

# Características hidroquímicas de la cuenca del río Andalgalá (Provincia de Catamarca, República Argentina)

*Hydrochemistry characteristics of the Andalgalá river basin (province of Catamarca, Argentina)*

M. Cisternas<sup>(1)</sup>, M. Olías<sup>(2)</sup> y M. Hidalgo<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Maximio Victoria 55. Catamarca. CP 4700. República Argentina. mciste@hotmail.com

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Campus «El Carmen» s/n 21071- Huelva. manuel.olias@dgyu.uhu.es

<sup>(3)</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Catamarca. Av. Belgrano al 300. Catamarca. CP 4700. República Argentina. mhidalgo@csnat.unt.edu.ar

## ABSTRACT

*The hydrochemistry characteristics of the Andalgalá river basin (province of Catamarca, Argentina) are analyzed in the present study. In this zone there are metal sulphide deposits which could generate acid mine drainage (AMD). The analyzed information has come fundamentally from the Program of Quality of Water of the companies that have explored the zone since 1995. Many of the records of water quality analyzed included systematic errors and have been discarded. Two types of hydrochemistry facies are observed: 1) in the Minas subbasin, where the sulphide deposits outcrop, the water is sulphate calcium, with low values of pH and elevated concentrations of metals due to a natural process of sulphide oxidation (acid rock drainage or ARD) and 2) in the rest of the basin the water is bicarbonate calcium type, with a low alkalinity due to the carbonated mineral absence in the zone. Due to the lower flow, the acid contribution of the Minas river is neutralized when mixing with other tributaries, so that when coming out of the river basin the water quality is acceptable. However, an increase in the acidity transported by the Minas river by the exploitation of sulphide deposits could jeopardize the current water uses, including supplying a population of 14,000 inhabitants.*

**Key words:** hydrochemistry, Andalgalá, Catamarca, acid mine drainage, acid rock drainage.

Geogaceta, 44 (2008), 159-162  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El río Andalgalá es un torrente de montaña, de régimen permanente, que drena una cuenca de 211 km<sup>2</sup> de superficie (Minera Agua Rica, 2006) ubicada al NO de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca (Fig.1), en la provincia de Catamarca (República Argentina).

Posee como principales tributarios a los ríos Candado y Blanco. El río Minas constituye otro importante afluente, no por el caudal que aporta al río principal, sino por la acidez y elevada concentración de metales que tienen sus aguas. Hacia el sur, el río Andalgalá se infiltra en el extremo norte del Salar de Pipanaco, que constituye el nivel de base de todas las corrientes de agua que descienden de los sistemas serranos que lo rodean. El relieve de la cuenca es muy escarpado, con pendientes que superan los 25°.

Desde el punto de vista geológico la zona pertenece al Sistema de Sierras Pampeanas Noroccidentales, caracterizadas por bloques asimétricos elevados

por la tectónica andina y limitados por fracturas inversas, de alto ángulo y rumbo NNE – SSO (González Bonorino, 1950). Las rocas más antiguas están representadas por un basamento metamórfico de edad Proterozoico Superior – Cámbrico, constituido por gneises, migmatitas, esquistos, intruido durante el Ordovícico – Silúrico por rocas de composición sienodiorita – sienogranito, que forman parte de un extenso batolito conocido como «Capillitas».

En el Mioceno se produce el depósito de sedimentos continentales entre los que se intercalan eventos volcánicos que han originado los yacimientos existentes en la zona. La mineralización se asocia espacial y genéticamente con la alteración hidrotermal que afecta a pórfidos dacíticos–andesíticos y brechas. Los depósitos modernos cuaternarios corresponden a sedimentos fluviales y aluviales originados por procesos erosivos que han afectado a las secuencias litológicas anteriores, rellenando las áreas más deprimidas.

La presencia de piritas en los depósitos mineralizados, además de otros sulfuros de interés económico como calcosina, covellina y molibdenita, determinan la potencialidad de estos materiales de generar drenaje ácido (Nordstrom y Alpers, 1999). Varias empresas mineras están explorando estos recursos minerales y es muy probable que al menos uno de estos yacimientos comience pronto su fase de explotación. La actividad minera implica la trituración y molienda del material extraído y consecuentemente el incremento de su superficie de exposición a los agentes atmosféricos, favoreciendo los procesos de drenaje ácido de minas (AMD).

A la salida de la cuenca se ubica una importante población de más de 14.000 habitantes, que usa las aguas de este río para riego y abastecimiento humano. El objetivo principal de esta investigación ha sido establecer las características hidroquímicas de la cuenca del río Andalgalá sobre una base de datos de registros confiables y válidos, para contri-

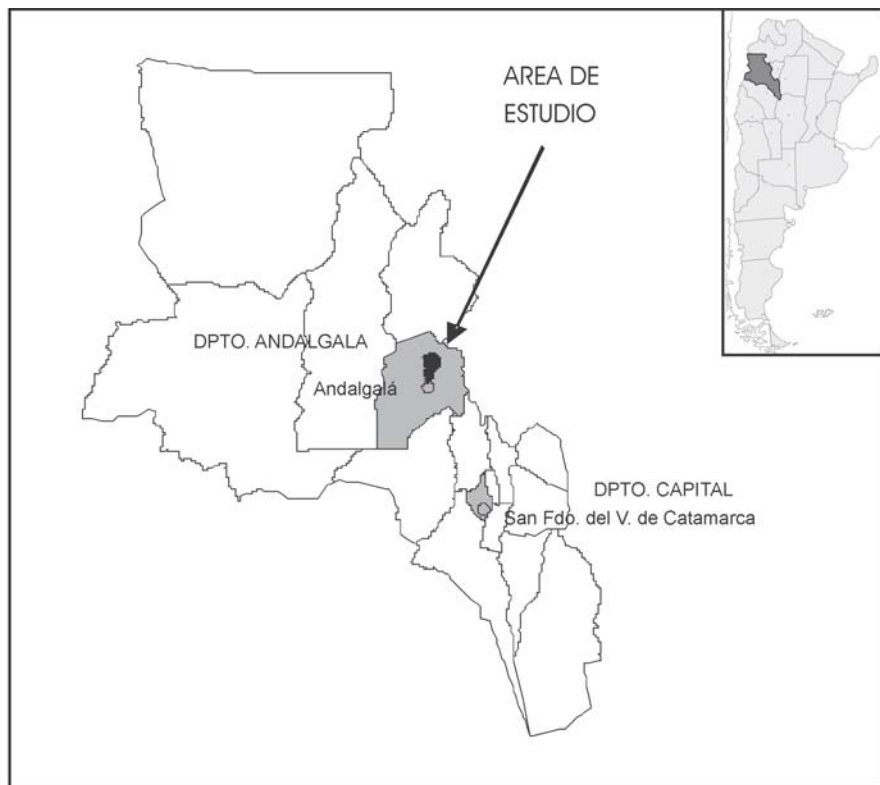


Fig. 1.- Ubicación del área de estudio (departamento Andalgalá, provincia de Catamarca, República Argentina).

Fig. 1.- Location map of the zone of study (Aldgalá Department, Catamarca Province, Argentina).

buir a la determinación de la línea de base de calidad de agua en la cuenca.

**Metodología**

El análisis se ha centrado en cinco estaciones de control (Fig.2): Minas, Candado, Confluencia Candado – Minas (ubicadas en el sector superior de la cuenca), Blanco (sector medio) y La Toma (a la salida de cuenca).

Se dispone de datos de calidad de agua y caudal obtenidos a partir de muestreos mensuales y bimestrales desde el año 1995, realizados por las empresas mineras BHP Copper y Minera Agua Rica, que han constituido la principal fuente de información para llevar a cabo esta investigación (BHP Copper, 1997; Minera Agua Rica, 2006). La Secretaría de Estado de Minería (SEM), organismo público encargado de controlar la actividad minera en la provincia de Catamarca, ha efectuado algunos muestreos esporádicos en la cuenca a partir del año 2000 y ha implementado un programa sistemático de muestreo a partir de marzo de 2007, con frecuencia mensual (Unidad de Gestión Ambiental Provincial, 2007). El acceso a estos registros ha sido posible a partir de la consulta pública de la información ambiental en la SEM. Los datos

de caudales, obtenidos a partir de una serie de aforos puntuales realizados mediante molinete, fueron obtenidos a partir de la fuente de información citada.

Dentro del amplio espectro de determinaciones (más de 100) que se ejecutan dentro de programa de control se seleccionaron caudal, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, fluoruros, nitratos, calcio, sodio, potasio, magnesio, hierro, aluminio, manganeso, cobre y cinc.

La confiabilidad y validez de los datos analíticos ha sido controlada mediante el calculo del error del balance eléctrico (Appelo y Postma, 1996) y contrastando la suma de aniones y de cationes (expresados en meq/L) con el valor de conductividad eléctrica del agua (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Aunque se han realizado análisis que incluyen metales totales (incluyendo los asociados al material particulado), para este estudio solo se han tenido en cuenta metales en disolución (aquellos que pasan por un filtro de 0,45 mm de tamaño de poro) debido a que son los habitualmente estudiados y constituyen la fracción que los organismos vivos incorporan en forma directa a su metabolismo. 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.

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.

**Resultados y Discusión**

El río Minas es el menos importante de los afluentes controlados, con un caudal de 0,06 m<sup>3</sup>/s (periodo de medición: febrero de 1996 a septiembre de 2005). El río Candado presenta un caudal promedio de 0,24 m<sup>3</sup>/s (periodo de medición: marzo de 1996 a septiembre de 2005). El río Blanco presenta un promedio anual de 0,57 m<sup>3</sup>/s teniendo en cuenta aforos mensuales realizadas entre junio de 1996 a junio de 1999 y entre marzo de 2004 a septiembre de 2005. El río Andalgalá, en la estación La Toma, posee 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.

Se han considerado válidos aquellos registros que evidenciaron un error de balance iónico menor al 10% y, además, la suma aniones y suma de cationes (expresados en meq/L) multiplicadas por 100 y divididos por la conductividad eléctrica (en mS/cm) se mantuvo entre 0,9 y 1,1. La tabla I muestra el número de registros hidroquímicos considerados y los que se han considerado confiables, la mayor parte de los registros no superan el control de calidad. Los registros de calidad de agua que muestran mayor error corres-

ESTACIÓN	La Toma - Andalgalá	Minas	Conf. Minas -Candado	Candado	Blanco
Total de registros considerados	105	94	74	88	41
Total de registros válidos	29	15	31	31	12
% registros válidos	28 %	16 %	42 %	35 %	29 %

Tabla I.- Número de registros disponibles en cada estación de control, indicando los que han superado el control de calidad establecido.

Table I.- Available records for each sampling point, indicating those which have passed the quality control.

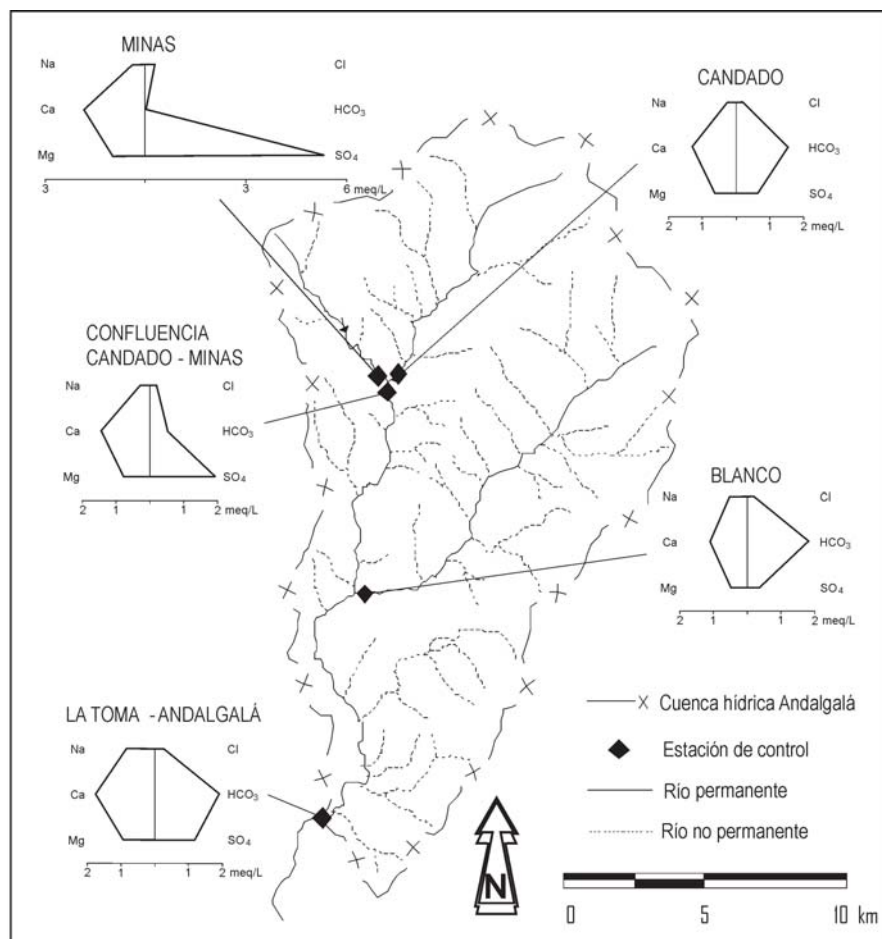


Fig. 2.- Estaciones de control de calidad del agua y diagramas de Stiff de la composición química media.

Fig. 2.- Water quality sampling points and Stiff diagrams of mean contents.

tencia de mineralizaciones de sulfuros que se oxidan provocando acidez y elevadas concentraciones de metales trazas (Nordstrom y Alpers, 1999)

El río Candado muestra una baja conductividad eléctrica (media de 219 mS/cm), un valor de pH neutro y un bajo contenido en sulfatos. Después de su confluencia con el río Minas, se produce un incremento de la conductividad (271 mS/cm) aún cuando el caudal del río Candado es cuatro veces mayor que el del río Minas. Como resultado el pH del agua desciende ligeramente y se tienen concentraciones apreciables de metales tóxicos como Al, Fe y Zn (Tabla II).

El río Blanco tiene unas características parecidas al Candado, con una baja concentración de sustancias disueltas, valores alcalinos de pH y facies bicarbonatada cálcica. La concentración de sulfatos es menor al resto de los puntos analizados, indicando que en su cuenca no afloran sulfuros. Dado que no existen materiales carbonatados en la zona, la composición bicarbonatada cálcica debe provenir de la alteración de minerales aluminosilicatados, como feldespatos potásicos y plagioclasas.

En la estación de La Toma las características hidroquímicas son similares a las del río Blanco debido a su mayor caudal. No obstante, se observa la influencia de las aguas sulfatadas procedentes del río Minas, por un incremento de la mineralización, fundamentalmente debi-

ponden a la estación río Minas y los que manifiestan menor error, pertenecen a la estación Candado – Minas.

La tabla II muestra los valores medios de los parámetros analizados en cada estación de control obtenidos sobre los registros considerados válidos. Las figuras 2 y 3 muestran gráficamente la composición química en cuanto a los iones mayoritarios, se observan dos tipos de aguas: bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica. Las concentraciones de cloruros, sodio, magnesio, potasio y nitratos son bajas en todos los puntos controlados.

El agua sulfatada proviene del río Minas, que tiene un pH ácido (media de 3,2), mayor mineralización (conductividad eléctrica de 618 mS/cm) y elevadas concentraciones de metales como Fe, Al y Mn. Esta composición se debe a la exis-

		Candado	Minas	Conflu. Candado Minas	Blanco	La Toma
<b>Periodo de control</b>		Ene/97-Mar/07	Jul/97-Mar/07	Sep/99-Mar/07	Ene/97-Mar/07	Jun/96-Mar/07
<b>pH</b>		7,57	3,21	6,63	8,00	7,92
<b>CE</b>	μS/cm	219	618	271	209	278
<b>Bicarbonato</b>	mg/L	95	0	31,9	111	93,8
<b>Cloruros</b>	mg/L	6,6	9,6	7,7	5,7	7,7
<b>Sulfatos</b>	mg/L	31,0	255	93,4	16,2	45,4
<b>Nitratos</b>	mg/L	4,3	6,2	3,2	0,70	3,4
<b>Fluoruros</b>	mg/L	0,67	0,53	0,68	1,01	0,70
<b>Magnesio</b>	mg/L	7,7	11,7	9,5	5,8	9,1
<b>Calcio</b>	mg/L	25,7	36,8	28,7	21,6	28,4
<b>Potasio</b>	mg/L	1,9	8,1	3,3	1,8	3,1
<b>Sodio</b>	mg/L	5,2	8,4	6,7	12,3	15,3
<b>Aluminio</b>	mg/L	0,27	13,3	0,86	0,07	0,07
<b>Hierro</b>	mg/L	0,20	13,1	0,63	0,12	0,26
<b>Manganeso</b>	mg/L	0,08	1,89	0,56	0,04	0,27
<b>Cobre</b>	mg/L	0,12	0,95	0,16	<LD	0,13
<b>Cinc</b>	mg/L	0,14	0,73	0,26	0,03	0,09

Tabla II.- Valores medios de las determinaciones realizadas (CE: conductividad eléctrica, LD: menor al límite de detección).

Table II.- Mean values of analyzed variables (CE: electrical conductivity, LD: below detection limit).

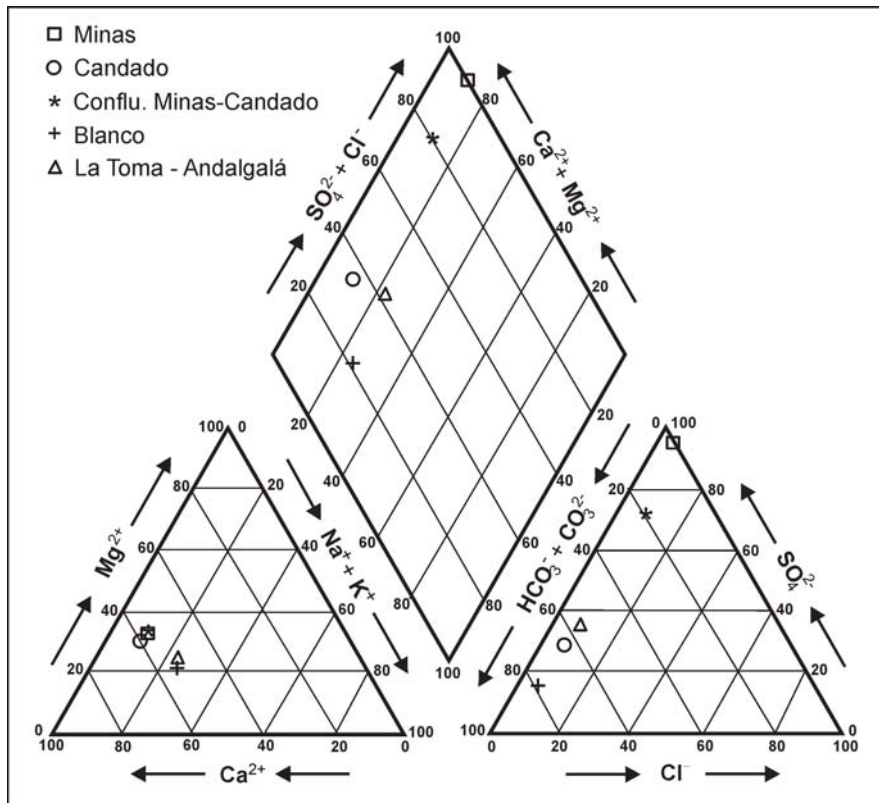


Fig. 3. Diagrama de Piper de la composición química media del agua en los puntos muestreados.

Fig. 3. Piper diagram of the mean water composition in the sampling points.

do al contenido en sulfatos. Las concentraciones de elementos trazas, algunos tóxicos (Fe, Al, Cu, Zn y Mn) son muy bajas debido a su dilución y los procesos de precipitación y/o adsorción por el incremento del pH (Fernández Caliani, 2003; Olías *et al.*, 2004).

El diagrama Piper (Fig.3) muestra que los puntos de control se alinean formando una recta cuyos extremos son el río Blanco y el río Minas, indicando que los otros tres pueden ser mezclas, con distintas proporciones, de estos tipos de aguas.

### Conclusiones y Recomendaciones

Gran parte de los registros de calidad de agua obtenidos a partir del programa de control de las empresas que exploran los yacimientos de sulfuros adolecen de frecuentes errores sistemáticos en las determinaciones de laboratorio.

En la cuenca se observan dos tipos de agua: bicarbonatada cálcica y sulfatada cálcica. El aporte de agua ácida y sulfatada cálcica proveniente del río Minas es neutralizada en parte por el agua bicarbonatada del río Candado y aguas abajo por el río Blanco, provocando el incremento de la cantidad y con-

centración de sustancias disueltas (fundamentalmente sulfatos) en el agua resultante a la salida de la cuenca (estación La Toma).

Como consecuencia del aumento del pH precipitan o son adsorbidos metales trazas, como el hierro, manganeso y aluminio, reduciéndose notablemente en relación a sus concentraciones en el río Minas. No obstante, estos elementos superan en algunos registros los niveles guías de calidad de agua potable establecidos por las normativas argentinas. En el río Minas cobre y cinc también presentan valores por encima de lo permitido en algunas muestras.

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 aluminosilicatados (en la zona donde no existen depósitos de sulfuros), por un lado, y la oxidación natural de los sulfuros, principalmente en la cuenca del río Minas, por el otro.

Las aguas a la salida de la cuenca tienen una baja alcalinidad y por tanto baja capacidad de neutralización de la acidez. Empresa y estado deberán implementar las medidas adecuadas, debido a que el

inicio de la explotación minera podría producir un incremento de la oxidación de los sulfuros y la acidificación del río Andalgalá.

El estado provincial debería iniciar y generar una base de datos hidroquímicos confiables, tendientes a definir la línea de base de calidad de agua, en forma previa al inicio de la actividad minera de explotación y debería exigir a la empresa revise sus procedimientos de control. En el caso de iniciarse la actividad minera se deben contemplar las medidas necesarias para que no se incremente la carga de acidez que transporta el río Minas.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaria de Estado de Minería, por el acceso a la información y apoyo brindado en el curso de esta investigación.

### Referencias

- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ed. Díaz de Santos, 1816 p.
- Appelo, C. A. J. y Postma, D. (1996). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Ed. Balkema, 536 p.
- BHP Copper. (1997). *Informe de Impacto Ambiental para el proyecto Agua Rica, etapa de exploración*. Expediente E - 1898/97. Informe Técnico.
- González Bonorino, F. (1950). *Geología y Petrografía de las Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgalá)*. Catamarca. Boletín, 70, 48 -51.
- Fernández Caliani, J.C. (2003). En: *Mineralogía Aplicada* (E. Galán, Ed.). Ed. Síntesis, 251-265.
- Minera Agua Rica. (2006). *Informe de Impacto Ambiental. Actualización bi-anual. Área de mina. Proyecto Agua Rica*. Expediente E - 1898/97. Informe Técnico.
- Nordstrom, D.K. y Alpers, C.N. (1999). En: *The environmental geochemistry of mine waters* (G.S. Plumlee y M.J. Logson, Eds.). Reviews in Economic Geology, 6A, 133-160.
- Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Ceron, J.C. y Cánovas, C.R. (2004). *Science of the Total Environment*, 333, 267-81.
- Unidad de Gestión Ambiental Provincial. (2007). *Subprograma de monitoreo de la cuenca del río Andalgalá*. Expediente S - 9323/07. 6-27. Informe Técnico.