14 y 15, indicando que en cursos de agua de escaso caudal y gran cantidad de elementos disueltos la disponibilidad de mayor o menor cantidad de agua influye en gran medida en la variación de su concentración.



**Figura N° 13:** Relación inversa entre el caudal puntual medido en estación Minas y los sólidos totales disueltos. En rojo se destaca la potencia cuadrada del coeficiente de correlación.



**Figura N° 14:** Relación inversa entre el caudal puntual medido en estación Minas y la conductividad eléctrica (CE). En rojo se destaca la potencia cuadrada del coeficiente de correlación.



**Figura N° 15:** Relación inversa entre el caudal puntual medido en estación Minas y el sulfato. En rojo se destaca la potencia cuadrada del coeficiente de correlación.

### 5.3.1.3 Estación Candado – Minas

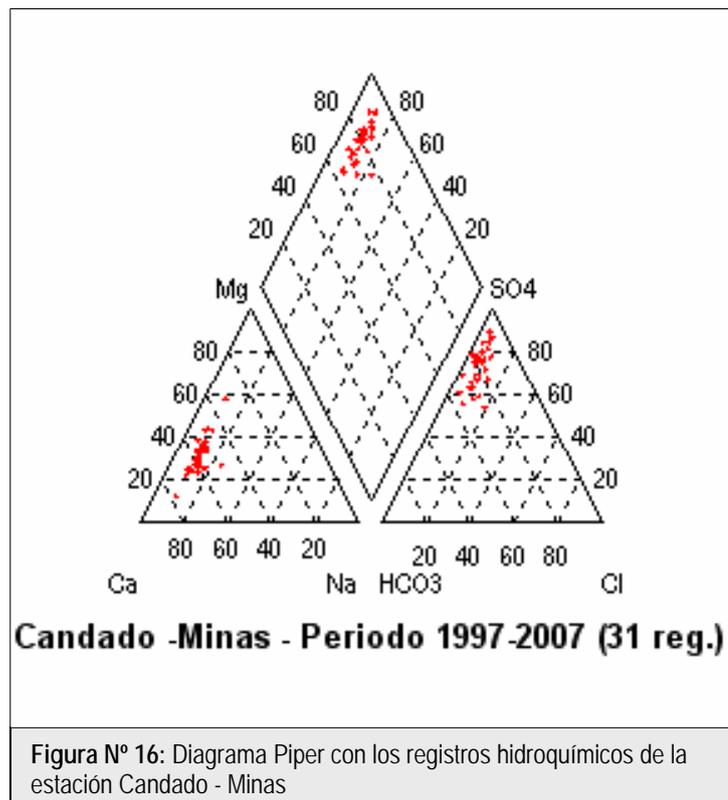
Se analizaron **74** registros, de los cuales se escogieron **31**, que representan el **42%**, siendo ésta la estación que presenta más datos válidos de todas las analizadas.

Esta estación se ubica unas pocas decenas de metros, luego que el río Minas confluye con el río Candado. Este aporte, de escaso caudal (promedio anual  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es suficiente para que el tipo de agua del río Candado (caudal de  $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) cambie de bicarbonatada cálcica a sulfatada cálcica y el pH baje a valores ligeramente menores de 7 (promedio 6,63). Esto se evidencia claramente en el diagrama Piper (Figura N° 16), con una nube de puntos que se acerca al vértice superior del rombo central.

El catión predominante sigue siendo el calcio, ya que ambos tipos de agua es el ión de carga positiva que se encuentra en mayor proporción, aunque manifiesta un comportamiento mas disperso que aguas arriba, seguido por el magnesio.

Del análisis estadístico de los parámetros físicos – químicos seleccionados y de la matriz de correlación se infiere (Tablas N° 15 y 16):

- La conductividad con un promedio igual a 271  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correlaciona medianamente con el calcio (coeficiente de correlación **0,56**) y con el sulfato (coeficiente de correlación **0,45**).
- El contenido promedio de bicarbonatos es de 31,9 mg/L, varias veces menor que el que muestra el río Candado antes de la confluencia. El coeficiente de correlación de – **0,61** de esta especie con el sulfato, pone de manifiesto el comportamiento opuesto de ambos parámetros.
- El calcio presenta un promedio de 28,7 mg/L y el sulfato de 93,4 mg/L.
- El hierro, el aluminio y el manganeso se presentan con contenidos anómalos (superior a lo establecido por normativas nacionales para calidad de agua potable) con promedios de 0,63 mg/L, 0,86 mg/L y 0,56 mg/L respectivamente, menores que los que manifiesta el río Minas.



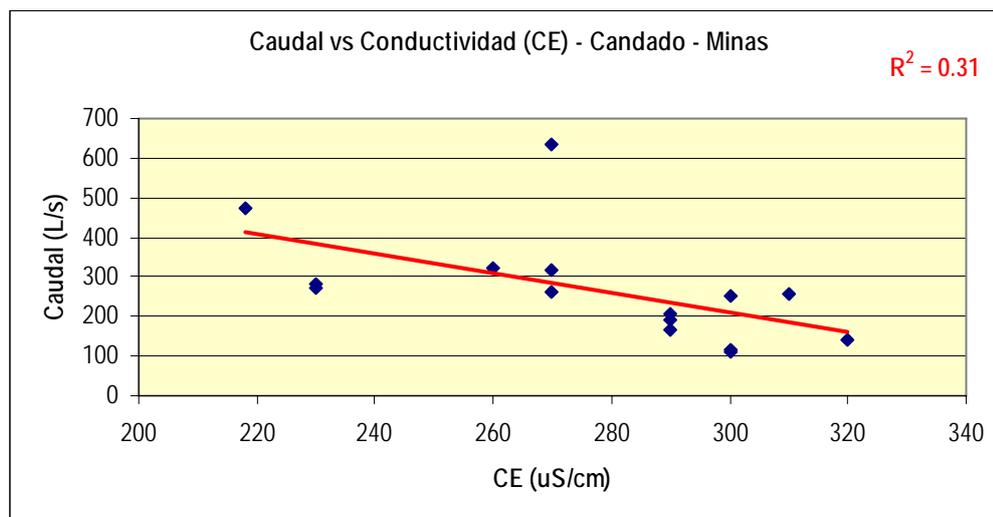
**Tabla N° 15:** Estadística de datos hidroquímicos - Estación de monitoreo Confluencia Candado - Minas

CANDADO MINAS	Unidad	N° Obser	Promedio	Mediana	Desv. St	Min.	Máx.
pH lab		31	6,63	6,50	0,47	5,50	7,70
CE lab	µS/cm	31	271	270	26,1	218	320
STD	mg/L	30	80,6	61,0	70,6	13,0	374
* HCO <sub>3</sub>	mg/L	31	31,9	32,9	11,0	11,2	54,9
ALC. (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	31	26,2	27,0	9,0	9,20	45,0
Cl	mg/L	31	7,7	7,0	4,08	1,40	18,0
SO <sub>4</sub>	mg/L	31	93,4	92,0	19,2	59,0	124
NO <sub>3</sub>	mg/L	8	3,16	2,65	1,70	2,00	7,00
F	mg/L	9	0,68	0,60	0,30	0,20	1,20
Mg	mg/L	31	9,52	9,30	2,63	4,00	19,0
Ca	mg/L	31	28,7	28,0	4,6	21,0	42,0
K	mg/L	31	3,34	3,30	0,91	1,80	5,50
Na	mg/L	31	6,74	6,30	1,98	3,40	14,2
Al	mg/L	29	0,86	0,50	1,05	0,12	4,50
Fe	mg/L	25	0,63	0,50	0,55	0,08	2,37
Mn	mg/L	31	0,56	0,55	0,19	0,20	0,99
Cu	mg/L	25	0,16	0,15	0,11	0,02	0,42
Zn	mg/L	28	0,26	0,25	0,08	0,11	0,50
Caudal puntual	L/s	15	267	259	138	112	637

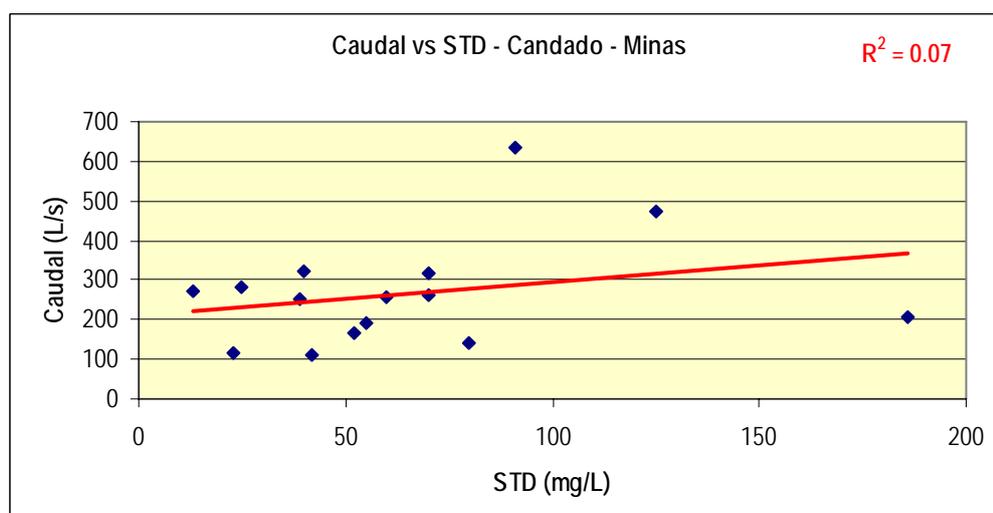
**Tabla N° 16 :** Coeficientes de correlación – estación Candado - Minas

	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	HCO <sub>3</sub>	Cond.	STD	K
Na	1	0,18	-0,151	0,0037	0,074	0,274	0,047	0,225	-0,183	-0,194
Ca		1	-0,52	0,198	0,222	-0,025	0,0018	<b>0,56</b>	0,028	0,035
Mg			1	0,016	0,308	0,263	-0,228	-0,201	0,01	0,215
Cl				1	-0,15	-0,07	0,281	0,326	0,072	0,187
SO <sub>4</sub>					1	-0,2	<b>-0,615</b>	<b>0,446</b>	0,109	0,21
pH						1	0,274	0,184	0,064	-0,203
HCO <sub>3</sub>							1	-0,034	0,003	-0,097
Conductiv.								1	1	0,091
STD										<b>0,561</b>
K										1

- El caudal puntual correlaciona bien y en forma negativa con la conductividad eléctrica (coeficiente de correlación **0,56** o  $R^2=0,31$ ).
- Caudal y STD en esta estación no parecen tener relación (coeficiente de correlación **0,26**) y es en la única estación donde el comportamiento de estas dos variables es **directo**. Este comportamiento anómalo – teniendo en cuenta que los STD deberían disminuir al incrementarse el caudal, tal como sucede con la conductividad – hacen suponer un error en el cálculo de los STD (ver Figuras N° 17 y 18).



**Figura N° 17:** Relación entre caudal puntual y conductividad eléctrica (CE) en la estación Candado – Minas.



**Figura N° 18:** Relación entre caudal puntual y sólidos totales disueltos (STD) en la estación Candado – Minas.

#### 5.3.1.4 Estación Río Blanco

Esta estación es la que presenta menor cantidad de registros de calidad de agua en el periodo considerado. No ha sido muestreada por la empresa minera en el período comprendido entre 1999 y 2003.

De un total de **41** registros analizados, solo **12 (29%)** han superado el control de calidad de las relaciones interparamétricas.

Los registros hidroquímicos comprendidos entre noviembre de 1998 y principios de 2004 presentan valores de bicarbonato que duplican a los contenidos de alcalinidad. Aún cuando se ha tomado como valor válido los contenidos de alcalinidad, la mayor parte se ha descartado ya que el balance de electroneutralidad no ha cerrado adecuadamente.

El tipo de agua es bicarbonatada cálcica en todas las muestras evaluadas (Diagrama Piper – Figura N° 19). El contenido promedio de bicarbonato es de 111 mg/L y de calcio es de 21,6 mg/L.

La estadística de los 12 registros se presenta en la Tabla N° 17 y la matriz de correlación se muestra en la Tabla N° 18.

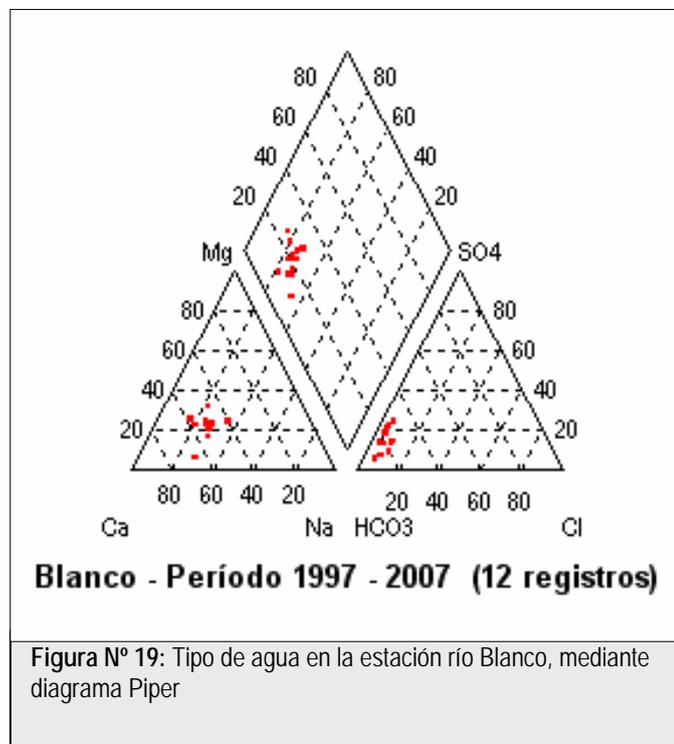


Tabla N° 17: Estadística de datos hidroquímicos - Estación de monitoreo río Blanco								
BLANCO	Unidad	N° Observ.	Promedio	Mediana	Desv, St	Min,	Máx,	
pH lab		12	8,00	8,05	0,32	7,20	8,40	
CE lab	μS/cm	12	209	202	33	152	250	
STD	mg/L	12	143	142	16,38	120	166	
HCO <sub>3</sub> (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	12	90,6	92,5	17,4	59,6	114	
* HCO <sub>3</sub>	mg/L	12	111	113	21,2	72,7	139	
ALC. (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	12	90,8	92,5	17,2	59,6	114	
Cl	mg/L	12	5,70	4,50	3,01	2,70	10,00	
SO <sub>4</sub>	mg/L	12	16,2	17,3	6,86	6,00	29,0	
NO <sub>3</sub>	mg/L	3	0,70	0,10	1,04	0,10	1,90	
F	mg/L	5	1,01	1,02	0,65	0,20	1,70	
Mg	mg/L	12	5,84	5,95	1,74	1,14	8,00	
Ca	mg/L	12	21,6	21,5	3,10	15,00	26,4	
K	mg/L	12	1,85	1,55	1,01	0,90	4,40	
Na	mg/L	12	12,3	12,00	3,49	7,00	20,0	
Al	mg/L	4	0,07	0,05	0,06	0,01	0,16	
Fe	mg/L	6	0,12	0,12	0,06	0,03	0,20	
Mn	mg/L	4	1,50	0,04	2,93	0,01	5,89	
Cu	mg/L		<i>Todos los valores – excepto 1 – se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica</i>					
Zn	mg/L	3	0,03	0,04	0,02	0,00	0,05	
Caudal puntual	L/s	8	263	243	77,1	178	412	

Tabla N° 18: Coeficientes de correlación – estación Blanco										
	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	HCO <sub>3</sub>	STD	Cond	K
Na	1	0,501	0,244	0,198	0,0066	0,247	<b>0,79</b>	-0,548	0,309	-0,098
Ca		1	0,235	0,269	0,544	0,343	0,573	-0,498	<b>0,61</b>	-0,064
Mg			1	0,349	-0,317	-0,414	0,544	-0,461	0,535	-0,031
Cl				1	-0,154	0,354	0,518	-0,351	<b>0,76</b>	0,197
SO <sub>4</sub>					1	0,634	-0,141	0,08	0,202	0,146
pH						1	0,054	0,126	0,434	0,247
Cond.							1	<b>-0,62</b>	0,593	0,165
HCO <sub>3</sub>								1	-0,425	0,121
K									1	0,193
STD										1

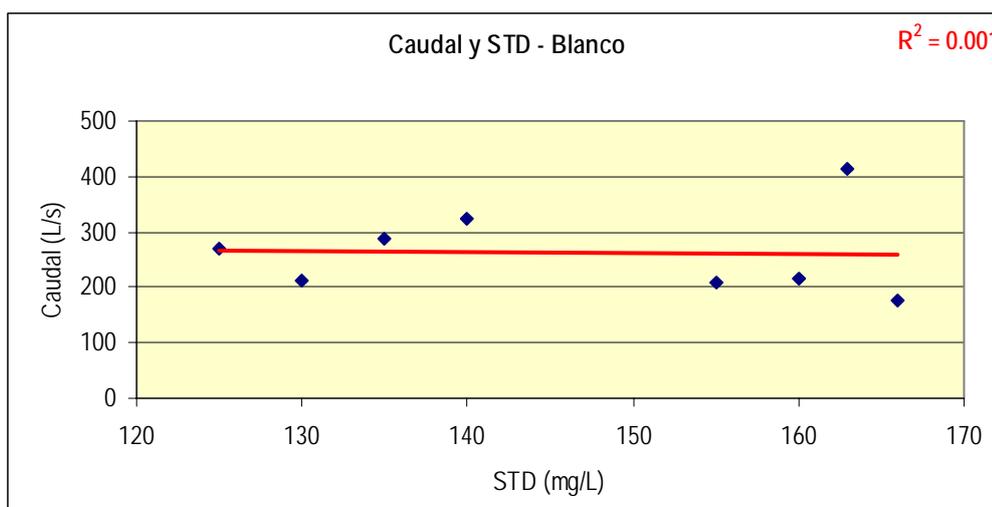
El pH promedio es de 8,0 y la conductividad eléctrica promedio es de 209 μS/cm, levemente más baja que en las otras estaciones de monitoreo analizadas en la cuenca y esta relacionada principalmente con el contenido de calcio y cloruro (coeficiente de correlación aprox. igual a **0,76** y **0,61** respectivamente). El contenido de sulfato promedio (16,2 mg/L) es el más bajo de la cuenca.

El coeficiente de correlación entre los sólidos totales disueltos (STD) y pH es de **0,62** evidenciando una relación directa y moderada entre ambos.

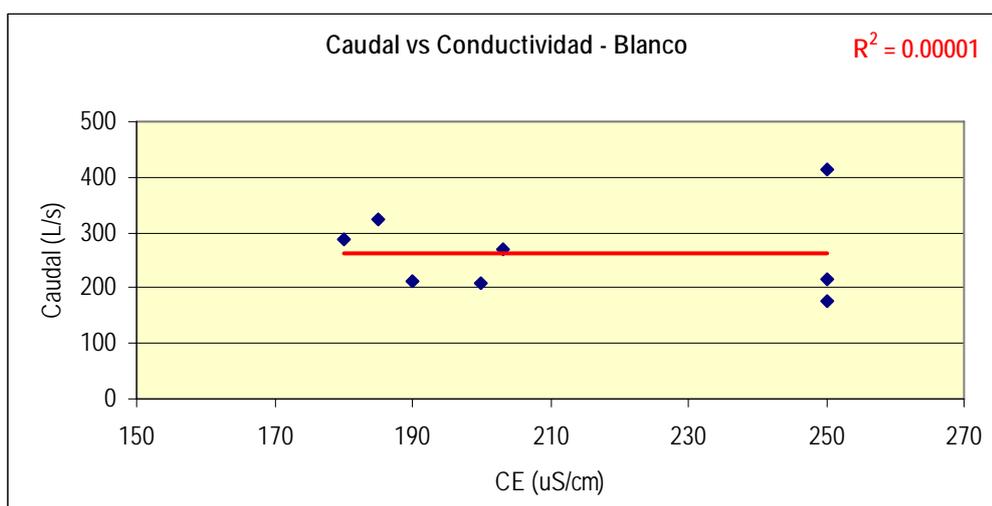
Presenta la mayor concentración de bicarbonato, el cual se relaciona en forma positiva con el sodio (coeficiente de correlación **0,79**) y en menor medida con calcio, magnesio y cloruro.

La mayor parte de los registros no manifiestan contenidos significativos de aluminio, hierro y manganeso.

La falta de correlación entre los datos de caudal puntual y los valores de STD y conductividad (ver Figuras N° 20 y 21), pueden deberse a que todas las muestras en las que existen datos de caudal tienen aproximadamente las mismas condiciones hidrológicas (caudal entre 200 y 400 L/s), por lo que las variaciones en las concentraciones de elementos disueltos es escasa.



**Figura N° 20:** Relación entre los sólidos totales disueltos y el caudal en la estación río Blanco.



**Figura N° 21:** Relación entre la conductividad y el caudal en la estación río Blanco.

### 5.3.1.5 Estación La Toma - Andalgá

De un total de **105 registros** analizados para esta estación. se rescataron como validos para la presente evaluación un total de **29 (28 %)**.

A consecuencia del descarte de registros, no hay datos del año 1999 y son escasos los comprendidos entre los años 2001 y 2006.

La estadística de estos datos obtenidos para esta estación se presenta en la Tabla N° 19.

El agua en esta estación es alcalina (pH promedio de 7,92), de baja conductividad eléctrica (promedio 278  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que evidencia la escasa presencia y concentración de iones.

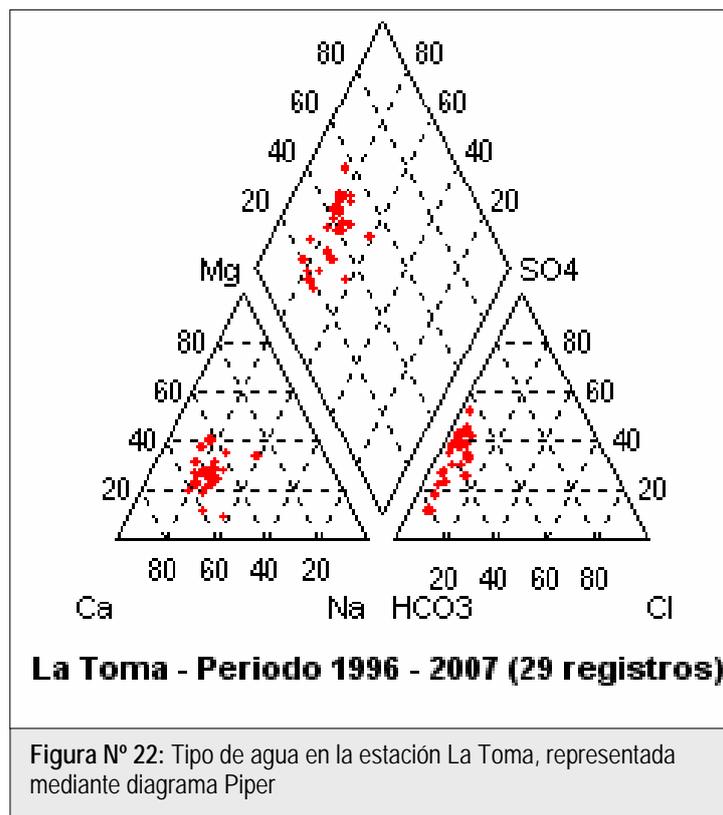
La especie bicarbonato con un promedio de 93,8 mg/L constituye el anión mas abundante, en tanto el calcio, con un promedio 28,4 mg/L es el catión que se encuentra en mayor proporción. En consecuencia, el agua es de tipo bicarbonatada cálcica, característica que puede apreciarse claramente en el diagrama hidroquímico de Piper mostrado en la Figura N° 22).

Tabla N° 19: Estadística de datos hidroquímicos - Estación de monitoreo La Toma							
LA TOMA	Unidad	N° Observ.	Promedio	Mediana	Desv. St	Min.	Máx.
PH lab		29	7,92	7,90	0,28	7,30	8,70
CE lab	$\mu\text{S}/\text{cm}$	29	278	280	31,1	196	340
STD	mg/L	29	200	190	68,0	126	450
HCO <sub>3</sub> (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	29	76,9	74,6	24,2	35,0	141
* HCO <sub>3</sub>	mg/L	29	93,8	88,0	20,3	64,0	132
ALC. (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	29	114	107	24,8	78,1	161
Cl	mg/L	29	7,74	8,00	3,36	3,40	16,00
SO <sub>4</sub>	mg/L	29	45,4	45,0	18,9	18,0	80,0
NO <sub>3</sub>	mg/L	26	3,44	3,00	2,30	1,00	10,00
F	mg/L	29	0,70	0,50	0,48	0,20	1,70
Mg	mg/L	29	9,07	9,20	2,45	3,20	14,00
Ca	mg/L	29	28,4	28,0	4,64	15,1	36,2
K	mg/L	29	3,08	2,50	1,73	1,70	10,00
Na	mg/L	29	15,3	15,4	4,02	8,60	25,0
Al	mg/L	11	0,07	0,06	0,07	0,01	0,24
Fe	mg/L	17	0,26	0,18	0,20	0,07	0,73
Mn	mg/L	23	0,27	0,20	0,22	0,05	0,73
Cu	mg/L	24	0,13	0,10	0,07	0,03	0,33
Zn	mg/L	16	0,09	0,08	0,07	0,01	0,30
Caudal	L/s	28	812	634	568	31	2286

El Diagrama Piper permite visualizar que las muestras poseen entre un 40 a 80% de bicarbonato, 10 a 55 % de sulfatos y menos de 20% de cloruro. Respecto a los cationes, la mayor parte de las muestras contienen entre 40 a 60 % de calcio, 20 a 40 % de magnesio, en tanto el mayor porcentaje de muestras poseen 20 y 30 % de sodio.

Tanto sulfato como bicarbonato muestran un amplio rango de dispersión (aproximadamente 40%), producto de la mezcla de los dos tipos de agua existentes en la sección superior de la cuenca (bicarbonatada y sulfatada).

Los cationes mayoritarios están más agrupados, en el extremo inferior izquierdo del Diagrama Piper, debido a que el catión de mayor concentración relativa es el calcio en ambos tipos de agua.



Se calculó matriz de correlación, con Aquachem, considerando aquellas especies mayoritarias del agua y las propiedades físicas químicas más relevantes (ver Tabla N° 20):

**Tabla N° 20:** Coeficientes de correlación – estación La Toma

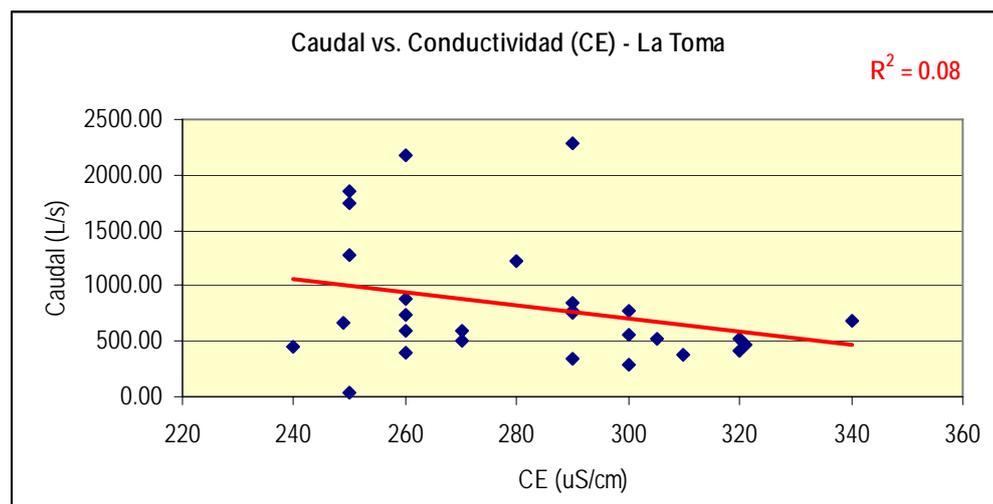
	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	HCO <sub>3</sub>	Cond.	STD	K
Na	1	0,04	-0,12	0,14	0,20	0,02	0,13	<b>0,61</b>	0,13	0,12
Ca		1	-0,23	0,32	0,15	0,20	0,04	0,17	-0,10	-0,16
Mg			1	0,39	0,29	0,19	0,16	0,20	-0,04	0,20
Cl				1	0,04	-0,13	0,26	<b>0,41</b>	0,08	0,29
SO <sub>4</sub>					1	0,11	<b>-0,63</b>	0,18	0,16	0,23
pH						1	-0,16	0,07	<b>-0,56</b>	-0,14
HCO <sub>3</sub>							1	0,32	-0,31	-0,21
Conductiv.								1	0,12	0,28
STD									1	<b>0,44</b>
K										1

Del análisis de los coeficientes de correlación obtenidos, se deduce:

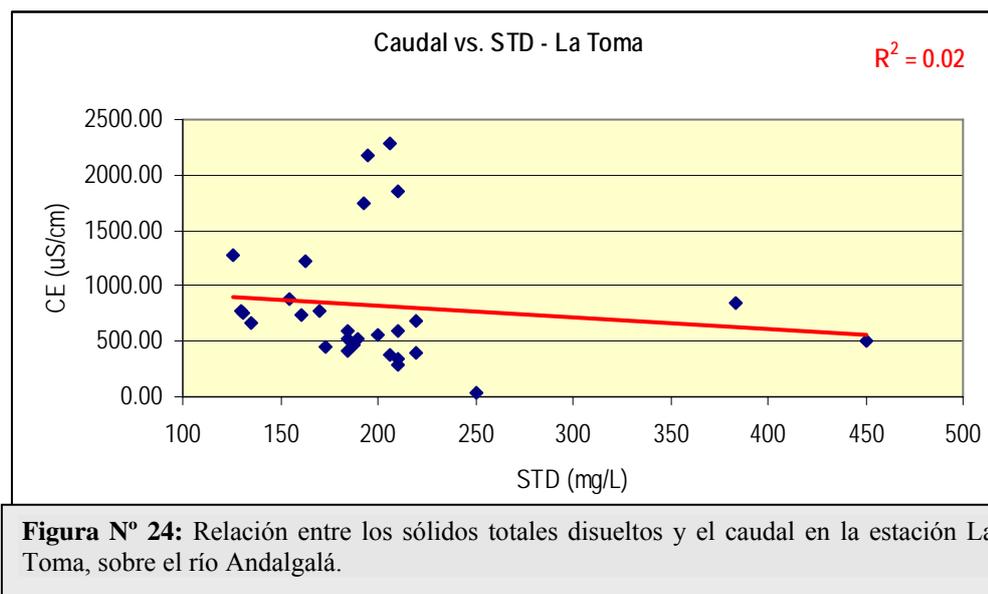
- La conductividad eléctrica correlaciona moderadamente bien y en forma positiva con el sodio (coeficiente de correlación **0,61**) y en menor proporción con el anión cloruro.
- El bicarbonato correlaciona bien y en forma negativa con el sulfato, indicando que la abundancia de uno de ellos implica la disminución de la otra especie (coeficiente de correlación **-0,63**). Este comportamiento puede explicarse en base al probable origen del sulfato, el cual si se origina en la oxidación de sulfuro, viene acompañado de generación de iones hidrógeno y en consecuencia disminuye la alcalinidad.
- Otras variables que muestran un cierto grado de correlación (negativa) son los sólidos totales disueltos (STD) y el pH (coeficiente de correlación **- 0,56**). A medida que disminuye el pH del agua, el contenido de sólidos totales disueltos se incrementa, debido a que se incrementa la capacidad del agua de disolver sustancias sólidas. Además a menor pH, existe una mayor proporción de agua proveniente del río Mina, más mineralizada.

El aluminio con una media de 0,27 mg/L, el hierro con una media de 0,26 mg/L y el manganeso (promedio de 0,13 mg/L), muestran en casi la mitad de los registros valores que superan ligeramente los niveles guía de agua para bebida humana.

Para el análisis de la influencia del caudal sobre la concentración de especies disueltas en el agua, se realizaron gráficos de dispersión con planilla de cálculo (ver Figuras N° 23 y 24). Se deduce que existe una falta de correlación entre caudal puntual y los valores de STD y conductividad, manifestado por coeficientes de correlación próximos a cero. Esto indicaría que en aguas de bajo contenido en sustancias disueltas, las variaciones de caudal no influyen en su concentración.



**Figura N° 23:** Relación entre la conductividad eléctrica y el caudal en la estación La Toma, sobre el río Andalgá.



### 5.3.2 Hidroquímica de la cuenca del río Andalgá

Las Figuras N° 25 y N° 26 muestran gráficamente la composición química promedio del agua de la cuenca del río Andalgá, mediante diagramas Stiff y Piper respectivamente, en los distintos puntos de monitoreos analizados en este estudio, que se consideran representativos de los principales tributarios de la cuenca.

En la cuenca se observan dos tipos de agua: **bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica.**

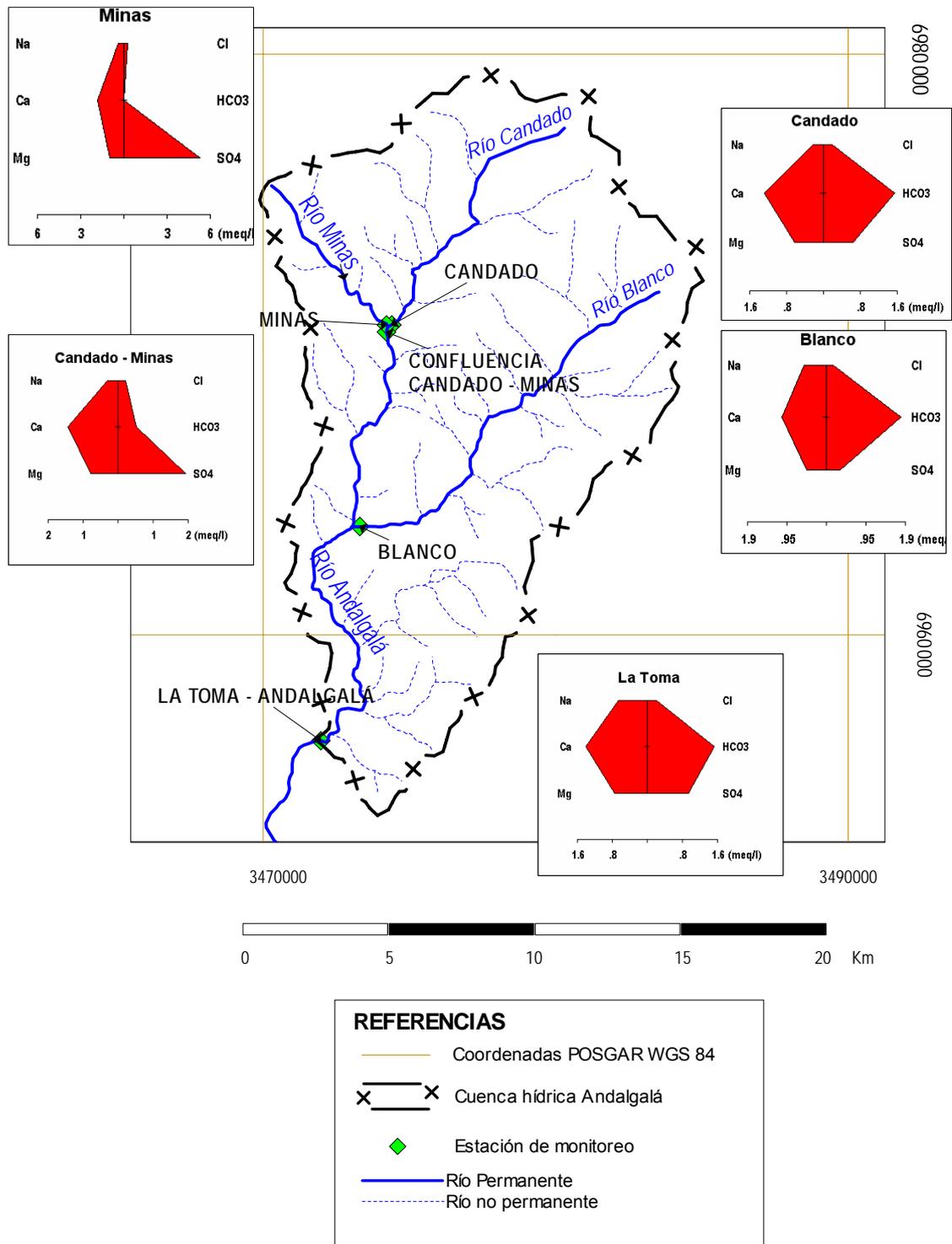
El aporte de agua sulfatada cálcica, proveniente del río Minas, aun cuando posee caudal cuatro veces menor que el río Candado, origina el incremento de conductividad eléctrica y de sólidos totales disueltos (STD), en un promedio de aproximadamente 50  $\mu$ S/cm y 80 mg/L, respectivamente, modificando la tipología de agua de este último (en la estación Candado - Minas). El río Blanco, con su importante aporte de caudal (casi tres veces mayor que el río Candado) y baja concentración de sustancias disueltas, produce la dilución de elementos metálicos trazas como el hierro, el aluminio y el manganeso que predominan en el sector superior de la cuenca y determina que el agua en la estación La Toma, a la salida de la cuenca sea nuevamente bicarbonatada.

El diagrama Piper (Figura N° 26) muestra puntos que se alinean formando una recta cuyos extremos son el río Blanco y el río Minas, indicando que las otras tres pueden ser mezclas con distintas proporciones, de estos tipos de aguas.

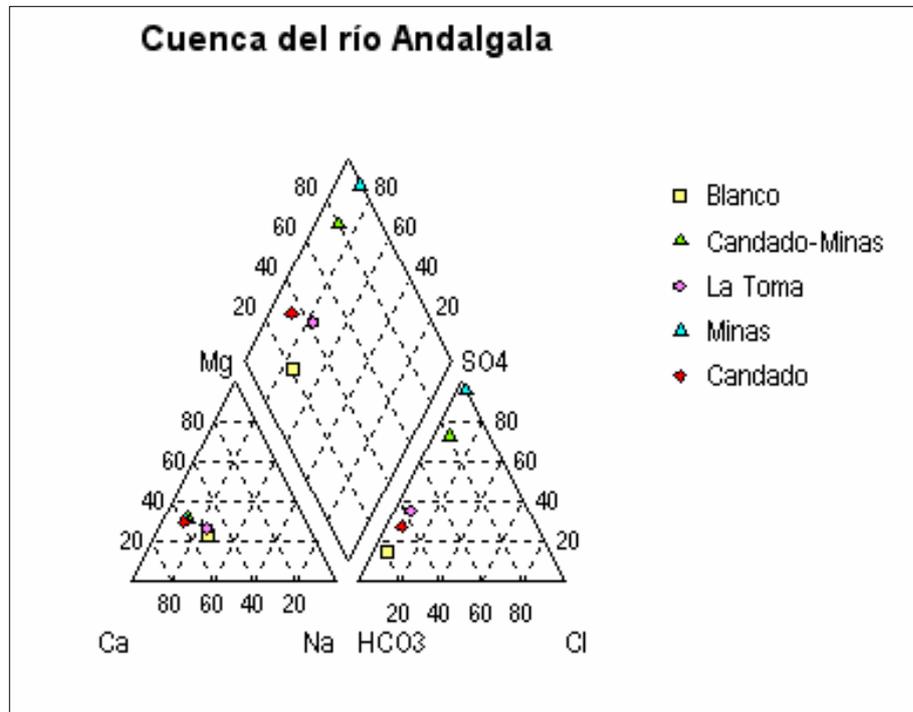
En la cuenca en estudio, de los procesos que cita Langmuir, 1977 como controladores de la producción de CO<sub>2</sub> en el agua y consecuentemente de su pH, se encuentran presentes por la mineralogía dominante de la cuenca:

- La meteorización de minerales aluminio – silicatados, (feldespato potásico, plagioclasa, etc.) que genera alcalinidad y consume acidez, tiende a predominar en las subcuencas de los ríos Candado y Blanco.
- La oxidación de sulfuros, que genera acidez, elevados contenidos de sulfatos y metales trazas – como hierro, aluminio y manganeso – en la subcuenca del río Minas.

Estos dos procesos controlarían la calidad de agua de gran parte de la cuenca de estudio, generando dos tipos de agua diferentes – sulfatada y bicarbonatada – cuya mezcla caracteriza químicamente el agua a la salida de la cuenca.



**Figura N° 25:** Estaciones de monitoreo de la cuenca de Andalgala. Mediante diagramas de Stiff, se muestra la composición química típica en cada una de las estaciones analizadas. Los contenidos de cada una de las especies mayoritarias representan el promedio del total de registros analizados para cada estación.



**Figura N° 26:** Composición química del agua de la cuenca del río Andalgala, mostrada mediante diagramas de Piper. Los contenidos de cada una de las especies mayoritarias representan el promedio del total de registros analizados para cada estación.

## 6. CONCLUSIONES

- Gran parte de los registros de calidad de agua obtenidos a partir del Programa de monitoreo de la empresa Agua Rica, adolecen de errores sistemáticos en las determinaciones de laboratorio. Los registros de calidad de agua que muestran mayor error corresponden a la estación río Minas (16 % de datos rescatados) y los que manifiestan menor error, corresponden a la estación Confluencia Candado - Minas (42% de datos rescatados).
- En la cuenca se observan dos tipos de agua: **bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica**. El aporte de agua sulfatada cálcica, proveniente del río Minas, si bien es neutralizada en parte por el agua bicarbonatada del río Candado y aguas abajo por el río Blanco, provoca el incremento de la cantidad y concentración de sustancias disueltas, en el agua resultante a la salida de la cuenca hídrica (estación La Toma).
- El río Blanco, con su importante aporte de caudal y baja concentración de sustancias disueltas, produce la dilución de elementos como sulfato que predominan en la subcuenca del río Minas. Además produce un aumento del pH y como consecuencia precipitan o son absorbidos metales trazas, como el hierro, manganeso y aluminio, reduciéndose notablemente su concentración.
- El cloruro se presenta como el anión mayoritario de menor contenido relativo en todas las estaciones, presentando el río Minas una proporción ligeramente mayor.
- Entre los metales trazas, el hierro, el aluminio y el manganeso son los que se encuentran en mayor proporción en las aguas de la cuenca, superando en algunos registros, los niveles guías de calidad de agua potable establecidos por las normativas vigentes nacionales. El cobre y zinc manifiestan en algunos registros valores ligeramente anómalos, únicamente en la estación Minas.
- En aguas de alto contenido de sustancias disueltas y bajo caudal las variaciones de este último inciden en forma directa, incrementando o diluyendo su concentración. Esto se manifiesta en río Minas y en menor medida inmediatamente aguas abajo de su confluencia con el río Candado (estación Candado – Minas). Las variaciones de caudal parecen influir muy poco en la concentración de iones en aguas de baja conductividad y escasos STD, como es el caso de río Blanco, Andalgalá en La Toma y en menor medida en río Candado.
- Los caudales máximos de los ríos se verifican en la época de lluvias (verano), conclusión que surge del análisis temporal de los datos de caudal.
- Los principales procesos físicos y químicos que controlan la calidad de agua de gran parte de la cuenca de estudio son la meteorización de los minerales aluminio – silicatados y la oxidación de sulfuros.

## 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

**APHA; AWWA; WPCF**, 1992: *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Edición 17. Ediciones Diaz de Santos. España.

**Appelo, C. A. J. y Postma, D.** 1999: *Geochemistry. Groundwater and Pollution*. Ediciones A.A. Balkema. Netherlands.

**BHP Copper a**, 1997: *Informe de Impacto Ambiental para el proyecto Agua Rica, etapa de exploración*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 1**. Páginas 30 y 31. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**BHP Copper b**, 1997: *Informe de Impacto Ambiental para el proyecto Agua Rica, etapa de exploración*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 3**. Páginas 683 a 693. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**BHP Copper c**, 1997: *Informe de Impacto Ambiental para el proyecto Agua Rica, etapa de exploración*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 4**. Páginas 713 a 1069. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**BHP Copper d**, 2002: *Informe de Impacto Ambiental para el proyecto Agua Rica, etapa de exploración*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 8**. Páginas 1779 a 1937. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Cardenas León, J. A.** 2005: *Calidad de agua para estudiantes de Ciencias Ambientales*. Facultad de Medioambiente y R. N. Universidad Distrital de Francisco José de Caldas. Colombia.

**Conserjería de Medio Ambiente**, 2003: *Ciencia y restauración del Río Guadamar*. PICOVER 1998 -2002. Junta de Andalucía. España

**Custodio, E. y Llamas, M. R.** 1983: *Hidrología subterránea*. Tomo I, 2a edición. Ediciones Omega. Barcelona. España.

**Davis, S. N. y De Wiest, R.** 1971: *Hidrogeología*. Editorial Ariel. Barcelona. España.

**Environment Australia**, 1997: *Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage*. Boletín de la serie Best Practice Environmental in Mining. Australia.

**González Bonorino, F.** 1950: *Geología y Petrografía de las Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgá)*. Catamarca. Boletín N° 70. Ministerio de Industria y Comercio de la Nación. Dirección General de Industria Minera. Servicio Nacional Minero Geológico. Buenos Aires. Argentina.

**Fernández Caliani, J.C.** 2003: *Drenaje ácido de minas. Aspectos geoquímicos y mineralógicos*. En Mineralogía Aplicada. Editor Emilio Galán Huertos. Editorial Síntesis S.A. Madrid. España.

**Hem, J.** 1985: *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. 3ª edición. US Geological Survey Water.

**IGM**, 1997: *Carta imagen satelital 2766 III*. Instituto Geográfico Militar. Buenos Aires. Argentina

**Langmuir, D.** 1997: *Aqueous Environmental Geochemistry*. Editorial Prentice Hall. USA.

**Martínez, L y Chipulina, M.**, 1995: *Mapa geológico de la provincia de Catamarca*. Secretaría de Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. Argentina.

**Minera Agua Rica a**, 2006: *Informe de Impacto Ambiental. Actualización bianual. Área de mina. Proyecto Agua Rica*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 11**. Páginas 2341-2399. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Minera Agua Rica b**, 2006: *Informe de Impacto Ambiental. Actualización bianual. Área de mina. Proyecto Agua Rica*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 14**. Páginas 2983 a 3007. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Minera Agua Rica c**, 2006: *Informe de Impacto Ambiental. Actualización bianual. Área de mina. Proyecto Agua Rica*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 14**. Páginas 3044 a 3369. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Minera Agua Rica d**, 2006: *Informe de Impacto Ambiental. Actualización bianual. Área de mina. Proyecto Agua Rica*. Expediente E - 1898/97. **Cuerpo 16**. Páginas 3509 a 3566. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Minera Agua Rica**, 2007: *Informe de Impacto Ambiental – Etapa de explotación – Proyecto Agua Rica*. Expediente E 15338/2007. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Olias, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Ceron, J.C. y Cánovas, C.R.** 2004: *Seasonal water quality variations in a river affected by acid mine drainage: the Odiel River (South West Spain)*. Science of the Total Environment 333. Páginas 267 – 281.

**Olias, M., Ceron, J.C., Moral, F. y Ruiz, F.** 2006: *Water quality of the Guadamar River after the Aznalcóllar spill (SW Spain)*. Chemosphere 62. Páginas 213 – 225.

**Ramos, Victor** 1999: *Las Provincias Geológicas del territorio Argentino* – Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina Anales (3): 41-96. Buenos Aires.

**Ruiz Cánovas, C., Olias Alvarez, M., Sarmiento, M. y Nieto Liñán, J.M.** 2005: *Evolución temporal de la calidad de agua en los ríos Tinto y Odiel*. En J.A. Lopez Geta, J. C. Rubio y M. Martin Machuca (Eds.). VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. Páginas 1309 - 1318

**Unidad de Gestión Ambiental Provincial, a** 2007: *Subprograma de monitoreo de la cuenca del río Andalgalá*. Expediente S - 9323/07. Páginas 6 a 27. Secretaría de Estado de Minería de Catamarca. Argentina.

**Unidad de Gestión Ambiental Provincial, b** 2007: *Subprograma de monitoreo de la estación La Toma, Andalgalá*. Expediente S - 4363/07. Páginas 16 a 67. Secretaría de Estado de Minería de la provincia de Catamarca. Argentina.

### **Páginas de Internet**

[www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp](http://www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp): Página oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.

[www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios](http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios): Página oficial de la Secretaría de Minería de la República Argentina.

[www.hidricosargentina.gov.ar](http://www.hidricosargentina.gov.ar): Página oficial de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la República Argentina.

[www.anmat.gov.ar/codigoa](http://www.anmat.gov.ar/codigoa): Pagina oficial del Código Alimentario Argentino.

[www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/legislacion/guias/manedrenaje.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/legislacion/guias/manedrenaje.pdf): Pagina oficial del Ministerio de Minas de Perú.

## **8. ANEXOS**

### **8.1 ANEXO I: Datos hidroquímicos de las estaciones de monitoreo de agua:**

- **CANDADO**
- **MINAS**
- **CANDADO – MINAS**
- **BLANCO**
- **LA TOMA**

**Tabla N° 1: Datos hidroquímicos - Estación Candado**

ID	Fecha	pH (lab)	CE (lab)	STD	* HC0 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Alcalin. (CaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Mg	Ca	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Caudal
	Unidad	units	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
1	23-01-97	8,20	220	117	90,3	74,0	8,0	23	S/D	S/D	4,0	27,0	4,00	3,0	0,12	0,15	<0,01	<0,05	1,20	1220
2	01-03-97	7,40	160	110	85,4	70,0	4,0	18	S/D	S/D	9,0	17,0	2,30	4,0	0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05	941
3	09-07-97	7,70	180	130	73,2	60,0	10,0	29	S/D	S/D	8,5	21,0	1,60	6,0	0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05	187
4	10-10-98	7,70	230	165	111,0	91,0	7,0	40	S/D	S/D	10,0	25,0	1,40	6,6	<0,01	0,25	<0,01	<0,05	<0,05	S/D
5	10-12-98	8,10	240	175	111,0	91,0	6,0	48	S/D	S/D	8,0	32,0	1,80	5,8	0,10	0,30	<0,01	<0,05	<0,05	146
6	21-01-99	8,20	220	127	97,6	80,0	8,0	27	S/D	S/D	7,0	24,0	1,69	5,7	0,20	<0,05	0,05	<0,05	0,02	335
7	13-02-99	7,00	210	119	89,1	73,0	12,0	20	S/D	S/D	7,0	24,0	3,00	5,0	0,30	1,00	0,04	<0,05	<0,05	513
8	19-03-99	8,20	220	136	95,2	78,0	7,5	24	2,30	S/D	7,3	21,0	1,20	4,4	0,20	1,70	0,08	<0,05	<0,05	486
9	19-05-99	7,40	210	144	97,6	80,0	6,0	29	S/D	S/D	8,0	26,0	1,50	7,3	0,30	0,20	0,12	<0,05	<0,05	S/D
10	15-07-99	7,40	220	162	103,7	85,0	7,0	37	S/D	S/D	4,9	33,8	1,80	4,6	0,60	0,25	0,06	<0,05	<0,05	S/D
11	18-08-99	7,80	220	166	98,8	81,0	8,0	36	S/D	S/D	8,0	27,0	1,90	5,3	0,10	0,32	0,06	<0,05	<0,05	136
12	22-09-99	7,50	230	130	106,1	87,0	8,0	33	S/D	S/D	8,0	26,0	2,50	4,6	0,20	0,16	0,17	<0,05	<0,05	S/D
13	21-10-99	8,20	230	135	109,8	90,0	10,0	31	S/D	S/D	9,0	31,0	1,90	5,1	0,05	0,07	0,10	<0,05	<0,05	S/D
14	17-11-99	8,00	230	153	93,9	77,0	8,0	34	S/D	S/D	8,0	31,0	1,80	5,5	<0,01	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	S/D
15	23-08-00	7,60	210	142	93,9	77,0	6,0	32	S/D	S/D	10,0	19,0	1,50	4,5	0,33	0,14	0,05	<0,05	0,10	518
16	19-09-00	6,90	220	141	84,2	69,0	7,0	30	S/D	S/D	7,0	23,0	1,82	5,0	0,16	0,16	0,11	<0,05	0,14	331
17	21-11-00	7,60	240	140	103,7	85,0	6,6	27	2,00	S/D	8,0	26,0	1,84	6,4	0,41	0,20	<0,02	<0,05	0,07	160
18	12-12-00	7,80	257	140	84,2	69,0	5,0	37	2,00	S/D	10,4	23,0	1,70	5,1	0,41	0,20	<0,02	<0,05	0,07	348
19	14-08-01	7,20	220	145	91,5	75,0	6,0	37	3,00	0,10	6,7	27,0	3,40	7,3	0,50	<0,05	0,10	<0,05	<0,05	209

**Tabla Nº 1 (Continuación): Datos hidroquímicos - Estación Candado**

ID	Fecha	pH (lab)	CE (lab)	STD	HC0 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ALC. (CaCO <sub>3</sub> )	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Mg	Ca	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Caudal
	Unidad	units	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
20	16-04-02	7,70	220	160	89,1	73,0	10,0	47	2,00	0,10	7,8	27,0	2,30	4,2	0,40	< 0,05	0,12	0,13	0,05	S/D
21	18-06-02	7,80	220	210	97,6	80,0	4,0	22	13,00	0,70	4,7	27,0	2,10	4,5	0,60	0,15	0,06	0,19	< 0,05	S/D
22	16-07-02	7,80	230	180	89,1	73,0	6,0	34	3,00	0,70	6,2	25,0	1,30	3,8	0,70	0,06	0,05	<0,05	0,05	S/D
23	17-10-02	6,40	230	260	79,3	65,0	5,9	47	0,70	1,00	8,4	29,5	2,30	5,5	0,36	< 0,05	0,08	0,12	0,04	S/D
24	10-12-02	7,30	230	190	103,7	85,0	8,0	26	2,00	0,70	7,5	30,3	2,30	5,6	0,40	9,50	0,05	< 0,05	0,06	S/D
25	20-05-03	7,40	230	210	101,3	83,0	4,0	30	13,00	0,70	6,9	28,0	1,60	6,7	0,07	0,20	< 0,05	0,2	0,06	S/D
26	15-07-03	6,80	200	222	100,0	82,0	4,0	22	11,00	1,00	8,2	25,0	1,40	1,7	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	S/D
27	16-09-03	6,80	220	420	106,1	87,0	5,0	34	2,00	1,00	13,2	22,0	1,50	1,6	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	S/D
28	20-07-04	6,60	190	190	109,8	90,0	8,0	26	1,40	0,80	8,2	24,0	0,70	6,2	<0,04	<0,05	0,10	<0,05	<0,05	S/D
29	01-09-04	8,10	270	275	104,9	86,0	5,0	30	2,30	0,10	5,4	28,0	1,50	10,0	<0,01	S/D	0,07	<0,05	0,05	S/D
30	27-04-05	8,1	194	115	76,9	63,0	1,8	25	<0,5	0,7	5,9	24	1,4	5,5	0,266	0,236	0,075	0,022	0,028	ND
31	21-03-07	8,1	187	95	73,2	60,0	3,4	27	<1	1,1	6,2	23	2,4	5,6	0,301	0,373	0,067	0,028	0,028	312

**AZUL:** Datos de la Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007

\* Valores calculados a partir columna Alcalinidad (como CaCO<sub>3</sub>), para ser incorporados a AquaChem

Se analiza NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

S/D No hay datos en inf. Consultada / No se determina

**Tabla Nº 2: Datos hidroquímicos - Estación Minas**

<b>Id</b>	<b>Fecha</b>	<b>pH lab</b>	<b>CE (lab)</b>	<b>STD</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Caudal</b>
		units	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/seg
1	23/1/97	4,20	360	205	8,0	123	3,6	3,00	10,0	31,0	9,0	4,0	6,0	1,0	1,0	<0,05	0,20	376
2	1/3/97	4,00	320	260	4,0	137	6,0	0,40	9,0	24,0	8,7	6,4	2,0	0,1	1,2	0,23	0,30	189
3	5/4/97	3,30	500	320	4,0	233	1,7	0,30	19,0	30,0	5,9	5,5	6,0	2,2	1,6	0,56	0,54	99
4	12/10/97	2,90	650	430	4,0	265	10,1	0,50	19,0	12,0	5,6	6,0	19,0	11,0	2,9	1,20	1,10	<b>S/D</b>
5	10/11/97	2,90	650	460	4,0	300	6,2	0,40	7,0	33,0	8,4	7,3	18,7	13,0	2,3	1,30	0,80	<b>S/D</b>
6	15/12/97	2,90	650	460	8,0	290	6,1	0,40	9,0	33,0	10,0	5,7	17,7	16,0	2,7	1,60	1,10	<b>S/D</b>
7	2/5/98	2,90	710	500	11,0	314	12,0	0,20	10,5	40,1	7,2	9,4	17,8	20,7	1,9	0,88	0,87	32
8	1/6/98	3,20	750	490	10,0	310	11,0	0,20	11,0	39,0	12,8	9,1	18,0	16,7	2,0	0,80	1,08	39
9	4/7/98	2,90	750	509	9,0	321	11,0	0,30	12,5	46,0	9,0	12,3	17,0	11,0	1,9	1,45	0,79	35
10	19/5/99	3,00	650	431	24,0	276	5,6	0,20	9,5	39,0	7,1	9,3	16,1	13,8	1,9	0,85	0,50	<b>S/D</b>
11	12/12/00	3,20	686	508	1,4	296	3,0	0,50	12,0	37,0	6,5	12,0	13,5	14,1	2,1	1,10	0,80	115
12	18/6/02	3,20	640	610	38,0	250	3,0	0,20	19,8	29,1	8,6	7,2	10,1	18,2	1,5	1,25	1,00	<b>S/D</b>
13	24/11/04	2,80	650	528	7,1	229	9,7	0,10	14,0	46,6	7,6	6,2	16,6	14,3	1,4	1,00	0,70	<b>S/D</b>
14	17/11/05	3,50	852	563	1,0	300	3,5	0,70	4,2	84,4	9,7	19,9	12,4	15,5	2,5	1,01	0,50	<b>S/D</b>
15	01/03/06	3,23	447	334	10,8	180	0,4	<0,02	8,9	28,2	5,4	5,7	8,0	28,2	1,5	0,0015	0,60	<b>S/D</b>

**OBSERVACIONES**

<b>AZUL:</b>	Datos de la Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007
	<i>Se analiza NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i>
<b>S/D</b>	<i>No hay datos en información consultada / No se determina</i>

**Tabla N° 3: Datos hidroquímico- Estación Candado - Minas**

ID	Fecha	pH lab	CE lab	STD	Alcalin. (CaCO <sub>3</sub> )	* HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Mg	Ca	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Caudal	
		units	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
1	09-07-97	6,80	230	13	45	54,90	8	68	S/D	S/D	9,8	25,4	3,3	5,5	2,3	< 0,05	0,75	0,07	0,22	274	
2	01-08-97	6,50	230	25	27	32,94	4	95	S/D	S/D	8,9	25,6	5,1	4,8	2,1	<0,05	0,77	0,1	0,26	281	
3	01-11-97	7,00	280	20	29	35,38	9	89	S/D	S/D	13	23	3,3	4,9	0,44	< 0,05	0,64	< 0,05	0,23	S/D	
4	26-01-98	6,90	290	186	44	53,68	13	83	S/D	S/D	8,3	31	3,4	10,5	0,3	< 0,05	0,58	< 0,05	< 0,05	206	
5	01-06-98	6,20	300	23	29	35,38	6	118	S/D	S/D	10,8	29	5,5	7,6	0,6	0,7	0,49	0,05	0,28	117	
6	04-07-98	6,50	300	42	21	25,62	6	112	S/D	S/D	7	30	3,8	8,2	0,65	0,7	0,2	0,15	0,23	112	
7	05-09-98	6,50	270	32	28	34,16	6	108	S/D	S/D	11	34	2,4	8	1	0,81	0,7	0,27	0,5	S/D	
8	10-10-98	7,20	290	110	17	20,74	4	115	S/D	S/D	10	32	2,3	7,6	0,8	0,73	0,72	0,16	0,38	S/D	
9	14-11-98	6,50	290	52	26	31,72	4	112	S/D	S/D	12	28	5	7,7	0,3	1,9	0,74	0,16	0,25	164	
10	10-12-98	7,70	320	80	35	42,70	7	121	S/D	S/D	8	36	3,6	6,8	0,2	0,58	0,99	0,1	0,28	140	
11	13-02-99	6,60	270	374	33	40,26	18	64,6	S/D	S/D	11	27	5,1	6,1	< 0,1	0,1	0,68	0,42	0,28	S/D	
12	18-03-99	6,10	270	91	33	40,26	8,3	73,5	S/D	S/D	9,7	22,6	2,1	3,4	0,5	0,44	0,55	< 0,05	0,25	637	
13	19-05-99	6,20	270	70	34	41,48	7	80	S/D	S/D	11	28	2,9	8,3	0,4	0,4	0,63	0,32	< 0,05	260	
14	16-06-99	5,50	240	123	10	12,20	7	124	S/D	S/D	11	26	3,6	6,3	0,6	0,6	0,83	< 0,05	0,31	S/D	
15	18-08-99	6,30	270	22	24	29,28	8	102	S/D	S/D	8	34	3,1	6,1	0,2	0,79	0,53	0,09	0,3	S/D	
16	22-09-99	6,10	290	55	26	31,72	12	105	S/D	S/D	11	31	3,3	5,4	0,4	0,22	0,68	0,09	0,18	191	
17	21-10-99	6,50	280	95	36	43,92	14	78	S/D	S/D	7	36	3,3	6,1	0,5	0,28	0,58	0,12	0,25	S/D	
18	17-11-99	6,10	280	91	21	25,62	12	75	S/D	S/D	4	42	3,4	6,4	0,2	0,09	0,59	0,13	0,23	S/D	

**Tabla Nº 3 (Continuación): Datos hidroquímicos - Estación Candado – Minas**

ID	Fecha	pH lab	CE lab	STD	Alcalin. (CaCO <sub>3</sub> )	* HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Mg	Ca	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Caudal	
		units	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
19	19-09-00	6,90	260	40	14	17,08	7	102	S/D	S/D	12	21	3,4	6,0	0,33	0,53	0,55	0,20	0,25	320	
20	21-11-00	7,50	300	39	16	19,52	11	107	2	S/D	9	29	3,4	6,0	0,54	0,31	0,8	0,26	0,37	253	
21	12-12-00	6,70	229	164	20	24,40	1,4	78	2,9	0,5	7,4	28	3	8,8	0,432	2,37	0,531	0,088	0,291	S/D	
22	14-08-01	6,50	270	70	17	20,74	11	105	7	S/D	7,7	27	3,1	6,9	0,7	0,3	0,50	0,16	0,22	317	
23	16-10-01	7,00	310	60	15	18,30	16,1	114	2	0,2	19	28	3,3	6,6	0,8	0,3	0,54	0,19	0,27	259	
24	18-06-02	6,40	270	41	33	40,26	7	70	3	0,5	9,3	25	3,5	5,1	0,4	0,2	0,38	0,37	0,25	S/D	
25	17-10-02	6,10	290	46	9,2	11,22	4	121	2,4	0,9	9,3	31	4,1	6,2	4,5	1,25	0,22	<0,01	< 0,05	S/D	
26	10-12-02	6,80	280	60	21	25,62	4	90	2	S/D	8,9	32,8	3,5	6,6	3,9	0,5	0,40	0,2	0,35	S/D	
27	16-09-03	7,30	270	62	29	35,38	9	80	4	1,2	8,4	26	2	14,2	0,5	0,5	0,44	0,26	0,26	S/D	
28	20-07-04	6,30	240	62	32	39,04	8	92	<1	0,6	10,2	23	1,8	5,8	0,13	<0,05	0,4	<0,04	0,19	S/D	
29	21-09-04	6,70	276	<10	22,7	27,69	3,3	88,6	<5	0,66	9,8	25	2,5	6,4	<0,2	<0,1	0,35	0,017	0,15	S/D	
30	27-04-05	7,10	228	145	29	35,38	1,7	67	<0,5	0,6	6,6	25	2,1	6,3	0,123	0,078	0,305	0,019	0,111	ND	
31	21-03-07	6,90	218	125	35	42,70	3,4	59	<1	1	6,1	27	3,2	4,3	1,074	1,096	0,276	0,078	0,114	471	

**OBSERVACIONES**

<b>AZUL:</b> Datos de la Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007	
*	Valores calculados a partir columna Alcalin. (como CaCO <sub>3</sub> ). para ser incorporados a AquaChem
	Se analiza NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
S/D	No hay datos en información consultada / No se determina

Tabla N° 4: Datos hidronímicos - Estación Blanco

<b>Id</b>	<b>Fecha</b>	<b>pH lab</b>	<b>CE lab</b>	<b>STD</b>	<b>* HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Alcalin. (CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Caudal</b>
	Unidad	units	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/seg
1	21/01/97	8,30	250	163	103,70	85,0	8,0	16,0	S/D	S/D	5,00	21,00	3,00	8,00	S/D	0,15	< 0,01	<0,05	< 0,1	412
2	03/04/97	7,20	185	140	112,24	92,0	4,0	6,0	S/D	S/D	8,00	19,00	1,50	10,00	S/D	0,20	< 0,01	<0,05	0,05	322
3	15/05/97	7,80	180	135	118,34	97,0	4,0	7,0	S/D	S/D	5,50	15,00	1,60	14,40	<0,01	0,12	< 0,01	<0,05	<0,05	287
4	08/06/97	7,90	190	130	113,46	93,0	6,0	8,0	S/D	S/D	5,50	20,00	1,10	12,00	<0,01	<0,05	< 0,01	<0,05	<0,05	211
5	14/09/97	8,10	200	155	124,44	102,0	5,0	16,6	S/D	S/D	5,40	22,00	4,40	13,30	<0,01	<0,05	< 0,01	<0,05	<0,05	207
6	25/02/98	8,40	250	160	139,08	114,0	10,0	20,0	S/D	S/D	7,00	24,00	2,30	15,20	0,16	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	216
7	28/03/98	8,10	250	166	139,08	114,0	10,0	29,0	S/D	S/D	7,00	26,00	2,00	20,00	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	178
8	24/11/04	8,00	250	156	130,54	107,0	10,0	12,0	1,90	0,20	7,50	26,40	0,90	13,70	0,04	< 0,05	< 0,02	< 0,05	< 0,05	S/D
9	26/04/05	8,00	204	125	93,94	78,0	2,7	18,0	<0,5	1,60	6,10	22,00	0,90	12,00	0,05	0,03	0,01	<0,002	0,04	S/D
10	01/02/06	7,75	196	144	92,23	75,6	3,0	22,0	0,10	1,02	6,11	22,47	1,90	7,00	<0,02	0,09	0,08	<0,04	<0,01	S/D
11	21/03/06	8,20	152	120	72,71	59,6	3,0	20,0	0,10	0,55	1,14	20,00	1,14	9,68	0,01	<0,01	5,89	0,00	0,00	S/D
12	20/03/07	8,20	203	125	86,62	72,0	2,7	20,0	<1	1,70	5,80	21,00	1,40	12,00	<0,010	0,11	0,01	<0,002	<0,002	270

#### OBSERVACIONES

<b>AZUL:</b> Datos de la Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007	
*	Valores calculados a partir columna Alcalin. (como CaCO <sub>3</sub> ). para ser incorporados a AquaChem
	Se analiza NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
S/D	No hay datos en información consultada / No se determina

**Tabla N° 5: Datos hidroquímicos - Estación La Toma**

<b>Id</b>	<b>Fecha</b>	<b>pH lab</b>	<b>CE Lab</b>	<b>STD</b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>* HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Caudal</b>
	Unidad	units	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
1	24-06-96	7,80	260	220	79,0	96,38	9,8	67	1,0	1,6	10,0	31,0	2,0	17,0	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	396
2	12-08-96	7,90	290	210	82,0	100,04	12,0	70	3,0	1,3	10,0	29,0	4,0	15,0	0,05	0,14	0,05	0,05	0,3	348
3	16-12-96	7,80	300	210	101,0	123,22	16,0	60	10,0	1,7	11,0	34,0	2,2	16,0	<0,05	0,6	0,06	0,04	0,1	294
4	24-01-97	7,90	290	206	88,0	107,36	12,0	55	3,0	1,1	9,0	28,0	6,0	19,0	<0,05	0,25	<0,02	0,1	<0,1	2286
5	02-03-97	8,00	260	195	70,0	85,40	4,0	80	3,0	0,8	12,0	25,0	4,8	9,0	<0,05	<0,05	<0,01	0,03	<0,05	2177
6	11-08-97	7,80	270	210	80,0	97,60	10,0	58	3,5	0,5	10,9	36,2	4,5	13,3	<0,05	<0,05	0,1	0,33	0,09	600
7	16-09-97	8,00	260	185	80,0	97,60	4,0	45	2,1	0,6	9,2	27,6	3,1	15,2	<0,05	0,2	<0,01	<0,01	<0,05	600
8	11-11-97	8,00	240	173	86,0	104,92	7,0	40	2,4	0,5	10,0	30,0	2,7	13,5	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,05	442
9	28-01-98	8,10	340	220	104,0	126,88	9,0	73	2,0	0,3	12,1	31,0	5,0	23,0	<0,05	<0,05	0,05	0,25	<0,05	685
10	02-05-98	8,20	300	200	85,0	103,70	15,0	36	4,0	0,4	8,3	34,0	2,9	13,7	0,06	0,19	0,2	0,14	0,05	550
11	02-06-98	8,20	320	190	100,0	122,00	6,0	38	2,9	0,3	4,0	33,0	4,4	17,8	<0,05	<0,05	0,5	0,15	<0,05	521
12	06-07-98	7,90	320	185	106,0	129,32	9,0	35	2,5	0,4	7,0	34,0	2,6	17,0	<0,05	<0,05	0,45	0,1	<0,05	415
13	04-09-98	8,00	310	206	106,0	129,32	9,0	70	3,2	0,4	12,0	35,0	2,5	17,0	0,07	0,73	0,5	<0,01	<0,05	373
14	24-04-00	7,90	250	126	126,0	153,72	10,0	18	3,0	0,2	14,0	24,0	1,9	11,0	<0,05	<0,05	0,16	0,23	<0,05	1270
15	15-05-00	8,00	260	161	120,0	146,40	8,0	18	2,3	0,2	8,0	26,0	2,0	11,5	<0,05	<0,05	0,07	0,21	0,06	741
16	28-06-00	7,50	280	163	132,0	161,04	8,0	18	3,0	0,2	8,0	26,0	2,3	16,1	0,1	0,18	0,24	0,15	<0,05	1221
17	22-08-00	7,90	290	131	132,0	161,04	8,0	19	4,0	0,2	10,0	27,0	2,1	15,8	<0,05	0,54	0,3	0,1	0,13	763
18	18-09-00	7,70	290	130	130,0	158,60	8,0	18	3,0	0,5	11,0	26,0	2,5	15,4	<0,05	0,07	0,12	0,15	0,12	767
19	11-12-00	8,70	300	170	108,0	131,76	6,6	25	3,0	0,6	7,1	30,0	2,4	16,2	<0,05	0,13	0,44	0,07	0,1	768
20	20-03-01	7,60	250	210	101,0	123,22	6,0	30	2,6	0,2	9,1	25,0	2,5	8,6	0,24	0,15	0,70	<0,02	0,15	1851
21	16-04-01	7,90	250	193	97,0	118,34	5,2	39	1,0	0,4	3,2	31,0	2,3	25,0	<0,05	<0,05	0,60	0,12	0,09	1749
22	17-09-01	7,50	290	383	80,0	97,60	11,0	40	3,0	0,3	10,8	20,0	10,0	15,1	<0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	839
23	18-09-02	7,70	250	250	70,0	85,40	6,0	60	9,0	0,9	7,5	31,0	1,7	12,9	<0,05	0,12	0,20	0,05	<0,05	31
24	16-07-03	7,30	270	450	84,0	102,48	4,0	32	9,0	1,2	6,9	26,0	2,1	15,8	0,09	<0,05	0,09	<0,05	<0,05	503
25	21-09-04	7,80	305	185	98,0	119,56	4,1	62	<5	1,47	10,0	27,2	1,9	16,3	<0,002	<0,10	<0,02	0,09	0,04	525

**Tabla N° 5 (continuación): Datos hidroquímicos - Estación La Toma**

<b>Id</b>	<b>Fecha</b>	<b>pH lab</b>	<b>CE lab</b>	<b>STD</b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>* HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>=</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Caudal</b>
	Unidad	units	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s
26	26-04-05	8,10	260	155	68	82,96	3,7	46	2,7	1,3	7,6	26	1,8	14	0,009	0,098	0,179	0,089	0,032	884
27	30-08-05	8,06	321	188	74,6	91,01	6,4	68	1,2	0,84	11,4	15,1	2,8	24,2	0,08	0,14	<0,2	0,16	<0,01	461
28	20-03-06	8,16	196	146	69,3	84,55	3,4	47	<0,5	0,44	6,8	24,0	1,9	9,5	0,0059	<0,01	0,124	0,0861	0,0053	ND
29	20-03-07	8,40	249	135	64	78,08	3,4	50	<1	1,5	6,1	31	2,7	11	0,009	0,508	0,725	0,16	0,076	668

**OBSERVACIONES:**

<b>AZUL:</b>	Datos de la Unidad de Gestión Ambiental Provincial a, 2007
*	Valores calculados a partir columna HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (como CaCO <sub>3</sub> ). para ser incorporados a AquaChem
	Se analiza NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
<b>S/D</b>	No hay datos en información consultada / No se determina

## **8.2 ANEXO II: Datos de caudal promedio mensual de las estaciones de monitoreo de agua:**

- **CANDADO**
- **MINAS**
- **BLANCO**
- **LA TOMA**

Tabla N° 1: Aforos mensuales medidos en la estación Candado					
Fecha	Cantidad de aforos	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
		Máximo	Mínimo	Promedio	Promedio x año
mar-96	2	0,27	0,25	0,26	0,13
may-96	2	0,17	0,12	0,15	
jun-96	1	0,16	0,16	0,16	
jul-96	2	0,14	0,13	0,13	
ago-96	3	0,12	0,09	0,10	
sep-96	1	0,10	0,10	0,10	
oct-96	2	0,12	0,08	0,10	
nov-96	2	0,08	0,06	0,07	
dic-96	2	0,09	0,06	0,07	
mar-97	3	1,20	0,60	0,90	
abr-97	6	0,35	0,23	0,29	
may-97	4	0,38	0,20	0,29	
jun-97	2	0,27	0,14	0,21	
jul-97	7	0,33	0,23	0,28	
ago-97	3	0,25	0,17	0,21	
sep-97	3	0,23	0,15	0,19	
oct-97	2	0,18	0,14	0,16	
nov-97	4	0,16	0,14	0,15	
dic-97	1	0,14	0,14	0,14	
ene-98	4	0,23	0,18	0,20	0,15
feb-98	2	0,42	0,18	0,30	
mar-98	4	0,21	0,18	0,20	
abr-98	4	0,15	0,13	0,14	
may-98	4	0,16	0,12	0,14	
jun-98	4	0,14	0,09	0,12	
jul-98	5	0,15	0,13	0,14	
ago-98	1	0,10	0,10	0,10	
sep-98	4	0,13	0,11	0,12	
oct-98	2	0,11	0,11	0,11	
nov-98	2	0,13	0,11	0,12	
dic-98	3	0,15	0,11	0,13	
ene-99	2	0,34	0,30	0,32	0,27
feb-99	3	0,65	0,40	0,52	
mar-99	4	0,94	0,47	0,70	
abr-99	2	0,34	0,33	0,33	
may-99	2	0,28	0,28	0,28	
jun-99	4	0,22	0,10	0,16	
jul-99	1	0,16	0,16	0,16	
ago-99	2	0,16	0,14	0,15	
sep-99	2	0,18	0,17	0,17	
oct-99	4	0,13	0,14	0,13	
nov-99	2	0,14	0,13	0,13	
dic-99	2	0,16	0,13	0,14	

<b>Tabla N° 1 (Continuación): Aforos mensuales medidos en la estación Candado</b>					
Fecha	Cantidad de aforos	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
		Máximo	Mínimo	Promedio	Promedio x año
may-00	1	0,76	0,76	0,76	0,38
jun-00	1	0,39	0,39	0,39	
jul-00	3	0,49	0,26	0,37	
ago-00	4	1,04	0,25	0,64	
sep-00	2	0,33	0,25	0,29	
oct-00	2	0,21	0,16	0,19	
nov-00	2	0,16	0,15	0,16	
dic-00	2	0,35	0,15	0,25	
ene-01	2	0,41	0,30	0,36	0,27
may-01	1	0,50	0,50	0,50	
jun-01	2	0,34	0,34	0,34	
jul-01	2	0,30	0,25	0,27	
ago-01	1	0,21	0,21	0,21	
sep-01	2	0,24	0,23	0,23	
oct-01	2	0,23	0,20	0,21	
nov-01	2	0,21	0,14	0,17	
dic-01	2	0,17	0,16	0,16	
abr-02	1	0,41	0,41	0,41	0,26
may-02	2	0,36	0,32	0,34	
jun-02	1	0,38	0,38	0,38	
jul-02	2	0,25	0,23	0,24	
ago-02	1	0,22	0,22	0,22	
sep-02	1	0,23	0,23	0,23	
oct-02	1	0,15	0,15	0,15	
nov-02	1	0,14	0,14	0,14	
dic-02	1	0,20	0,20	0,20	
abr-03	1	0,21	0,21	0,21	0,14
may-03	1	0,16	0,16	0,16	
jul-03	1	0,14	0,14	0,14	
ago-03	1	0,12	0,12	0,12	
sep-03	1	0,13	0,13	0,13	
oct-03	1	0,12	0,12	0,12	
nov-03	1	0,12	0,12	0,12	
jul-04	2	0,24	0,18	0,21	0,19
sep-04	1	0,16	0,16	0,16	
nov-04	2	0,29	0,12	0,20	
ene-05	1	0,48	0,48	0,48	0,33
mar-05	1	0,44	0,44	0,44	
jun-05	1	0,24	0,24	0,24	
sep-05	1		0,16	0,16	

Fuente de información: Minera Agua Rica b, 2007

<b>Tabla N° 2: Aforos mensuales medidos en la estación Minas</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Cantidad de aforos</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>			<b>Promedio x año</b>	
		<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>		
feb-96	2	0,02	0,03	0,03	<b>0,03</b>	
mar-96	2	0,04	0,03	0,04		
may-96	2	0,03	0,03	0,03		
jun-96	1	0,03	0,03	0,03		
jul-96	3	0,03	0,03	0,03		
ago-96	3	0,02	0,02	0,02		
sep-96	2	0,03	0,03	0,03		
oct-96	2	0,02	0,02	0,02		
nov-96	2	0,02	0,02	0,02		
dic-96	2	0,02	0,02	0,02		
ene-97	2	0,26	0,06	0,16		<b>0,07</b>
mar-97	2	0,13	0,08	0,11		
ab-97	8	0,11	0,05	0,08		
may-97	7	0,09	0,02	0,05		
jun-97	2	0,09	0,05	0,07		
jul-97	7	0,07	0,01	0,04		
ago-97	4	0,08	0,06	0,07		
sep-97	4	0,05	0,04	0,05		
oct-97	4	0,05	0,03	0,04		
nov-97	4	0,04	0,03	0,04		
dic-97	1	0,04	0,04	0,04		
ene-98	4	0,06	0,04	0,05	<b>0,04</b>	
feb-98	3	0,06	0,04	0,05		
mar-98	4	0,04	0,04	0,04		
abr-98	4	0,04	0,03	0,04		
may-98	5	0,06	0,03	0,05		
jun-98	4	0,05	0,03	0,04		
jul-98	5	0,05	0,04	0,04		
ago-98	1	0,04	0,04	0,04		
sep-98	4	0,05	0,03	0,04		
oct-98	2	0,04	0,04	0,04		
nov-98	13	0,05	0,02	0,04		
dic-98	3	0,04	0,03	0,04		
ene-99	2	0,05	0,05	0,05	<b>0,06</b>	
feb-99	4	0,15	0,05	0,10		
mar-99	4	0,25	0,07	0,16		
abr-99	2	0,06	0,04	0,05		
may-99	2	0,06	0,05	0,05		
jun-99	4	0,05	0,04	0,05		
jul-99	1	0,05	0,05	0,05		
ago-99	2	0,05	0,05	0,05		
sep-99	2	0,04	0,04	0,04		
oct-99	2	0,04	0,04	0,04		
nov-99	2	0,05	0,04	0,04		
dic-99	2	0,04	0,04	0,04		

<b>Tabla N° 2 (Continuación): Aforos mensuales medidos en la estación Minas</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Cantidad de aforos</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>			
		<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Promedio x año</b>
may-00	1	0,15	0,15	0,15	<b>0,08</b>
jun-00	13	0,09	0,08	0,09	
jul-00	2	0,09	0,08	0,09	
ago-00	4	0,08	0,08	0,08	
sep-00	2	0,06	0,06	0,06	
oct-00	2	0,07	0,07	0,07	
nov-00	3	0,06	0,02	0,04	
dic-00	2	0,11	0,05	0,08	
ene-01	2	0,09	0,04	0,06	<b>0,07</b>
may-01	1	0,09	0,09	0,09	
jun-01	2	0,09	0,07	0,08	
jul-01	2	0,08	0,06	0,07	
ago-01	2	0,07	0,05	0,06	
sep-01	2	0,07	0,07	0,07	
oct-01	2	0,06	0,06	0,06	
nov-01	2	0,06	0,05	0,06	
dic-01	2	0,05	0,05	0,05	<b>0,06</b>
abr-02	1	0,07	0,07	0,07	
may-02	1	0,06	0,06	0,06	
jun-02	1	0,06	0,06	0,06	
jul-02	1	0,07	0,07	0,07	
ago-02	1	0,06	0,06	0,06	
sep-02	1	0,06	0,06	0,06	
oct-02	1	0,05	0,05	0,05	
nov-02	2	0,06	0,06	0,06	<b>0,04</b>
dic-02	2	0,06	0,05	0,06	
abr-03	1	0,06	0,06	0,06	
may-03	1	0,06	0,06	0,06	
jul-03	1	0,04	0,04	0,04	
ago-03	1	0,03	0,03	0,03	
sep-03	1	0,03	0,03	0,03	
oct-03	2		0,03	0,01	<b>0,09</b>
jul-04	2	0,06	0,04	0,06	
sep-04	1	0,17	0,17	0,17	
nov-04	1	0,06	0,06	0,06	<b>0,05</b>
mar-05	1	0,08	0,08	0,08	
jun-05	1	0,05	0,05	0,05	
sep-05	1	0,01	0,01	0,01	

Fuente de información: *Minera Agua Rica b, 2007*

<b>Tabla 3: Aforos mensuales en la estación Blanco</b>					
Fecha	Cantidad de aforos	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
		Máximo	Mínimo	Promedio	Promedio x año
jun-96	1	0,41	0,41	0,41	<b>0,37</b>
jul-96	4	0,40	0,35	0,37	
ago-96	2	0,47	0,40	0,44	
sep-96	1	0,39	0,39	0,39	
oct-96	2	0,44	0,38	0,41	
nov-96	2	0,34	0,24	0,29	
dic-96	2	0,36	0,25	0,30	
ene-97	1	0,68	0,68	0,68	<b>0,70</b>
mar-97	3	2,47	0,81	1,64	
abr-97	5	0,98	0,67	0,83	
may-97	3	1,03	0,54	0,79	
jun-97	2	0,69	0,63	0,66	
ago-97	1	0,50	0,50	0,50	
sep-97	6	0,63	0,49	0,56	
oct-97	2	0,51	0,44	0,48	
nov-97	5	0,43	0,40	0,42	
dic-97	2	0,49	0,49	0,49	<b>0,43</b>
ene-98	3	0,64	0,58	0,61	
feb-98	4	0,89	0,52	0,70	
mar-98	3	0,66	0,55	0,60	
abr-98	4	0,46	0,28	0,37	
may-98	5	0,51	0,36	0,43	
jun-98	4	0,43	0,36	0,39	
jul-98	4	0,37	0,32	0,34	
ago-98	3	0,35	0,33	0,34	
sep-98	3	0,35	0,33	0,34	
oct-98	3	0,34	0,27	0,31	
nov-98	2	0,37	0,36	0,37	
dic-98	3	0,39	0,36	0,38	
ene-99	2	0,85	0,70	0,77	<b>0,74</b>
feb-99	1	0,82	0,82	0,82	
abr-99	1	0,71	0,71	0,71	
may-99	1	0,76	0,76	0,76	
jun-99	2	0,68	0,61	0,64	
mar-04	1	0,92	0,92	0,92	<b>0,55</b>
may-04	1	0,60	0,60	0,60	
jul-04	2	0,46	0,25	0,35	
sep-04	2	0,33	0,31	0,32	
jun-05	1	0,76	0,76	0,76	<b>0,64</b>
sep-05	1	0,52	0,52	0,52	
Fuente de información: Minera Agua Rica b, 2007					

<b>Tabla N° 4: Aforos mensuales en la estación La Toma</b>					
Fecha	Cantidad de aforos	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			Promedio x año
		Máximo	Mínimo	Promedio	
jun-96	1	0,40	0,40	0,40	<b>0,34</b>
jul-96	4	0,41	0,36	0,38	
ago-96	1	0,35	0,35	0,35	
sep-96	2	0,39	0,38	0,38	
oct-96	3	0,39	0,28	0,33	
nov-96	3	0,33	0,23	0,28	
dic-96	10	0,34	0,22	0,28	
ene-97	1	2,29	2,29	2,29	<b>1,07</b>
feb-97	3	1,74	1,58	1,66	
mar-97	4	4,38	1,02	2,70	
abr-97	5	1,33	0,85	1,09	
may-97	2	0,95	0,93	0,94	
jun-97	1	0,85	0,85	0,85	
jul-97	5	0,69	0,48	0,58	
ago-97	6	0,68	0,50	0,59	
sep-97	5	0,67	0,54	0,60	
oct-97	5	0,61	0,44	0,52	
nov-97	3	0,48	0,42	0,45	
dic-97	2	0,52	0,50	0,51	
ene-98	4	0,83	0,62	0,73	<b>0,54</b>
feb-98	4	0,75	0,60	0,67	
mar-98	4	0,82	0,54	0,68	
abr-98	3	0,65	0,54	0,59	
may-98	6	0,71	0,45	0,58	
jun-98	4	0,65	0,44	0,55	
jul-98	5	0,43	0,40	0,42	
ago-98	1	0,40	0,40	0,40	
sep-98	3	0,39	0,35	0,37	
oct-98	2	0,82	0,38	0,60	
nov-98	3	0,43	0,37	0,40	
dic-98	2	0,57	0,36	0,47	
ene-99	3	1,34	0,81	1,08	<b>0,73</b>
feb-99	4	1,74	0,72	1,23	
mar-99	5	1,59	1,19	1,39	
abr-99	1	1,00	1,00	1,00	
may-99	3	0,83	0,81	0,82	
jun-99	4	0,65	0,60	0,63	
jul-99	3	0,52	0,44	0,48	
ago-99	6	0,46	0,38	0,42	
sep-99	2	0,50	0,46	0,48	
oct-99	2	0,43	0,41	0,42	
nov-99	3	0,47	0,37	0,42	
dic-99	2	0,46	0,36	0,41	

<b>Tabla N° 4 (Continuación): Aforos mensuales en la estación La Toma</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Cantidad de aforos</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>			<b>Promedio x año</b>
		<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	
feb-00	1	1,55	1,55	1,55	<b>1,01</b>
mar-00	2	2,27	1,94	2,10	
abr-00	2	1,47	1,07	1,27	
may-00	2	0,84	0,64	0,74	
jun-00	14	1,57	0,03	0,80	
jul-00	2	0,97	0,90	0,94	
ago-00	14	1,01	0,47	0,74	
sep-00	2	0,83	0,70	0,77	
oct-00	2	0,79	0,70	0,74	
nov-00	2	0,72	0,65	0,68	
dic-00	2	0,83	0,71	0,77	
ene-01	2	0,89	0,48	0,68	
feb-01	2	2,27	0,65	1,46	
mar-01	1	1,85	1,85	1,85	
abr-01	2	1,95	1,55	1,75	
may-01	2	1,34	1,16	1,25	
jun-01	2	1,34	1,12	1,23	
jul-01	2	1,02	0,85	0,93	
ago-01	2	0,91	0,89	0,90	
sep-01	2	0,86	0,82	0,84	
oct-01	2	0,63	0,57	0,60	
nov-01	2	0,68	0,65	0,66	
dic-01	20	1,00	0,48	0,74	
ene-02	2	0,93	0,60	0,76	<b>0,82</b>
feb-02	3	1,67	0,85	1,26	
mar-02	1	1,79	1,79	1,79	
abr-02	2	0,94	0,81	0,87	
may-02	2	0,78	0,66	0,72	
jun-02	2	0,71	0,68	0,69	
jul-02	13	0,72	0,63	0,68	
ago-02	2	0,71	0,68	0,70	
sep-02	19		0,59	0,59	
oct-02	2	0,70	0,56	0,63	
nov-02	2	0,66	0,61	0,63	
dic-02	2	0,55	0,54	0,54	
ene-03	1	0,55	0,55	0,55	<b>0,58</b>
feb-03	2	1,14	0,60	0,87	
abr-03	2	0,75	0,66	0,71	
may-03	1	0,57	0,57	0,57	
jun-03	1	0,57	0,57	0,57	
jul-03	2	0,50	0,50	0,50	
sep-03	2	0,57	0,44	0,50	
oct-03	1	0,41	0,41	0,41	
nov-03	1	0,50	0,50	0,50	

<b>Tabla N° 4 (Continuación) : Aforos mensuales en la estación La Toma</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Cantidad de aforos</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>			
		<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Promedio x año</b>
ene-04	2	0,69	0,35	0,52	<b>0,65</b>
feb-04	1	1,17	1,17	1,17	
mar-04	3	1,02	0,59	0,80	
abr-04	1	0,78	0,78	0,78	
may-04	1	0,73	0,73	0,73	
jun-04	3	0,69	0,47	0,58	
jul-04	2	0,51	0,51	0,51	
ago-04	2	0,53	0,49	0,51	
sep-04	2	0,54	0,51	0,52	
oct-04	2	0,55	0,54	0,55	
nov-04	2	0,43	0,43	0,43	
ene-05	2	0,81	0,42	0,61	<b>0,62</b>
feb-05	1	0,60	0,60	0,60	
ab-05	1	0,88	0,88	0,88	
may-05	1	0,74	0,74	0,74	
jul-05	2	0,07	0,74	0,41	
ago-05	1	0,46	0,46	0,46	
sep-05	1	0,62	0,62	0,62	
oct-05	1	0,65	0,65	0,65	

*Fuente de información: Minera Agua Rica b, 2007*

### **8.3 ANEXO III: Niveles guía de calidad de agua para bebida humana vigentes en la República Argentina**

**NORMATIVA COMPLEMENTARIA DE LA LEY 24.585 "DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA ACTIVIDAD MINERA"**

**ANEXO IV**

**NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA**

**TABLA 1: Fuentes de Agua para Bebida Humana**

CONSTITUYENTE	UNIDAD	NIVEL
Ph	-	6.5 – 8.5
Sólidos totales Disueltos	µ/L	1 x 10 <sup>6</sup>
Oxígeno Disuelto	µg/L O <sub>2</sub>	5000
Aluminio (total)	µg/L	200
Antimonio (total)	µg/L	10
Arsénico (total)	µg/L	50
Bario (total)	µg/L	1000
Berilio (total)	µg/L	0.039
Cadmio (total)	µg/L	5
Cianuro (total)	µg/L	100
Cinc (total)	µg/L	5000
Cobre (total)	µg/L	1000
Cromo (total)	µg/L	50
Cromo (+6)	µg/L	50
Fluoruro (total)	µg/L	1500
Mercurio (total)	µg/L	1
Níquel (total)	µg/L	25
Nitrato	µg/L	10000
Nitrito	µg/L	1000
Plata (total)	µg/L	50
Plomo (total)	µg/L	50
Selenio (total)	µg/L	10
Uranio (total)	µg/L	100

## CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO

Se transcriben textualmente, únicamente los niveles guías establecidos para sustancias inorgánicas para agua potable por el Código Alimentario Argentino.

**La siguiente modificación de artículo 982° del Código Alimentario Argentino entrará en vigencia el 7 de junio de 2007**

**Artículo 982° - (Res Conj. SPR y RS y SAGP y A N° 68/2007 y N° 196/2007)**

*“Con las denominaciones de agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios. Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:*

### Características físicas:

*Turbiedad: máx. 3 NTU;  
Color: máx. 5 escala Pt-Co;  
Olor: sin olores extraños.*

### Características químicas:

*pH: 6,5 - 8,5;  
pH sat.: pH  $\pm$  0,2.*

### Substancias inorgánicas:

*Amoníaco (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) máx.: 0,20 mg/L;  
Antimonio máx.: 0,02 mg/L;  
Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/L;  
Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/L;  
Boro (B) máx.: 0,5 mg/L;  
Bromato máx.: 0,01 mg/L;  
Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/L;  
Cianuro (CN) máx.: 0,10 mg/L;  
Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/L;  
Cloruro (Cl) máx.: 350 mg/L;  
Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/L;  
Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/L;  
Dureza Total (CaCO<sub>3</sub>) máx.: 400 mg/L;  
Fluoruro (F): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:*

- Temperatura media y máxima del año (°C) 10,0 - 12,0, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,9; Límite superior: 1, 7:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 12,1 - 14,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,8; Límite superior: 1,5:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 14,7 - 17,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,8; Límite superior: 1,3:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7 - 21,4, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,7; Límite superior: 1,2:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5 - 26,2, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,7; Límite superior: 1,0:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3 - 32,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/L), Límite inferior: 0,6; Límite superior: 0,8:

Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/L;

Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/L;

Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/L;

Níquel (Ni) máx.: 0,02 mg/L;

Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) máx.: 45 mg/L;

Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) máx.: 0,10 mg/L;

Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/L;

Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/L;

Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/L;

Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/L;

Sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ) máx.: 400 mg/L;

Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/L.

La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario.

Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/L.

**Fuente de información:** [www.anmat.gov.ar/codigoa](http://www.anmat.gov.ar/codigoa)

#### **8.4 ANEXO IV: Fotografías de la cuenca y de las estaciones de monitoreo de agua:**

- **CANDADO**
- **MINAS**
- **CANDADO – MINAS**
- **BLANCO**
- **LA TOMA**

**Foto N° 1:** Vista general del relieve de la cuenca del río Andalgalá. Foto tomada desde la huella de acceso al proyecto Agua Rica hacia el sur.



Salar de Pipanaco



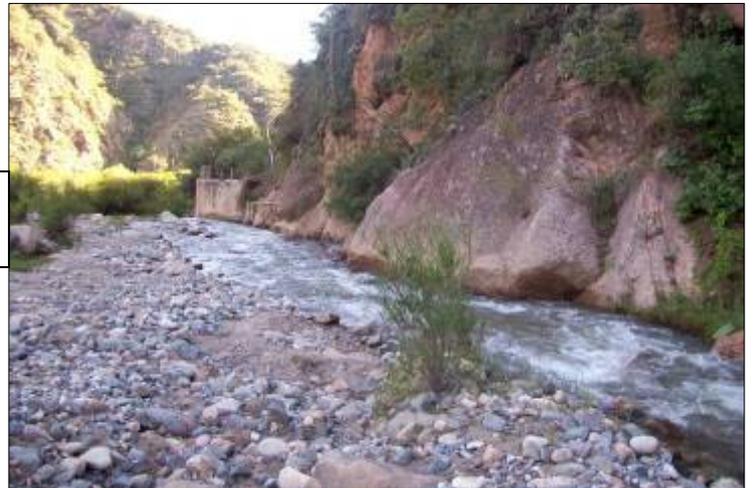
**Foto N° 2:** Vertiente oriental de la Sierra de Aconquija. Se indica con una flecha, el circo glaciario del Nevado del Candado.



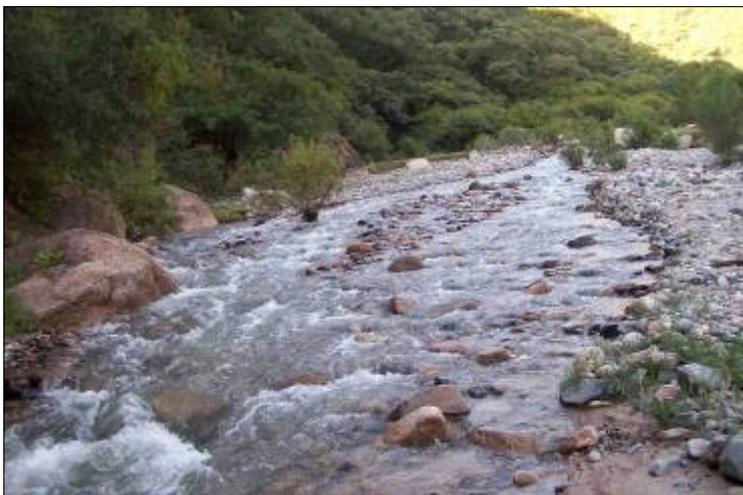
**Foto N° 3:** Huella minera de acceso al proyecto minero Agua Rica. La zona surcada con numerosas huellas corresponde al yacimiento de tipo cobre porfirico.



**Foto N° 4:** Depósito mineralizado de Filo Colorado al fondo de la vista. En primer plano huella minera y cubetas glaciarias labradas sobre rocas metamórficas.



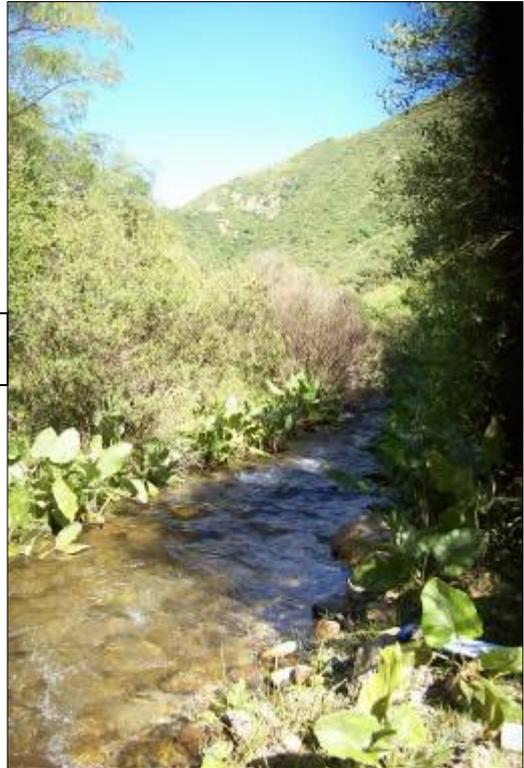
**Foto N° 5:** Estación La Toma. Vista aguas abajo.



**Foto N° 6:** Estación La Toma. Vista aguas arriba.



**Foto N° 7:** Confluencia de los ríos Candado (izquierda) y Blanco (derecha). Vista aguas arriba.



**Foto N° 8:** Río Blanco. Vista aguas arriba.



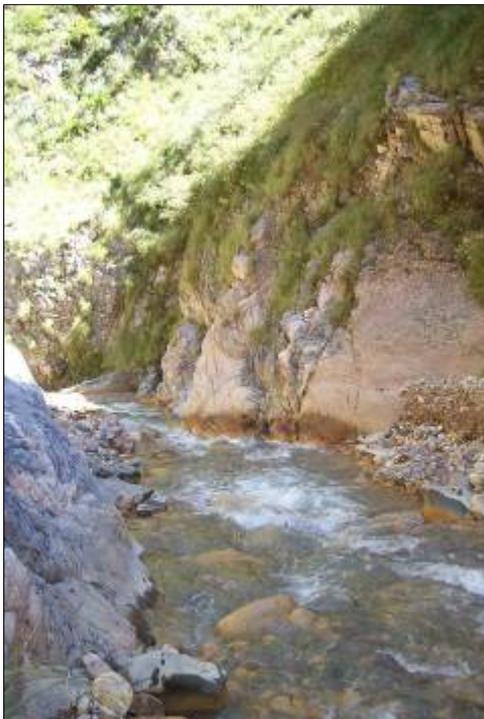
**Foto N° 9:** Río Candado. Vista aguas arriba.



**Foto N° 10:** Río Candado. Vista aguas abajo.



**Foto N° 11:** Zona de confluencia de los ríos Candado (derecha) y Minas (izquierda). Vista aguas arriba.



**Foto N° 12:** Confluencia Candado – Minas. Vista aguas abajo



**Foto N° 13** Río Minas. Vista aguas arriba.



**Foto N° 14:** Río Minas. Vista aguas abajo.