



*Universidad Nacional de Catamarca
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Departamento de Geología*

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, Provincia de Catamarca

Elisa María de los Ángeles Achá

Directora: Mgter. Fátima E. Vilches

Co-Director: Lic. Alfredo A. Marchioli

Junio 2011

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

El geólogo es un ser con distintas personalidades, porque en esta profesión se conjugan vidas difíciles de compatibilizar: el campo con la ciudad, la naturaleza con la sociedad, el bullicio con la soledad y las rocas con la realidad.

El geólogo parece frío y calculador, aunque en el fondo es un bohemio soñador.

Mezcla de científico telúrico con aventurero explorador, Pragmático y viajero, desaliñado y dicharachero, Apasionado incurable, ermitaño irremediable.

El geólogo es naturalista por vocación, aunque disfruta del fútbol y la televisión.

Antisociable y gruñón, también le gusta la fiesta, el vino y los amigos en reunión.

Extrovertido en su actitud, mas prefiere el silencio y la quietud.

Se emociona al hallar un fósil o un mineral, pero más lo conmueve la alegría de su hijo al verlo regresar.

El geólogo lleva múltiples pasiones en sus intimidades, con ellas mantiene controladas las necesidades, las dolencias, las frustraciones y las voluntades.

Con ellas soporta la soledad interminable de una huella, en el cansino traqueteo de un mular o en agobiantes jornadas en solitario caminar.

Con ellas soporta la desazón al dejar la familia, los amigos y el cómodo sillón.

Prescindir de las fechas, fiestas y cumpleaños para dedicarle al campo los mejores años.

Ausentarse largos períodos por un salario fijo, demasiado tiempo para no ver a sus hijos.

Y cuando está tranquilo en su casa con los que ama, siempre está pensando en volver a la Pachamama.

El campo es su laboratorio, unas rocas le sirven de escritorio, la carpa o el trailer es su oficina, allí le pone el cuerpo al clima. Sobrevive en el desierto, en la selva o en el hielo.

Duerme en un catre, en una lona o en el suelo, se aguanta el frío y la aridez, el viento y la tierra, le da lo mismo el calor, si llueve o si nieva.

El geólogo se desempeña en toda nuestra geografía.

En el frente de una cantera o en el fondo de una mina, en un dique o en una usina.

En la Antártida o en la Puna, en el Aconcagua o en la Payunia.

En el fondo del mar o junto a una máquina de perforar.

Y cuando está en el laboratorio o en la oficina, añora aquellas dosis de adrenalina.

Y cuando vuelve del trabajo estresado, extraña las noches bajo un cielo estrellado, con la mirada perdida frente al fogón extasiado.

El geólogo es multifacético por necesidad, le hace a todo oficio ante la adversidad.

Escalador y montañista, mecánico y electricista, capataz y obrero, fotógrafo, cantor y guitarrero.

Técnico y matemático, dibujante e informático, baqueano y naturalista, poeta y artista, psicólogo y enfermero, cocinero y curandero.

Muchos geólogos dieron la vida por esta arriesgada profesión: un desplome en la mina por una inesperada explosión, un barranco traicionero por escapar del aguacero, un vuelco en la huella por mirar una estrella.

Una descompensación en altura por trabajar con premura, un accidente caprichoso por un descuido azaroso.

Una grieta, un derrumbe o una nevada fueron su última morada.

Así es el geólogo, mi amigo, muchos personajes lleva consigo, y si tienes ganas, a brindar te obligo, por ese geólogo que siempre llevas contigo.

Oswaldo L. Bordonaro - Geólogo

Foto: Valles fluviales del Río Candado, atrás, y de los Arroyos El Sauco y La Florida; al fondo la cumbre del Alto de Los Pozos. Cuenca del Río Andalgalá (Diciembre de 2008).

Dedicado a:

(por orden de aparición, no de preferencia).

Mis padres, hermanas, sobrinos, amigos, compañeros de carrera, profesores, compañeros de trabajo (anteriores y actuales) y a todos aquellos que han acompañado mis estudios universitarios, aun sin encontrarse hoy a mi lado.

Para todos ellos, porque cada cual en su momento, me han hecho “crecer”.

Mi amor, gracias, porque me motivaste a culminar con este tema pendiente...a partir de ahora inician nuevos sueños y desafíos.

Colaboraron en este trabajo:

- 🔹 Geólogo Pedro Ruiz, Gerente de Geología y Medio Ambiente de Minera Agua Rica, y Lic. Geól. Selva Ahumada, también profesional de dicha empresa, con la financiación de la primera parte del trabajo, con la proporción de la información necesaria y la guía en la elaboración del mismo.*
- 🔹 Personal técnico de Minera Agua Rica, con las tareas de campo (guías de terreno, hospedaje y traslados).*
- 🔹 Lic. Ricardo Rojas, quien me permitió el uso del laboratorio de Vialidad Provincial y guió en el manejo dentro del mismo.*
- 🔹 Lic. Valeria Russo, con el trabajo de laboratorio.*
- 🔹 Gimena Ríos y Pablo González, con la revisión y edición del informe.*
- 🔹 Lic. Geól. Alfredo Marchioli, no sólo con el financiamiento de éste trabajo, sino también con su confianza, paciencia y entusiasmo.*
- 🔹 Flia. Maidana Mercado, con la encuadernación.*

CONTENIDO

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. OBJETIVOS	2
A. GENERAL	2
B. ESPECÍFICOS	2
III. HIPÓTESIS	3
IV. METODOLOGÍA	3
C. MATERIAL EMPLEADO	4
a. En Campo	4
b. En gabinete	4
V. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
D. ASPECTOS FÍSICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
a. Marco Geológico Regional y Geomorfología	5
b. Geografía Física y Orografía	9
c. Hidrografía	9
d. Clima	13
e. Suelo y Vegetación	14
E. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	18
a. Población	18
b. Vías de comunicación	19
c. Infraestructura y Servicios	20
d. Viviendas	21
e. Servicios	21
f. Recursos de la Región	22
VI. CUENCA DEL RÍO ANDALGALÁ	25
F. GEOLOGÍA	25
a. Estratigrafía	25
b. Caracteres Estructurales	29
G. CLIMA	31
a. Clasificación Climática	33
b. Análisis de las series de Datos	35
c. Tratamiento de datos	36

CONTENIDO (Continuación)

d. Representación de datos	38
e. Resultados	38
H. HIDROLOGÍA	50
a. Características físicas	51
b. Características de la red de drenaje	59
c. Cantidad de agua superficial	68
I. GEOMORFOLOGÍA	83
a. Metodología empleada	83
b. Resultados	85
J. EROSIÓN HÍDRICA. TASA DE PÉRDIDA DE SUELO	92
a. Metodología	93
b. Resultados	103
VII. CONCLUSIONES	108
K. DE LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	108
L. DE LA HIDROLOGÍA: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA, CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE Y CANTIDAD DE AGUA SUPERFICIAL	108
M. DE LA GEOMORFOLOGÍA	110
N. DE LA TASA DE EROSIÓN DE SUELO	111
O. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	111
VIII. BIBLIOGRAFÍA	113
 ANEXOS:	
I. CARTOGRAFIA	
Mapa 1. Ubicación del área de estudio	
Mapa 2. Esquema Geológico de la cuenca del Río Andalgalá	
Mapa 3. Determinación de las pendientes intermedias y pendiente media	
Mapa 4. Orden de corrientes de la cuenca del Río Andalgalá	
Mapa 5. Diseños de red de drenaje dentro de la cuenca del Río Andalgalá	
Mapa 6. Carta Geomorfológica de la cuenca del Río Andalgalá	
II. TABLAS Y GRAFICOS	
II.1 Datos Climáticos	
II.2 Caudales	
II.3 Tasa de erosión del suelo	

Resumen

Al inicio de emprendimientos industriales y económicos de envergadura es importante la generación y recopilación de información de base ambiental, la cual se emplea para planificar a largo plazo, asegurándose la sustentabilidad de los mismos.

La cuenca del río Andalgalá aloja un proyecto minero, Agua Rica, que promete un futuro económico importante para la región, la provincia y el país. Sin embargo es un área que cuenta aún con mucha información por descubrir. Es la intención de este estudio revelar parte de esta información, colaborando con un estudio integral sistémico de cuenca y ordenamiento territorial.

Se seleccionó la Hidrogeomorfología de la cuenca como temática, considerando los ítems siguientes: la caracterización del clima, su relación con la hidrología y la geomorfología, la elaboración de un modelo de erosión hídrica, empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), de un sector de la cuenca bajo estudio.

Finalmente se concluyó que frente al potencial desarrollo económico en cualquier sitio dentro de esta cuenca, el mantenimiento del balance de la cantidad de agua y el correcto manejo del suelo, en cuanto a pendientes y la cubierta vegetal, son los únicos componentes sobre los cuales el hombre puede llevar un control, ya que el clima y la respuesta de los terrenos ante éste, seguirán su curso natural. La sostenibilidad del proyecto dependerá de la ingeniería que favorezca mantener el equilibrio actual, o hasta incluso mejorarlo.

I. Introducción

El departamento de Andalgalá, gracias a su clima, situación geográfica y contexto geológico, cuenta con una amplia variedad de recursos naturales, renovables y no renovables. En los últimos tiempos, la minería ha tomado mayor influencia en el departamento como una fuente de desarrollo económico local, provincial y nacional. En esta situación, y con la inminente explotación del megaproyecto Agua Rica (ex “Mi Vida”), ubicado en la sierra de Aconquija sobre una de las subcuencas del río Andalgalá, es que surge la necesidad de aportar información de base, la cual es necesaria para planificar adecuadamente futuras prácticas y operaciones adecuadas a las condiciones naturales.

El estudio que se desarrolla a continuación, concretado gracias a la colaboración de las empresas SMGA “*Servicios Mineros y Gestoría Ambiental*” SRL y, por supuesto, *Minera Agua Rica*, se aboca específicamente a obtener información hidrogeomorfológica de base de la cuenca del río Andalgalá considerando que la misma es uno de los aspectos más importantes de conocer a la hora de llevar a cabo el desarrollo de proyectos de importancia económica.

II. Objetivos

A. General

El presente trabajo tiene como objetivo principal cumplimentar con la tesis final de grado de la Licenciatura en Geología a partir de la realización de un estudio de caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Andalgalá.

B. Específicos

1. Identificar los elementos constitutivos de la cuenca y las características de la red de drenaje (tipo de corrientes, modelo de drenaje, orden de corriente, densidad de drenaje, etc), mediante fotointerpretación.
2. Determinar las características físicas de la cuenca: como superficie, forma, longitud, relieve, relación de elongación, coeficiente de compacidad, curva hipsométrica, rectángulo equivalente, y pendiente.
3. Reconocer unidades geomorfológicas dentro de la cuenca, con un detalle de escala de trabajo de 1:25000.

4. Confeccionar la cartografía temática a escala regional, mediante el empleo de software de procesamiento de Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS), en base a información existente, imágenes satelitales y/o fotos aéreas, con el correspondiente ajuste de campo.
5. Realizar un análisis estadístico de datos climáticos y caudales, considerando los principales afluentes del río Andalgalá, y corroborar su relación con las características físicas de la cuenca.
6. Determinar la tasa de erosión de suelo en la cuenca de estudio, a partir de la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE).
7. Elaborar un informe final con conclusiones y recomendaciones.

III. Hipótesis

Se estima que los aspectos más sensibles a considerar en la planificación de futuras actividades en la cuenca de estudio corresponden a, además de la sostenibilidad del recurso agua, la cubierta vegetal, la pendiente media de los terrenos y la erodabilidad del suelo.

IV. Metodología

El presente estudio se desarrollo en tres etapas. Durante la primera, se procedió a: (i) identificar los elementos constitutivos de la cuenca, las características de su red de drenaje y definir unidades geomorfológicas homogéneas dentro de la cuenca, con un detalle de escala de trabajo de 1:25000, para finalmente confeccionar la cartografía temática a escala regional, mediante el empleo de software de procesamiento de Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS) Mapinfo 7.5, en base a la información existente, imágenes satelitales y fotos aéreas, mediante fotointerpretación; (ii) determinar las características físicas de la cuenca con la información disponible recopilada de la zona; y (iii) realizar un análisis estadístico de los datos climáticos de la estación meteorológica ubicada dentro de la cuenca, MetMina, y de otra estación fuera de la misma, pero la cual se encuentra relacionada a ella; y tratamiento de caudales de los principales afluentes del río Andalgalá, corroborando su relación con las características físicas de la cuenca.

La segunda etapa consistió en efectuar un ajuste de campo, durante el cual se controlaron elementos geomorfológicos identificados en gabinete, realizando a su

vez una toma de muestras de suelo superficial (primeros 10 cm), en puntos de muestreo estratégicos de las unidades geomorfológicas homogéneas, con evidencia de desarrollo de suelo, cuya ubicación fue registrada mediante GPS. Esto último se llevó a cabo a efectos de estimar la tasa de erosión y pérdida de suelo, actual y potencial, en las mismas, para lo cual se optó por la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE), de Mannaerts (1999)¹. La inaccesibilidad a la totalidad de las subcuencas dentro del área de estudio mayor, llevó a definir una zona menor y específica para éste apartado de la investigación. Finalmente, en la tercera etapa, toda la información recopilada y validada, fue seleccionada y procesada para la elaboración del informe final.

C. Material empleado

a. En Campo

- i. Hojas geológicas y topográficas preexistentes de la zona y cartografía base
- ii. Imágenes satelitales y fotografías aéreas
- iii. Libreta, GPS, Brújula, máquina fotográfica, escala fotográfica
- iv. Pala, bolsas, etiquetas y precintos, para extracción, almacenamiento e identificación de muestras.

b. En gabinete

- v. Laptop y Softwares específicos: Mapsource, Mapinfo y Autocad
- vi. Balanza electrónica, tamices malla #40 y #200, hornalla para secado, bandejas de secado, espátula.

V. Ubicación del área de estudio

El área de estudio corresponde a una cuenca hidrográfica situada en la región oeste de la provincia de Catamarca, en el faldeo suroccidental de la Sierra de Aconquija, departamento Andalgalá, y cuya naciente se ubica en las coordenadas 27°19'25" S y 66°11'21"O, lugar geográfico conocido como el Nevado del

¹ En www.miliarium.com: Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisado (RUSLE). 26 de Septiembre de 2008.

Candado o de Aconquija, representando el punto más alto de sistema serrano mencionado (5500 msnm). El punto hacia donde desemboca el drenaje de la cuenca, se encuentra en el lugar denominado La Toma, sitio donde las aguas del río Andalgalá, colector principal, son captadas para su distribución y aprovechamiento urbano, y es por lo tanto el punto de aforo más bajo de la cuenca (1400 msnm). El mismo se ubica a 10 Km al norte de la ciudad de Andalgalá, cabecera del departamento, en las coordenadas 27°31'14"S y 66°16'44"O (Mapa 1). A partir de allí, pasa por La Aguada y antes de llegar a la zona urbana, se desvía hacia el este bordeando la ciudad, y luego retoma su curso original, hacia el suroeste denominándose río La Cañada.

Las aguas de la cuenca del río Andalgalá desembocan finalmente en el extremo norte del bolsón de Pipanaco, aportando a la reserva acuífera del mismo junto a otros ríos como el Villa Vil, al este; Potrero, Totoral y Choya, al oeste, entre los más importantes.

D. Aspectos Físicos del Área de Estudio

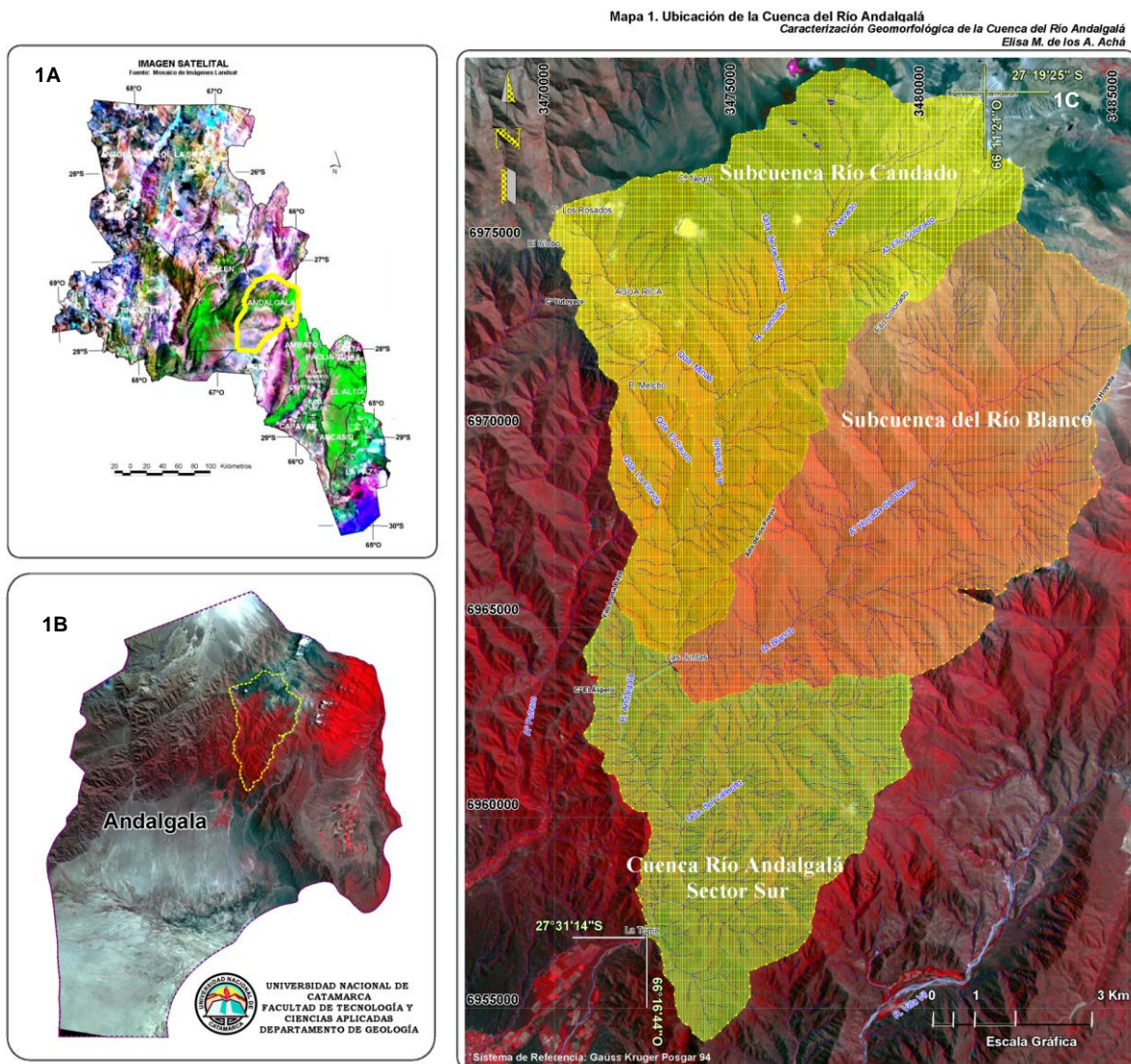
a. Marco Geológico Regional y Geomorfología

Geológicamente, el área de estudio se encuentra en la provincia de Sierras Pampeanas Occidentales, sobre el faldeo Suroeste del cordón Aconquija, el cual corresponde a una estructura elevada, compuesta por rocas metamórficas entre las que se cuentan pizarras, filitas, esquistos y calizas, del precámbrico superior, y gneises, anfibolitas y migmatitas del Cámbrico.

Las Sierras de Capillitas, Belén y Zapata, están mayormente constituidas por el batolito de Capillitas, el cual se encuentra compuesto de rocas graníticas con diferenciación sienogranítica, adamellítica y granodiorítica, de edad ordovícica (*Dames & Moore, 1997. Proyecto PASMA*).

La estructura limita al oeste con el Campo del Arenal, depresión tectónica (graben) rellenado por sedimentos terciarios de los complejos Calchaquense y Araucanense, y cuaternarios, de origen coluvio-fluvial y eólico, contacto que se realiza a través de la falla de Aconquija (*Landtwing et al., 2002. Evolution of The Breccia-Hosted Porphyry Cu-Mo-Au Deposit at Agua Rica, Argentina.*) (Figura 1).

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgala, departamento Andalgala, provincia de Catamarca.



Mapa 1A. Mosaico de Imágenes Landsat y Ubicación geográfica del Departamento Andalgala y Cuenca del Río homónimo (Gustavo A. Cruzate; Gustavo N. Moscatelli; José L. Panigatti; en Suelos y Ambientes de Catamarca, INTA); **Mapas 1B y 1C. Imagen Aster falso color con la ubicación del área de estudio dentro del ámbito departamental (1B) y detalle de la Cuenca bajo estudio (1C).** En Anexo I se adjunta Figura en tamaño A2

El macizo del Aconquija es un bloque asimétrico con relieve abrupto hacia el Oeste, y pendientes algo más suaves hacia el Este. Dentro de la misma sierra es característica la presencia de quebradas profundas, que se van suavizando a medida que se desciende.

En general, el ambiente de montaña se caracteriza por tener moderados a escarpados gradientes de pendiente. Esta característica puede diferenciarse en las nacientes de la Cuenca. En la Quebrada Mina, más del 80% de la subcuenca posee laderas de gradientes que superan los 25°, dentro de las cuales el 40% exceden los 35° (Knighth Piésold, 1997. Informe de Impacto Ambiental Etapa de

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

Exploración Agua Rica). En la Subcuenca del Candado, casi todas las pendientes superan los 25° (30% en Vector Argentina S.A. para MIM Argentina Exploraciones S.A., Julio 2004. Estudio Hidrológico y de Calidad de Aguas Superficiales, Proyecto Filo Colorado), a excepción de sectores de cumbres aplanadas, por ejemplo en los Puestos Candado y La Hoyada.

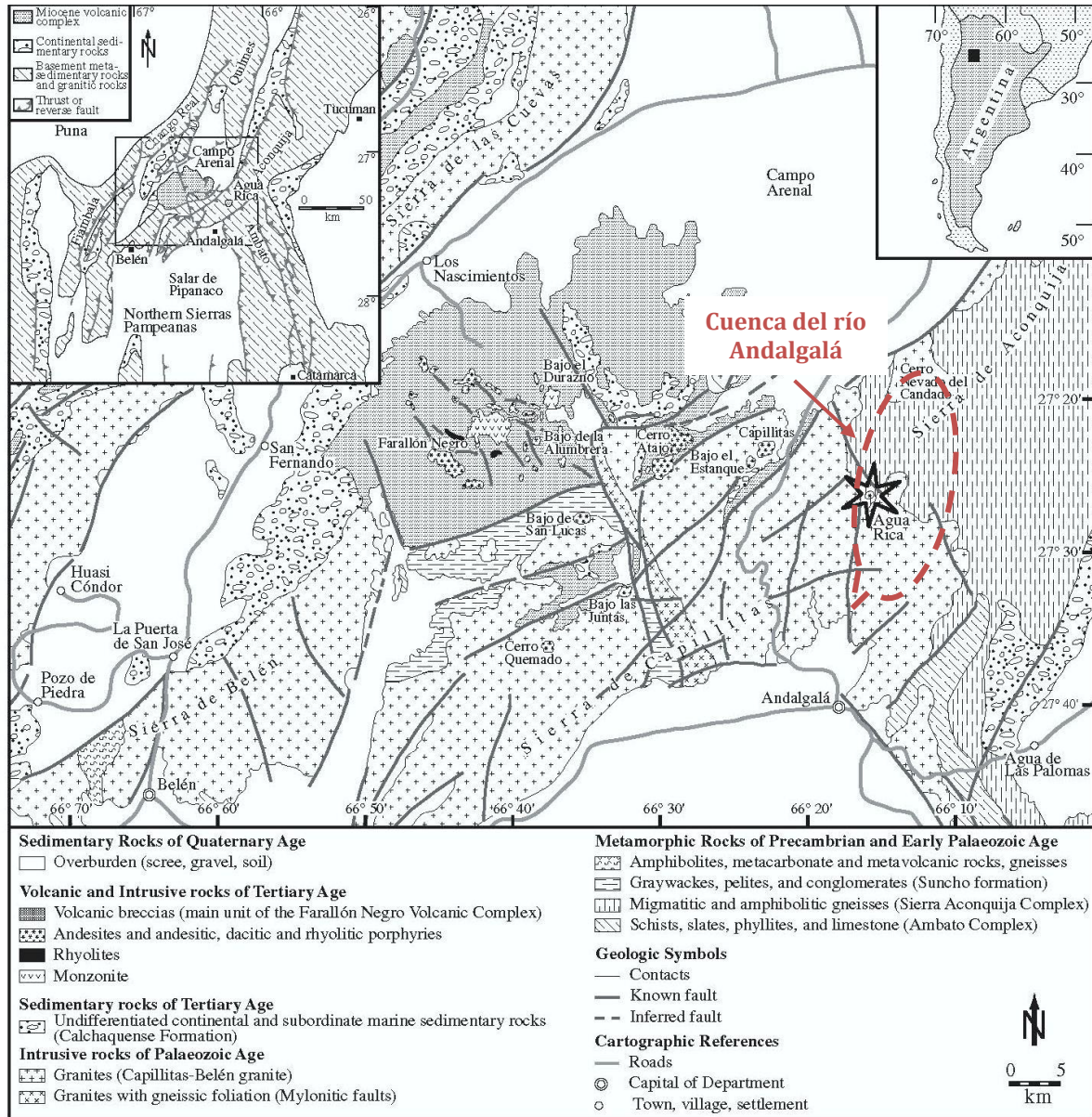


Figura 1. Marco geológico regional del área de estudio.
(Marianne R. Landtwing, 2002; Evolution of the Breccia-Hosted Porphyry Cu-Mo-Au Deposit at Agua Rica, Argentina: Progressive Unroofing of a Magmatic Hydrothermal System)

Si bien la mayoría de las formas dentro de la cuenca son fluviales, dominadas por la estructura del macizo, sus cabeceras han sufrido un modelaje debido a la acción glacial. Así pueden observarse en la cumbre del Candado y aledañas, las geoformas conocidas como circos glaciarios (Nacientes del Arroyo Nevado y Qda. De los Cañones, afluentes del Río Candado) de anteriores procesos actuantes. Son también destacables los valles en U, con depósitos de valle glacial de fondo, tanto en la Subcuenca del Candado como de la Qda. Mina, y evidencia de ellos en la cabecera del río, pero que han perdido su forma original por haber sufrido un retrabajo por procesos fluviales, actualmente activo. El resto de la Cuenca muestra características de valles juveniles, conservando hasta su desembocadura el típico perfil de valle en V. En la subcuenca del Arroyo Minas existe una variedad de geoformas debido a que la mayoría de las rocas que se encuentran en ella son plutónicas e hipoabisales, y menormente volcánicas, favoreciendo también a la heterogeneidad del paisaje la alteración que afecta a las rocas del basamento y las intrusivas.

Por lo encajonado de los cuerpos, no existen verdaderas “planicies de inundación”. En algunos casos, pueden observarse niveles de terrazas, principalmente en la confluencia de la Quebrada Minas con el Candado.

Las altas pendientes y los eventos de lluvia permiten la generación de terrenos formados por procesos de remoción en masa, incluyendo los fenómenos de deslizamientos de detritos y rocas, flujos por licuefacción y caída de detritos y rocas. Aparentemente éstos materiales se acumulan en los mismos cauces, obstruyendo la esorrentía, formándose en consecuencia una represa natural, la cual se vence por la misma fuerza del agua o por el propio peso de los detritos acumulados. De ésta manera se generan flujos de barro encauzados.

Debido a la orientación mayor de la Cuenca, NNE-SSW, pueden encontrarse laderas solanas y umbrías, de acuerdo a su orientación respecto a la exposición a la luz solar. Esta característica es de mucha importancia debido a que las umbrías tienden a retener más agua, ya que no se encuentran expuestas a la desecación de la insolación y, consecuentemente, son más proclives a sufrir los procesos de remoción en masa, como por ejemplo fenómenos de solifuxión. Igualmente el movimiento pendiente abajo parece

ser lo suficientemente lento como para no perturbar el desarrollo del suelo ni el crecimiento de plantas. Un mapeo de lóbulos de soliflucción realizado en 1997 (Knigh Piésold, 1997. *Informe de Impacto Ambiental Etapa de Exploración Agua Rica*), en el área del proyecto de Agua Rica (Qda. Mina), permitió identificarlos en laderas de orientación SE (Sur de Melcho) y NE (Filo Amarillo). A partir del ordenamiento de los lóbulos, se determinó que el proceso de formación llevó períodos prolongados de tiempo, posiblemente decenas de milenios.

b. Geografía Física y Orografía

El área de estudio se encuentra en la Sierra de Aconquija, cordón montañoso perteneciente al sistema de Sierras Pampeanas, pero su orientación, NNE-SSW, difiere de la tendencia N-S, correspondiente al común de los demás cordones de esta provincia geológica. Se encuentra limitada en sus márgenes por depresiones tectónicas, rellenas con sedimentos fluvio-eólicos cuaternarios: el Campo del Arenal, al NW, y el Bolsón de Pipanaco, al SE. El límite NW de la sierra, la falla de Aconquija, elevó y basculó el bloque de basamento, configurando el perfil típico de las sierras Pampeanas: un faldeo noroeste abrupto, de altas pendientes, mientras que el faldeo sureste es tendido y con pendiente débil. Las alturas sobre la vertiente este, donde se encuentra la cuenca del río Andalgalá, varían desde los 1400 msnm, nivel en el que se encuentra el punto de salida de la cuenca, hasta 5500 msnm, altura máxima en la que se encuentra el Cerro Nevado del Candado. La sierra se encuentra surcada por valles fluviales, profundos y encajonados, con laderas de alta pendiente. Los principales ríos son el Candado, el Minas y el Blanco.

c. Hidrografía

La región del este de la provincia de Catamarca se caracteriza por el carácter endorreico de sus cuencas, ya que en su gran mayoría, los cursos de agua desembocan en salinas y salares. Un caso particular lo presenta el Campo del Arenal el cual concentra todas las aguas provenientes de las Sierras de Aconquija, Capillitas, Las Cuevas, Chango Real y Quilmes, y presenta doble salida, una hacia el río Santa María, al norte, y otra hacia el río Los

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

Nacimientos en Belén, al sur (*Water Managment Consultants para Minera Agua Rica, 2005. Informe de la Caracterización Hidrológica*)

La cuenca del río Andalgalá (Mapa 1), de dirección NE-SW aporta un importante capital hidráulico a la cuenca endorreica del Bolsón de Pipanaco. El río Andalgalá se forma a partir de la unión de los ríos Candado y Blanco, considerados como los principales tributarios debido a su significativa superficie de captación y a su caudal permanente.

El río Candado (Foto 1) tiene sus nacientes al pie del Nevado del Candado (5.412 msnm). De acuerdo a Castellucio G. (2005, *IIA Exploración Filo Colorado*) los principales afluentes del Candado son el Arroyo del Nevado, la Quebrada de los Cañones y el Arroyo Minas (Foto 2). Aguas abajo de la confluencia del Minas con el Candado (Foto 3), éste recibe las aguas de los Arroyos La Florida y El Sauco por la derecha (Foto 4).

El río Blanco nace en las Divisorias del Medanito (4.450 msnm) y luego de unirse con La Hoyada, confluye en el Puesto Las Juntas con el río Candado, para constituir el río Andalgalá. Otros afluentes ubicados después de Las Juntas, son La Ensenada, El Rastrojo, la quebrada del Vallecito, provenientes del margen izquierdo. Luego su caudal es totalmente captado en La Toma para usos de irrigación, agua potable, consumo municipal y generación de energía.

La cuenca imbrífera del río Andalgalá fue calculada por G. López Vázquez²(1997) en 219,4 km².

² En Castellucio G. para MIM Argetnina Exploraciones S.A y Grupo Xstrata Copper Americas. Informe de Impacto Ambiental Exploración Filo Colorado, 2005.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Fotos 1 a 3. 1. Vista del Río Candado aguas arriba de la confluencia del mismo con el A° Minas; 2. Vista del A° Minas aguas arriba de su confluencia con el Río Candado; 3. Río Candado aguas abajo de su confluencia con el A° Minas.



Foto 4. Arroyos La Florida, izquierda, y El Sauco, derecha.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Foto 5. Río Candado aguas arriba de su confluencia con los Arroyos La Florida y El Sauco



Foto 6. Río Andalgalá aguas abajo de su confluencia con el Río Blanco



Foto 7. Río Andalgalá en La Toma

d. Clima

El clima de Catamarca, según la clasificación climática de la República Argentina, es del tipo “Árido de Sierras y Bolsones”. El contraste entre los dos ambientes fisiográficos, es mucho más importante debido a la orientación meridiana de los cordones montañosos.

Según la clasificación de Köppen el clima de la región es del tipo (B W K); donde B es la precipitación media anual inferior al límite de sequía, W es desierto y K temperatura media anual inferior a 18 °C, pero superior a 18 °C en el mes más caluroso (enero).

Esta situación es debida a la presencia de dos sistemas permanentes de alta presión que gobiernan la circulación atmosférica de América del Sur, localizados a aproximadamente 30° de latitud en los océanos Pacífico y Atlántico, a partir de los cuales se originan vientos en los océanos que se desplazan hacia el área continental. Las masas de aire que alcanzan la costa Pacífica se enfrían evitando de esta manera que absorban vapor de agua y reduciendo las posibilidades de precipitaciones sobre la costa. Sumado a ello, la Cordillera de los Andes representa una barrera física que impediría el paso de cualquier humedad de aire potencial hacia el Este, reduciendo al mínimo la probabilidad que las masas de aire húmedo del Pacífico lleguen a la Provincia de Catamarca.

Un sistema de baja presión durante el verano domina el Norte de la Argentina trayendo masas de aire húmedo y cálido desde las costas de Brasil. Estas

masas de aire logran alcanzar el faldeo Este de la Cordillera de Aconquija, la cual actúa como un obstáculo frente a las masas de aire, elevándolas hasta alcanzar el enfriamiento adiabático que conduce a abundantes precipitaciones en la ladera Este, mientras que en la ladera Oeste del Aconquija, se producen menores precipitaciones (efecto de sombra de lluvia), definiéndose por lo tanto dos zonas climáticas bien diferenciadas: una región tropical al Este, en la provincia de Tucumán, y una zona árida, casi-desértica al Oeste, en la provincia de Catamarca. Los totales de precipitación anual registrados en la Provincia de Tucumán exceden los 1.000 mm, mientras que al Oeste, ya en la Provincia de Catamarca, son menores que 200 mm (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*)

En el área de cumbres, alturas superiores a 2200 msnm, parte de la precipitación es en forma de nieve o granizo. Otra forma de precipitación que se manifiesta son las precipitaciones horizontales o neblina. El verano es la estación del año con mayores precipitaciones, las cuales decrecen enérgicamente en el otoño.

Para toda la región, la depresión barométrica es una constante anual.

En cuanto al viento, se señala la presencia de vientos tipo “Zonda”, generados por masas de aire que bajan de la cordillera calentándose termodinámicamente, y que aumentan su temperatura al descender, resultando secos y calientes, y representan el transporte de grandes cantidades de polvo (Morello, 1958). La heliofanía y la radiación solar son elevadas; la transparencia atmosférica es importante. También son destacables las altas amplitudes térmicas, diarias y anuales (*Castellucio, G. para MIM Argentina y Grupo Xstrata Cooper Americas, 2005. Informe de Impacto Ambiental Etapa de Exploración Proyecto Filo Colorado*).

e. Suelo y Vegetación

La zona de estudio presenta características de relieve y climáticas que dan lugar al desarrollo de una amplia variedad de tipos de suelo y vegetación de disímiles orígenes biogeográficos (*Fundación Miguel Lillo para BHP Copper, 1999. Biodiversidad de Agua Rica*).

1. Suelos

De acuerdo a los estudios de Línea de Base Ambiental efectuados por Minera Agua Rica (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*), los suelos de la Sierra de Aconquija, en su mayor parte se desarrollaron sobre depósitos glaciarios, debido a los pasados procesos de aquella naturaleza, responsables del modelado de las áreas cumbres de la Sierra. Estos suelos, de menos de 1 m de profundidad, son pobre a moderadamente desarrollados, y poseen una capa orgánica superficial de 25 cm de profundidad promedio, con sectores de importante acumulación de residuos vegetales, sobre todo en aquellos que cuentan con una densa cubierta vegetal. En general son de textura moderadamente gruesa a gruesa, hasta gravosos en profundidad, generalmente a los 70 cm. En cuanto a sus propiedades físico-químicas, los suelos poseen una conductividad eléctrica baja, indicando un bajo contenido de sales y en los niveles superficiales el pH es de 5,5 aproximadamente, indicando una leve acidez.

En cuanto a la clasificación de los suelos de la región, variable según los diferentes autores, se acepta que los tipos de suelos pertenecen a los órdenes Entisol y Aridisol, del sistema de Soil Taxonomy, clasificación aceptada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

En el área de estudio, los suelos pertenecen a dos tipos principales (grandes grupos de la clasificación de Soil Taxonomy): Haploboroles, del orden de los Molisoles, y Troporthentes, del orden de los Entisoles. Los Haploboroles poseen horizontes de superficie profundos, orgánicamente enriquecidos y tienen un alto contenido de macronutrientes (calcio, magnesio, potasio). Estos suelos se encuentran en regiones frescas, desarrollándose mayormente bajo pastizales. Los Troporthentes son suelos generalmente jóvenes, sin desarrollar, que ocurren en terreno montañoso de erosión activa. En base a un número de parámetros, los suelos fueron clasificados adicionalmente en Haploboroles Líticos y Troporthentes Líticos, los cuales son suelos típicamente poco profundos sobre la roca madre.

Los suelos aluviales, presentes a lo largo del Río Andalgalá, como los del río Villavil, y el Pisavil en el área montañosa, son generalmente de una textura moderadamente gruesa, de rápido drenaje, y altamente permeables

(Figuroa, 2006³). Por la dinámica fluvial, su contenido en materia orgánica es bajo y con pH 8, en los suelos de las terrazas aluviales del río Andalgalá.

2. Vegetación

Las zonas bajas se encuentran dentro del Dominio Chaqueño, caracterizado por una marcada aridez. La zona cumbral pertenece al Dominio Andino-Patagónico muy diferente en cuanto a las condiciones climáticas, especialmente en el régimen de temperaturas. La transición entre ambos dominios resulta en ambientes más húmedos, dentro del dominio amazónico, según Cabrera (1976) y Cabrera y Willink (1980)⁴. Tabla 1.

DOMINIO FITOGEOGRÁFICO	PROVINCIA FITOGEOGRÁFICA
Dominio Andino Patagónico	Prov. Altoandina
	Prov. Puneña
Dominio Chaqueño	Prov. Prepuneña
	Prov. Monte
	Prov. Chaqueña
Dominio Amazónico	Prov. Yungas

Tabla 1. Provincias Fitogeográficas.
(Cabrera , 1976; Martínez Carretero, 1995; PASMA)

La vegetación de las Provincias Puneña y Altoandina es característicamente baja y rala, con predominio de estepas arbustivas en Puna y de gramíneas xerofíticas y duras en la Altoandina. En ambas las condiciones climáticas son extremas, y a causa de ellas la vegetación adquiere particularidades características, como rigidez en las gramíneas, y achaparramiento y espinas en especies arbustivas. El soporte edáfico es arenoso o guijarroso. La provincia Puneña ocupa áreas llanas o abiertas, como valles, bolsones o campos, y se encuentra compuesta por un arbustal abierto que a medida que aumenta la altura, se hace más achaparrado y más abierto hasta pasar a la provincia Altoandina, caracterizada por gramíneas duras, que suelen formar comunidades más abiertas cuanto mayor es la exposición al viento y al frío.

El Monte se extiende por valles y bolsones y, junto con la Prepuna, por faldeos montañosos de la región Centro-Oeste, ocupan la mayor parte de Andalgalá, excepto el sector centro-oriental del departamento. El límite

³ En Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica

oriental entre ambas provincias con la Chaqueña pasa por los faldeos occidentales de la Sierra de Aconquija y Sierra de Ambato. La vegetación característica del Monte se distribuye en los ambientes de conos aluviales y de coalescencia de conos o bajada, y está constituida por un arbustal abierto con especies espinosas en los conos, las cuales están ausentes en la bajada. La provincia Prepuneña se encuentra representada en laderas y quebradas secas, por encima de las comunidades de Monte, y se distingue por la presencia relevante de cactáceas columnares de gran tamaño, bromeliáceas y la escasez de jarillas. La provincia Chaqueña se encuentra en la planicie Chaco-pampeana, donde los suelos están más desarrollados que en las Provincias ya descritas, predominando los de origen fluvio-lacustres, y representada por los distritos Chaqueño Occidental y Chaqueño Serrano, incluyendo un ambiente transcisional denominado Chaco Árido, que se extiende en los bolsones interserrano, ecotono entre Chaco y Monte. En la zona de estudio solo se encuentra prolongaciones discontinuas del Chaco Serrano, que se interdigita con sectores de Yungas, Prepuna y Monte en la cumbre de las Sierras de Santa Bárbara y Capillitas.

La provincia de Yungas, integrante del dominio Amazónico, se caracteriza por presentar una vegetación tipo selvático sobre los faldeos de las montañas, valles, quebradas y áreas de pie de monte, debido al clima cálido y húmedo, donde la vegetación se dispone en “pisos” presentando cada uno una estructura y composición particular. El primer piso está representado por el Bosque Serrano, seguido de un piso de arbustos y pastos; a mayores alturas, las leñosas dan lugar a un pastizal de altura. Esta provincia fitogeográfica ocupa el extremo Nororiental del departamento de Andalgalá. Debido a que en territorio catamarqueño penetra su porción más austral, se encuentra empobrecida, sobre todo en especies del piso superior, perdiendo continuidad, mezclándose comúnmente con el distrito Chaco Serrano de la provincia Chaqueña.

⁴ En Dames & Moore, 1997. Proyecto PASMA

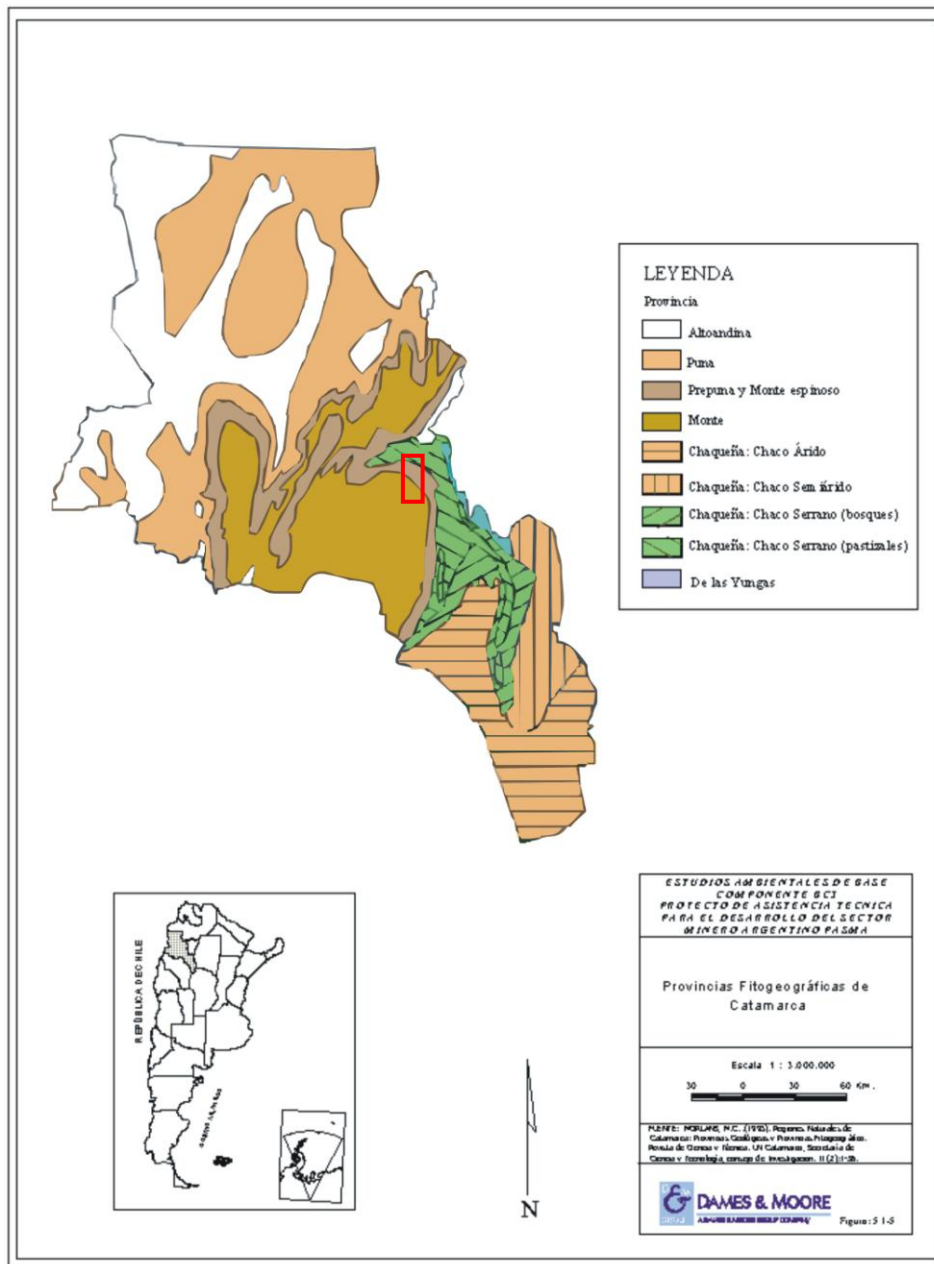


Figura 2. Provincias Fitogeográficas de Catamarca y ubicación relativa del área de estudio (Dames & Moore, 1997. Proyecto PASMA)

E. Aspectos Socioeconómicos

a. Población

La población aproximada del departamento Andalgalá, según el último censo, es de 17.102 habitantes (*Instituto Nacional de Estadística y Censo INDEC, 2001*), considerada como la de mayor población de los departamentos de la región oeste de la Provincia de Catamarca, un 5,1% del total provincial, e incluso muestra un aumento significativo en comparación con los datos censales de 1981 en un 52,8%, mayormente en las áreas urbanas

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

principalmente por la inmigración (*Dirección Provincial de Estadísticas y Censo, 2006*).

El departamento está constituido de dos municipios: Andalgalá y Aconquija. La ciudad cabecera del departamento, también llamada Andalgalá, se encuentra a aproximadamente 260 km de la capital provincial. A su vez, el departamento se divide en Distritos, como puede verse en la Figura 3.

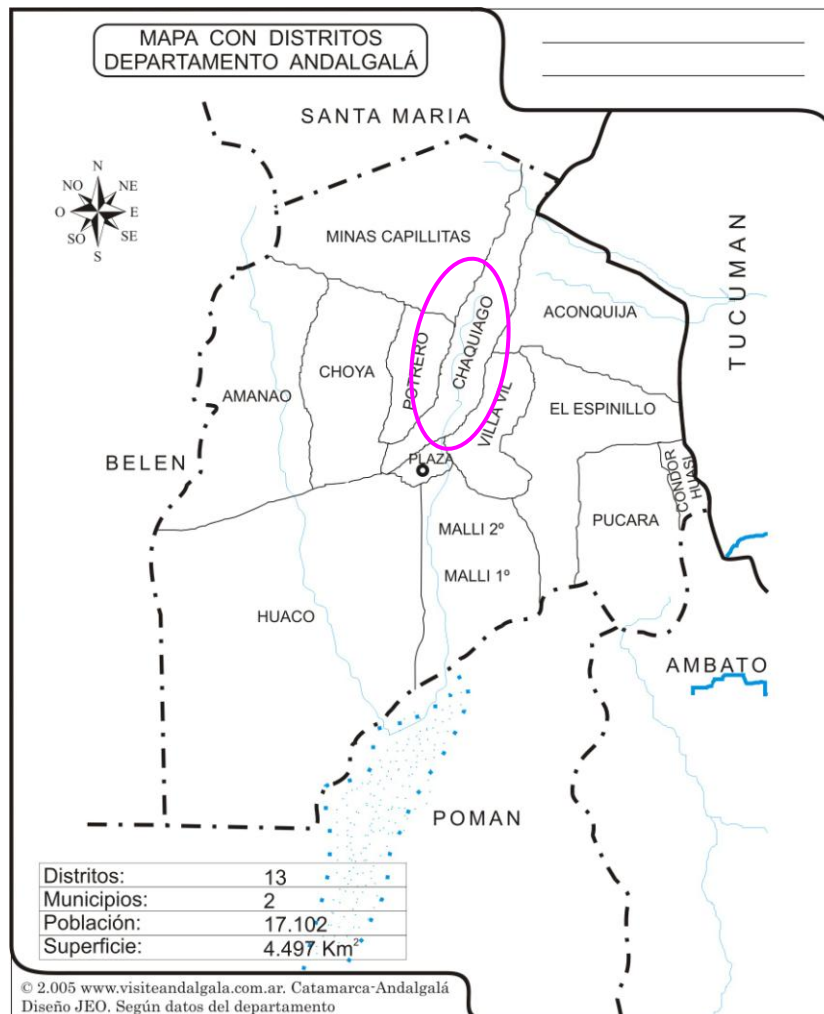


Figura 3. Distritos departamentales de Andalgalá y ámbito que abarca el área de estudio de los distritos Potrero, Chaquiago y Minas Capillitas

b. Vías de comunicación

El sistema de vías de comunicación hasta el área de estudio se encuentra escasamente desarrollado, siendo en su mayoría rutas y caminos secundarios consolidados, y en menor medida los mismos se pueden encontrar pavimentados. Dentro de las principales vías de acceso terrestre se cuenta con: (i) la RP N° 46, que une los departamentos Pomán, Andalgalá y Belén, cuya traza se encuentra siendo rectificadora y pavimentada; y (ii) la RP N° 47, que une el departamento de Andalgalá con el de Santa María, y se encuentra

consolidada con un tramo pavimentado ubicado solo dentro del casco céntrico de la Ciudad de Andalgalá.

La RP N° 46 nace en el empalme con la RN N° 60, en la salida oeste de la cuesta de La Cébila, en las cercanías de Villa Mazán. En este punto la ruta tiene dirección N-S, costeano el pie del faldeo occidental de la Sierra de Ambato, donde se asientan las poblaciones más importantes del Departamento Pomán, hasta llegar a la ciudad cabecera de Andalgalá. A partir de allí, en dirección E-O, se dirige hacia Belén. Desde el centro de Andalgalá nace otra ruta, la RP N°47, que primero pasa por la cuesta de Capillitas y luego por el faldeo NO de la Sa. de Aconquija, y finaliza en Santa María, en la RN N° 40. Por esta ruta, a la altura de la entrada de El Potrero sobre el faldeo SE del Aconquija, se toma por un camino de tierra consolidado para llegar hasta el Puesto El Piscoyuyo. A partir de allí, por huellas mineras se puede acceder hasta el proyecto minero Agua Rica, ubicado en la subcuenca del río Minas, uno de los afluentes superiores de la cuenca imbrífera del río Andalgalá. Ya dentro de ésta última solo existen huellas de herradura por las que se transita a mula o a pie. Por la RP N° 47 también se puede acceder hasta otro prospecto minero ubicado en las nacientes del río Candado, uno de los dos principales afluentes de la cuenca objeto del presente estudio, conocido como Filo Colorado. La ruta mencionada atraviesa el pie de monte del faldeo occidental de la Sierra de Aconquija. Sobre este tramo, a la altura de la finca Ojo de Agua, se llega hasta el proyecto Filo Colorado por una huella minera construida para las tareas de exploración.

A la parte baja de la cuenca, lugar conocido como La Toma, se llega desde Andalgalá por camino, en su mayor parte consolidado.

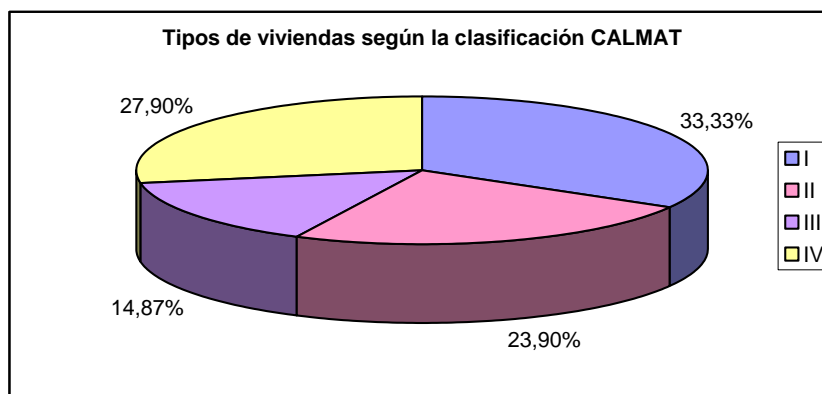
c. Infraestructura y Servicios

El desarrollo local de la infraestructura y los servicios es un indicador de la calidad de vida de las poblaciones andalgalenses relacionadas al área de estudio. La información más actualizada corresponde a aquella recopilada por Minera Agua Rica para la elaboración del Informe de Impacto Ambiental, para la etapa de Explotación del yacimiento (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*).

d. Viviendas

En lo que a complejo habitacional respecta, son comunes dentro de la provincia, de la región y de Andalgalá, los tipos de vivienda de adobe, las más antiguas, mientras que las más actuales son construidas con ladrillos (*Knight Piésold-Ambiental para Minera Agua Rica, 1997*). En general, se puede considerar que el tipo de hábitat depende fundamentalmente de las costumbres culturales y de la condición socioeconómica y, como consecuencia de estos dos factores, las condiciones de salud serán variables, a causa de la disponibilidad de servicios, como agua potable y servicios sanitarios.

De acuerdo a una clasificación establecida por el INDEC (1991), según la calidad de material de las viviendas (CALMAT), los hogares del municipio de Andalgalá son en su mayoría del tipo I (>33%), de materiales resistentes con elementos de aislación y terminación. Esto es un indicador que la ciudad de Andalgalá posee un desarrollo urbano más importante, comparado con otras localidades del departamento (Figura 4).



CALMAT I: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes e incorpora todos los elementos de aislación y terminación.

CALMAT II: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes pero le faltan elementos de aislación o terminación al menos en uno de sus componentes pero no en todos.

CALMAT III: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes pero le faltan elementos de aislación o terminación en todos sus componentes, o bien presenta techos de chapa de metal o fibrocemento u otros sin cielorraso; o paredes de chapa de metal o fibrocemento.

CALMAT IV: La vivienda presenta materiales no resistentes al menos en uno de los componentes pero no en todos.

Figura 4. Tipos de viviendas de Andalgalá (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*).

e. Servicios

Se estima que aproximadamente 90% de las viviendas del departamento poseen electricidad, generada en plantas a combustible fósil, proveniente de

Tucumán, y desde allí es distribuida por empresas privadas hacia las provincias de la región NOA, incluida la provincia de Catamarca.

El agua, recolectada a partir de fuentes superficiales, es tratada y proporcionada por la municipalidad. Se estima que el 90% de la población tiene acceso al agua potabilizada por medio de sedimentación, filtración y cloración en plantas de tratamiento de agua (*Knight Piésold-Ambiental para Minera Agua Rica, 1997*), mientras que el resto de la población depende de pozos naturales, manantiales y otras formas de recolección de agua. La red de agua potable pública abastece a aproximadamente 1.800 viviendas en total (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*).

Los servicios de líneas telefónicas terrestres están limitados a las regiones urbanas, siendo en la periferia común el uso de telefonía celular, gracias a la instalación de antenas de empresas privadas. En las regiones rurales en general no se tiene acceso a ninguna de estas formas de comunicación, sin embargo se estima que un 70% de la población cuenta con acceso a servicio telefónico. El desarrollo actual de los proyectos mineros y otros emprendimientos, en producción o vías de producción instalados en la zona, favorece la expansión de servicios de comunicación, como antenas radioeléctricas, telefonía, tanto terrestre como celular, e Internet (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*).

El único medio de transporte activo del departamento de Andalgalá es el terrestre, el cual cuenta con servicios regionales de autobuses y servicios hacia las provincias vecinas y Buenos Aires.

Los combustibles disponibles en la región se limitan al gas envasado, para uso domiciliario, y a la nafta y el gasoil, para el transporte.

f. Recursos de la Región

En lo que a recursos económicos se refiere, la región posee una tradición agrícola importante. Actualmente las exportaciones y el comercio favorecen la venta de productos agrícolas primarios y manufacturados, producidos en el departamento mediante el desarrollo de una industria alimenticia artesanal de pequeña escala.

Paralelamente existen otros rubros económicos, como la actividad comercial y la minería.

Las condiciones naturales de la región, como clima y suelo, junto con la disponibilidad de los recursos necesarios, hacen de la región productora de diversos tipos cultivos. Durante el último censo agropecuario (INDEC, 2007) se determinó que existen 126455,6 Has destinadas para Explotaciones Agropecuarias EAPs, de las cuales solo el 1,80% están dedicadas al cultivo. En relación a cultivos predominantes de acuerdo a la superficie dedicada, los valores se concentran en la categoría censal “Cultivos perennes”, mientras que en segundo y tercer lugar se sitúan los “cultivos sin discriminar” y los “cultivos anuales” respectivamente. Los frutales son también importantes en cuanto a Has que ocupan, siendo el membrillo el principal, industrializándose parte importante de esa producción en el mismo departamento para la elaboración de dulces, seguido por el olivo y el nogal en tercer lugar. Andalgalá es el tercer productor luego de los departamentos de Santa María y Capayán de la provincia en cuanto al cultivo de durazno. Dentro de las legumbres de mayor importancia que se producen en el departamento se pueden mencionar el poroto blanco y de otros tipos, y las arvejas; y dentro de las forrajeras hay que mencionar la avena y la cebada, el maíz, el sorgo y el alfalfa (*Dirección Provincial de Estadística y Censo, Censo Nacional Agropecuario, 2007. Agenda Estadística*).

Íntimamente relacionada a la actividad agrícola del departamento, se encuentra la actividad industrial, la cual representa el 10% de la industria provincial (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*), basada principalmente en la producción de dulces, aceites, artesanías, comestibles varios y muebles, entre los más importantes productos, y que son comercializados en Tucumán, Santa Fe y Buenos Aires (Guyot *et al.*, 2006a)⁵.

Actualmente la mayor expectativa económica regional está representada por los recursos minerales, metálicos y no metálicos. Dentro del mismo departamento se ubican varios proyectos mineros, de pequeña escala, como

⁵ En Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica.

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

Mina Capillitas y Mina Santa Rita, dedicadas a la explotación de rodocrosita. Así mismo, fuera del departamento, pero íntimamente relacionada al departamento, se encuentra Bajo de la Alumbraera, de donde se extrae Cobre, Oro y Molibdeno, y el cual es el principal “consumidor” de la región, tanto de productos manufacturados como de mano de obra.

Un rubro potencial, con excelentes posibilidades de explotar en el departamento y la región, es el turismo, debido a la belleza de sus paisajes, diversidad cultural, yacimientos arqueológicos, etc. Pero la limitada infraestructura y servicios para el desenvolvimiento no permiten el desarrollo rentable de la región.

VI. Cuenca del Río Andalgalá

Para alcanzar el objetivo del presente estudio se realizó una caracterización hidrológica, física y morfológica de la cuenca del río Andalgalá, que se desarrolla a continuación la descripción de los aspectos del área de la investigación, que sirven de marco para cumplir dicho objetivo. La información que se encuentra es producto de una exhaustiva búsqueda de antecedentes, de su cotejamiento con las observaciones de campo y de la investigación en bibliografía específica, referida a cada uno de los tópicos.

F. Geología

El área que corresponde exclusivamente a la cuenca bajo estudio, no presenta una geología muy compleja. A continuación se describen sus rasgos litoestratigráficos y estructurales antecedentes.

a. Estratigrafía

1. Metasedimentos del complejo Sierra de Aconquija

El cordón Aconquija se encuentra litológicamente constituido por esquistos metamórficos y complejos de inyección (González Bonorino, 1950 y 1951)⁶. Los esquistos metamórficos son en su mayoría filitas y micacitas grises verdosas de bajo metamorfismo, que evolucionaron a partir de sedimentos finos, depositados en un ambiente de fosa marina durante el Precámbrico-Cámbrico, y que a partir de entonces sufrieron los efectos sucesivos de los agentes del metamorfismo que lo llevaron a sus condiciones actuales (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*). Este acontecimiento tectónico, designado por Aceñolaza y Toselli (1976)⁷ como Ciclo Pampeano, permitió el desarrollo de una importante sucesión sedimentaria - metamórfica. La culminación de este Ciclo estuvo acompañado de fenómenos de intensos plegamientos y orogénesis expresada por los procesos de inclinación, plegamiento y dinamometamorfismo de las rocas del basamento, dando origen a estructuras positivas.

⁶ y ⁷ En Aceñolaza, F; Toselli, A., 1981. Geología del noroeste argentino.

Los representantes metamórficos descriptos se ubican en el sector Nororiental de la cuenca del río Andalgalá, en las nacientes del río Candado y Blanco, y en la vertiente oriental de la subcuenca del Arroyo Minas.

2. Plutones de Cratógeno central

Localmente afloran rocas plutónicas de edad cambro-ordovícica, las que Caminos (1979) define como cuerpos sintectónicos, graníticos y granodioríticos, correspondientes al Cratógeno Central (Aceñolaza & Toselli, 1976).

El Cámbrico superior es el comienzo del Ciclo Famatiniano, el cual trajo aparejado una serie de fenómenos de erosión, sedimentación, metamorfismo y plutonización, siendo así que, a partir de éste último, se dio lugar a la formación de rocas graníticas que constituyen cuerpos batolíticos. Estos fenómenos tuvieron lugar hasta fines Devónico Medio – Superior.

La actividad plutónico-magmática se desarrolló ampliamente en este ciclo, a través de una relación íntima con la génesis de las rocas metamórfico-migmáticas o como intrusivos dentro de los esquistos de bajo grado metamórfico. Casi la totalidad de del área de estudio, es ocupada por el granito de Capillitas, el cual intruye las rocas metasedimentarias, como batolitos y pegmatitas asociadas. Los granitos están compuestos principalmente de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, biotita, muscovita y turmalina.

Las pegmatitas presentan texturas porfiríticas de grano grueso con muscovitas y feldespatos potásicos, idiomórficos, de gran tamaño, y contienen, localmente turmalina negra o apatito verde de varios centímetros.

3. Intrusiones Terciarias

Los eventos volcánicos que dieron origen al complejo Farallón Negro sucedieron acompañados de cuerpos hipoabisales a partir de diferentes pulsos de intrusión. Los estudios realizados en el área, abocados a la investigación de la potencialidad económica de estos tipos de cuerpos, dieron a conocer que los stocks ubicados en Agua Rica y Filo Colorado, se encontraban relacionados a este evento volcánico-intrusivo, el cual aconteció durante el Mioceno. Los tipos litológicos corresponden mayormente a pórfidos

dacíticos y andesíticos, y brechas asociadas. Estos cuerpos se caracterizan por los halos de alteración potásica, argílica y propilítica.

4. *Depósitos Cuaternarios*

Los depósitos cuaternarios existentes en el área corresponden a acumulaciones de pie-de-sierra (fanglomerados), además de rellenos fluviales y eólicos. Los primeros son poco seleccionados con variación granulométrica desde la sección apical hacia la distal, representado por los sectores bajos, donde se presentan barreales en parte salinos, mientras que los últimos poseen una mejor estratificación y selección de sus componentes.

Cabe destacar la presencia de sedimentos resultantes de la etapa de englazamiento del área de los Nevados de Aconquija, donde se incluye al Cerro Candado. Según Kühn y Rohmeder (1943)⁸, los efectos glaciales se pueden dividir en dos sectores: uno alto, donde se encuentran los circos, artesas y morrenas, elementos que se encuentran ocupando las máximas alturas hasta los 2500 msnm; y uno intermedio con restos fluvioglaciales gruesos, que se encuentran entre los 2500 y 1200 msnm, y el cual es la transición hacia el sector más bajo, pero éste ya es ocupado por materiales resultantes de la acción fluvial exclusivamente, fuera del área de estudio. Rohmeder (1942)⁹ estimó que el más pequeño de los glaciales de la Sierra de Aconquija era el del Cerro Candado, el cual media unos 3 Km de largo. Kühn y Rohmeder (1943) definieron cuatro etapas de glaciación, pero las mismas se podrían agrupar en un solo período de máxima glaciación que abarcó toda el área Andina. Según Aceñolanza y Tosselli (1981)¹⁰ en el Noroeste Argentino existió sólo un evento de glaciación, que abarcó el período Pleistoceno superior al Holoceno, y el cual sólo alcanzó su mayor desarrollo en los cordones más altos que contralaban la circulación atmosférica. Cabe señalar que no existen amplios y detallados trabajos de investigación sobre este tema en el NOA, en contraste con la región patagónica y otros sectores de Sudamérica, lo cual amerita en la actualidad avanzar con éste tipo de investigaciones.

^{8, 9 y 10} En Aceñolanza, F; Toselli, A., 1981. Geología del noroeste argentino.

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

Edad	Unidad Estratigráfica Y Composición Litológica
Cuaternario <small>Pleistoceno-Holoceno</small>	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulaciones Detríticas Modernas: Fanglomerados de pie de sierra, rellenos fluviales y eólicos. • Sedimentos glaciales y glaci-fluviales
Terciario <small>Mioceno</small>	<ul style="list-style-type: none"> • Intrusiones Terciarias: cuerpos hipoabisales relacionados al orógeno volcánico del complejo Farallón Negro, pórfidos dacíticos y andesíticos y brechas
Devónico <small>med-sup</small>	<ul style="list-style-type: none"> • Complejo Plutónico del cratógeno central: Batolito de Capillitas y pegmatitas asociadas
Carbónico <small>inf</small>	<ul style="list-style-type: none"> • Fajas Miloníticas
Cámbrico - Precámbrico	<ul style="list-style-type: none"> • Metamorfitas: Filitas y micacitas grises verdosas, de bajo metamorfismo.

Tabla 2. Estratigrafía del área de estudio (Dames & Moore, 1997. Proyecto PASMA)

Recientes estudios han logrado identificar la existencia de un cuerpo sedimentario cuyos mecanismos depositacionales involucran procesos gravitacionales de gran envergadura, identificado como una avalancha de rocas (2,69 x10⁹ m³), de carácter prehistórico con reactivaciones sucesivas, generado en la ladera oriental del cerro Zapallar (3.100 m s.n.m.), en el extremo sur de la sierra del Aconquija (Sierras Pampeanas), justo sobre la divisoria entre la cuenca del río Villa Vil y la subcuenca del río Blanco, afluente del Andalgalá. Correspondería a un depósito generado por una avalancha de rocas de afloramientos graníticos del Batolito Capillitas, que por sus evidencias no habrían sido producto de la fluidificación del material por saturación de agua, sino más bien por actividad sísmica producida en el área, durante la cual se reactivó la falla de orientación NW-SE que se puede observar en el sector del yacimiento Agua Rica. Si bien estos depósitos se encuentran mayormente representados en la cuenca del río Villa Vil, existen en las laderas más elevadas del flanco oriental de la subcuenca del río Blanco (Banchig et. al, 2009. *Eventos de Avalanchas y Represamientos Reiterados de Ocurrencia Prehistórica en la Cuenca del Río Villa Vil, Sierra de Aconquija, Andalgalá*).

b. Caracteres Estructurales

Desde el punto de vista de la estructura, los rasgos tectónicos de la región, son generalmente de edad terciaria, los que afectaron el basamento anterior imprimiendo la morfología actual.

El área de influencia corresponde a una estructura simple, ya que se trata de bloques de basamento sobre elevados por fracturas de gran ángulo, con rumbo general NE-SO y variaciones N-S. El carácter de estas fracturas es del tipo inverso apartándose muy poco de la verticalidad; su rechazo es muy variable y difícil de observar. Las fracturas transversales al rumbo son de escaso rechazo, no conociéndose su carácter (directa o inversa).

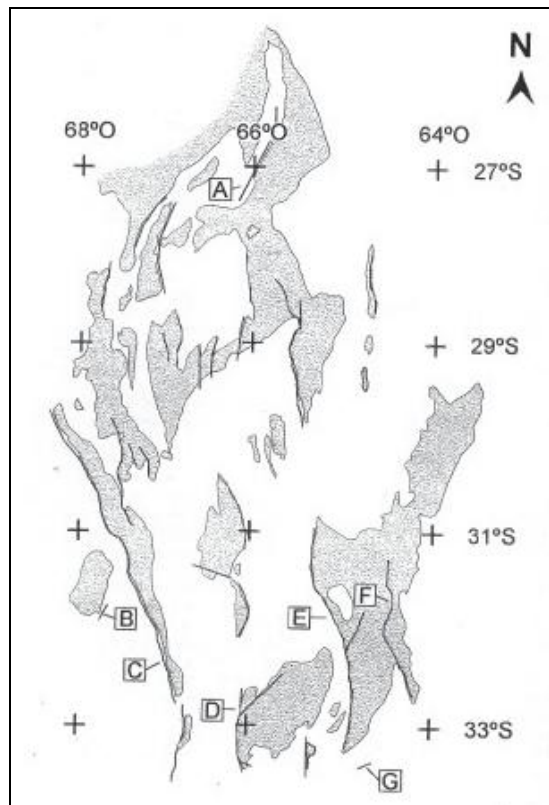


Figura 5. Esquema general de las estructuras andinas mayores de la región de Sierras Pampeanas. A: Falla de Aconquija (Geología Argentina. SEGEMAR, 1999).

Los movimientos tectónicos terciarios, se iniciaron con el desarrollo de las líneas de fracturas principales, las que facilitaron la erupción de los materiales volcánicos, posteriores al Calchaquense. Como rasgo estructural pre-Terciario, se menciona la presencia de fajas de milonitización, que reflejan la acción de movimientos a lo largo del plano de corte. El rumbo de estas fajas es importante y variado entre N-S y NNE-SSW.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

La sierra del Aconquija se encuentra elevada y basculada por una falla que se encuentra en su borde occidental (Falla del Aconquija) de rumbo NE-SO y ENE-OSO, ocasionalmente N-S (Suayter, 1984). La formación de estas sierras está vinculada con movimientos orogénicos ocurridos a fines del Terciario.

El macizo montañoso a su vez se encuentra afectado por un complejo estructural caracterizado por tres juegos principales de fracturación de carácter regional, cuya intersección favoreció el emplazamiento del yacimiento de Cu-Mo diseminado de Agua Rica (*Rescan para Minera Agua Rica, 2007. Informe de Impacto Ambiental Fase Explotación Proyecto Agua Rica*), evidentes en la imagen satelital de la zona. El lineamiento de Quebrada Minas es el principal, de orientación NW-SE.

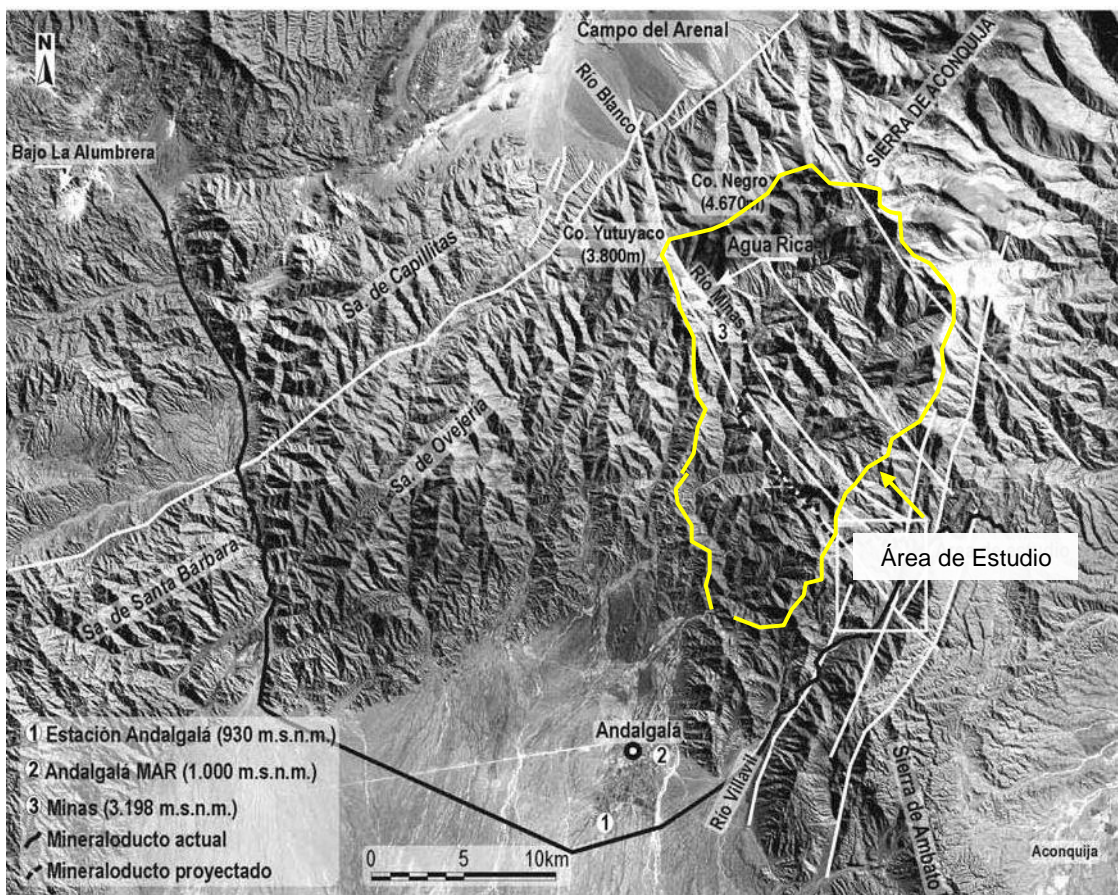
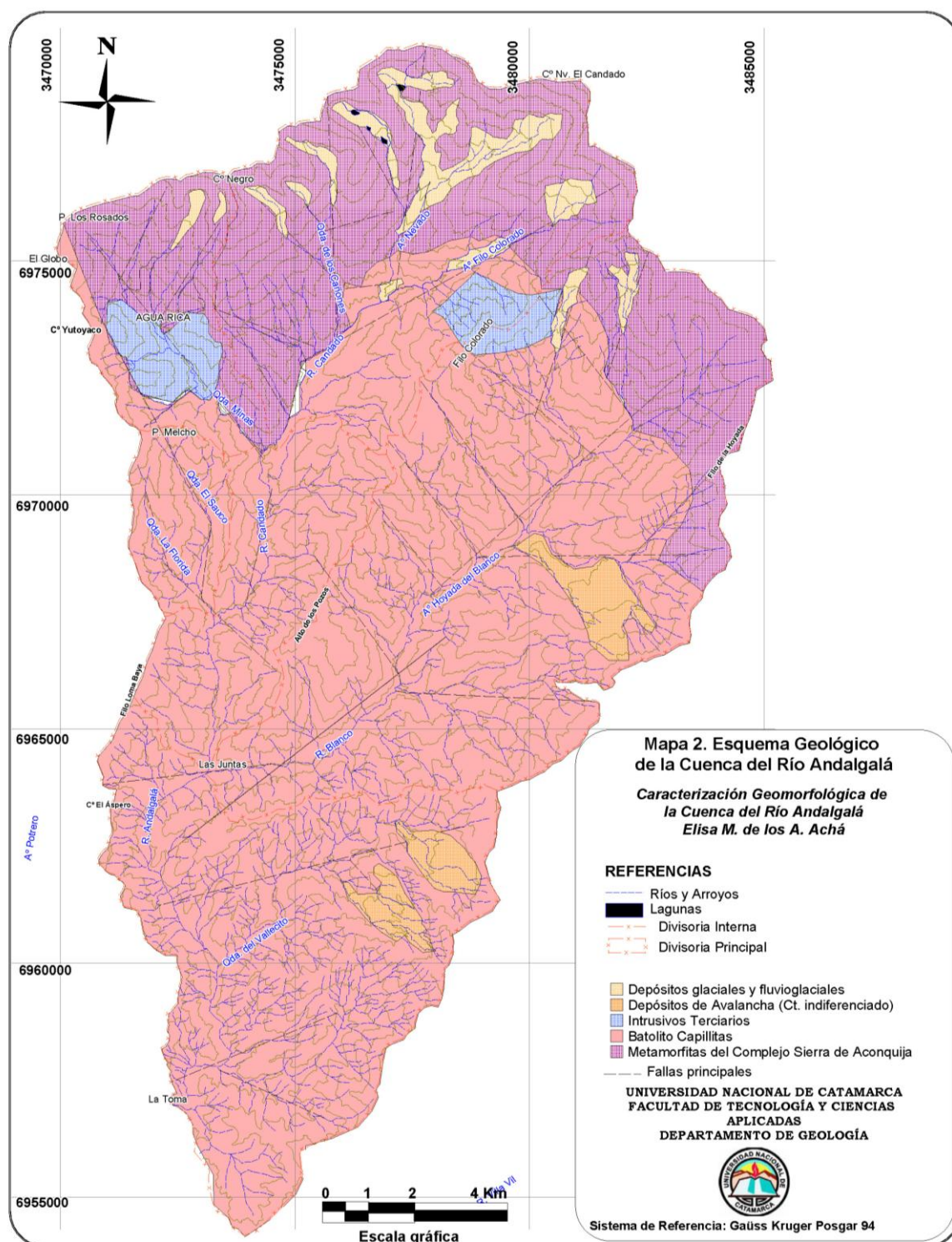


Figura 6. Ubicación de estructuras regionales en el sector sur de la sierra de Aconquija (Banchig et. al, 2009)

En el Mapa 2 se puede observar el detalle de esquema geológico resultante de la Cuenca del río Andalgalá, figura la cual puede visualizarse con mayor detalle en el Anexo I.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Mapa 2. Esquema geológico de la cuenca del río Andalgalá

G. Clima

De acuerdo a la “Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico”, del Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español (2004), se pueden

considerar tres niveles distintos para la caracterización climática, según la escala de trabajo, a saber:

- i. Macroclima*: es el clima general, que abarca las grandes regiones y zonas climáticas de la Tierra.
- ii. Mesoclima*: es el clima general modificado localmente por factores climáticos, como relieve, altitud y posición geográfica, entre los más importantes.
- iii. Microclima*: viene determinado por el conjunto de características especiales que adquiere el mesoclima bajo condiciones muy restringidas.

Tomando estos conceptos, la descripción del clima de la cuenca del río Andalgalá se puede clasificar dentro de la escala de “*Mesoclima de montaña*” (término el cual tiene otros equivalentes, que varían de acuerdo a su autor: “Topoclima” (Boyko, 1962), “Clima Regional” (Landsber, 1941), “Clima Local” (Boer, 1959)¹¹.

Las características que se definen como generales de este tipo de clima son:

- Radiación solar incidente, que decrece proporcionalmente con la altura y varía con la exposición y orientación de los relieves.
- La temperatura, que sufre grandes variaciones diurnas, correlacionándose con el cambio a través del día de las masas de aire en los valles y depresiones.
- La humedad relativa del aire, que decrece también debido a la diferencia de altura y a la orientación de las vertientes respecto a la dirección de los vientos.
- Las precipitaciones aumentan hasta cierta altitud, pero hay además alternancia de sequía y humedad grandes, con períodos de saturación seguidos de otros absolutamente secos.
- La orientación topográfica juega un papel muy importante en este mesoclima, existiendo importantes diferencias de temperatura y vegetación entre solanas y umbrías.

¹¹ En Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español, 2004. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico.

- El viento aumenta su velocidad con la altura.

La clasificación del Mesoclima se puede realizar partiendo de las grandes zonas climáticas, como las que establece Köeppen, dividiéndolas respecto a la altitud y a la configuración general del relieve.

Posteriormente estas unidades se pueden subdividir en función de la orientación, naturaleza de la superficie del suelo o de las características del territorio que reflejen significativamente diferencias de insolación, temperatura y régimen de precipitaciones, para llegar a nivel de microclima, si se lo quiere determinar.

a. Clasificación Climática

Se seleccionó la clasificación climática de Köppen (1918)¹² para la caracterización climática de la cuenca. Esta se basa en los valores de medias mensuales y anuales de temperatura y precipitación. A partir de la relación entre ellos, se obtienen límites que determinan 12 tipos climáticos, cada uno de los cuales se los identifica con la combinación de dos letras, para el tipo climático principal, y una tercera para establecer particularidades de temperaturas o precipitaciones (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación climática de Köppen (1918) ¹² .					
1ª letra	2ª letra	3ª letra	Temperatura	Precipitación	Tipo de clima
A			T > 18°C		Tropical lluvioso
	f		1°C < Tmáx-Tmín < 6°C	Pmín > 60 mm	Tropical lluvioso de selva
	w		6°C < Tmáx-Tmín < 12°C	Pmín < 60 mm, Pt < 2500 mm	Tropical lluvioso de sabana
	m			Pmín < 60 mm, Pt > 2500 mm	Tropical lluvioso de bosque
		I	Tmáx-Tmín < 5°C		Isotermal
		g	Tmáx antes del solsticio de verano**		Tipo Ganges
		x		P al comienzo del verano	
		s		Pmín en el verano	
		w		Pmín en invierno	

¹² En Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español, 2004. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico.

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

Tabla 3. Clasificación climática de Köppen (1918) ¹² .					
1ª letra	2ª letra	3ª letra	Temperatura	Precipitación	Tipo de clima
		g'	T _{máx} después del solsticio de verano**		Tipo Sudan
		x'		Pocas precipitaciones pero intensas	
		s'		Época de lluvias se adelanta al otoño	
		w'		Época de lluvias se retrasa al otoño	
		s		Época seca corta en verano* en medio de dos periodos lluviosos	
		w		Época seca corta en invierno* en medio de dos periodos lluviosos	
B	S		$T < Pt \leq 2T$ (Pt en centímetros)	Si las lluvias son en invierno*	Seco estepario
			$(T+14) < Pt \leq 2(T+14)$ (Pt en cm)	Si las lluvias son en verano*	
			$(T+7) < Pt \leq 2(T+7)$ (Pt en cm)	Si las lluvias son irregulares	
W			$Pt \leq T$ (Pt en cm)	Si las lluvias son en invierno*	Seco desértico
			$Pt \leq (T+14)$ (Pt en cm)	Si las lluvias son en verano*	
			$Pt \leq (T+7)$ (Pt en cm)	Si las lluvias son irregulares	
		h'	$T_m > 18^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} > 18^\circ\text{C}$		Muy caliente
		h	$T_m > 18^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} < 18^\circ\text{C}$		Caliente
		k	$T_m < 18^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} > 18^\circ\text{C}$		Frío
		k'	$T_m < 18^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} < 18^\circ\text{C}$		Muy frío
C			$T < 18^\circ\text{C}$		Templado lluvioso o mesotermal
		w		$P_{\text{máx}} \text{ de verano}^* > 10$ $P_{\text{mín}} \text{ invierno}^*$	Húmedo de invierno seco
		s		$P_{\text{máx}} \text{ de invierno}^* > 3$ $P_{\text{mín}} \text{ verano}^*$	Húmedo de verano seco
		f		Intermedio entre w y s	Húmedo con lluvias de moderada intensidad todo el año
		a	T_m de por lo menos 4 meses $> 10^\circ\text{C}$, $T_{\text{máx}} > 22^\circ\text{C}$		Subtropical
	b	T_m de por lo menos 4 meses $> 10^\circ\text{C}$, $T_{\text{máx}} < 22^\circ\text{C}$		Templado	
	c	T_m de menos de 8 meses $> 10^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} > -38^\circ\text{C}$		Frío	
	d	T_m de menos de 8 meses $> 10^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} < -38^\circ\text{C}$		Muy frío	

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

Tabla 3. Clasificación climática de Köppen (1918)¹².

1ª letra	2ª letra	3ª letra	Temperatura	Precipitación	Tipo de clima
D			Tmín < -3°C, Tmáx > 10°C		Boreal
	w			Pmáx de verano* > 10 Pmín invierno*	Húmedo seco en invierno
	s			Pmáx de invierno* > 3 Pmín verano*	Húmedo seco en verano
		a	Tm de por lo menos 4 meses > 10°C, Tmáx > 22°C		Subtropical
		b	Tm de por lo menos 4 meses > 10°C, Tmáx < 22°C		Templado
		c	Tm de menos de 8 meses > 10° C, Tmín > -38°C		Frío
		d	Tm de menos de 8 meses > 10° C, Tmín < -38°C		Muy frío
E	T		0 < Tmáx < 10°C		Frío de tundra
E	F		Tmáx < 0°C		Frío de nieve perpetua
E	B		Tmáx < 10°C		Frío de alta montaña o Polar de altura

En esta clasificación, el límite entre los tipos de clima húmedo y el semiárido se establece por medio de la relación siguiente:

$$RV = 0,44 T - N$$

Siendo RV, la relación entre T: temperatura anual, y N: constante que depende de la distribución estacional de las precipitaciones que toma los siguientes valores:

$N=14$ para climas con verano seco

$N=8,5$ para una distribución uniforme de precipitaciones todo el año

$N=3,5$ para climas con inviernos secos.

Si la media de precipitación anual es menor que el valor de RV, el clima es, a la vez árido y semiárido. Cuando la cantidad anual de lluvia es menor que la mitad del valor de RV, la región es árida. Y cuando la precipitación se encuentra entre RV y 1/2RV, la región es semiárida.

b. Análisis de las series de Datos

Para el presente estudio se recopilaron y analizaron los datos climáticos de las estaciones meteorológicas de Andalgalá y Mina, pertenecientes a Minera

Agua Rica. Las mismas fueron tomadas en consideración para conocer las condiciones climáticas dentro de la Cuenca. La primera se encuentra ubicada en la ciudad cabecera y la segunda en el yacimiento de Agua Rica. Si bien la estación de Andalgalá se encuentra en ambiente de abanico aluvial, fuera del área de estudio considerada, puede resultar útil para considerar sus parámetros para el punto de descarga del río Andalgalá, al igual que para el caso de la estación Mina, la cual representa las condiciones de uno de los puntos de nacimiento. Resulta evidente notar que casi la totalidad del área de estudio no cuenta con información climática.

Los parámetros que se trataron corresponden a los registros diarios de humedad, presión, temperatura, precipitación, evaporación y vientos, del período 1995-2008.

Los datos fueron extraídos de la Actualización Bianual del Informe de Impacto Ambiental de Exploración Agua Rica (*Servicios Mineros y Gestoría Ambiental SMGA para Agua Rica, 2006*), para el período 1995 a 2005, mientras que los datos de los años 2006 al primer semestre de 2008 han sido facilitados por el Departamento de Geología y Medio Ambiente de MAR.

En primera instancia se realizó una revisión de los datos disponibles, referente tanto a su continuidad como a su representatividad. Como consecuencia, se detectó una discontinuidad en el registro de 4 meses del año 2003 (Febrero a Mayo), del segundo semestre de 2004 y de todo el año 2005, para el caso de la estación de Andalgalá. Para la estación de Mina, los datos faltantes corresponden a Diciembre de los años 1999, 2001 y 2003; primer bimestre y último semestre de 2004; y de los meses Enero-Febrero y Julio a Diciembre de 2005.

c. Tratamiento de datos

La información fue ordenada en tablas según:

- ▀ Precipitación (mm): Diarias, Medias mensuales-totales-medias anuales.
- ▀ Temperatura (°C): Diarias, Medias, Mínimas, Máximas mensuales-medias anuales.
- ▀ Evaporación (mm/día): Diarias, Medias mensuales y Medias anuales.
- ▀ Humedad Relativa (%): Diaria, Medias mensuales y Medias anuales.
- ▀ Presión (psi): Diaria, Medias mensuales y Medias anuales.

☞ Vientos: Velocidades medias y máximas diarias, Velocidades Medias y Máximas mensuales, Velocidades Medias y Máximas anuales. Respecto a las velocidades máximas las mismas se analizaron su dirección.

Los valores medios de todos los parámetros, los valores máximos y mínimos de temperatura y los valores totales de precipitación, como su graficación, se obtuvieron mediante el uso del programa Excel.

A efectos de realizar el tratamiento estadístico, se aplicó el **Método Racional Deductivo**, propuesto por José Manuel Guevara Díaz (2003)¹³, el cual permite estimar valores mensuales faltantes cuando existen uno o más años incompletos, sobre los datos de años completos. Este método tiene como limitación una cantidad máxima de 11 meses faltantes para estimar. Es una metodología que en principio fue aplicada para completar series de datos de precipitaciones, pero el cual se corroboró como aplicable para los demás parámetros. Para el presente trabajo se empleó este método en todas las variables, excepto a vientos.

Los pasos que se realizaron consistieron en:

1. Obtener los valores anuales de los años completos
2. Calcular los porcentajes que corresponden a cada mes, considerando como 100% el promedio anual.
3. Obtener para cada mes un promedio.
4. Estimar los datos de los meses faltantes en base al porcentaje promedio del mes correspondiente, mediante la fórmula:

$$\sum S_k = 1200$$

Por lo tanto la precipitación del mes faltante, u otra variable climática, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P_{ij} = \sum P_i / (1200 - \sum S) * S_j$$

Siendo i el año incompleto; j el mes sin dato (≤ 11); P_{ij} el valor del mes j a estimar del año i ; $\sum S$ la suma de los porcentajes promedios de los meses sin datos; $\sum P_i$ la suma de las precipitaciones de los meses con datos del año i ; S_j porcentaje promedio del mes faltante j .

¹³ En Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español, 2004. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico.

La estimación de datos faltantes también se realizó en Excel, introduciendo las fórmulas empleadas, para facilitar el cálculo.

d. Representación de datos

Se elaboraron diagramas y gráficos en base a los datos analizados estadísticamente, con el fin de poder visualizar las variaciones de los diferentes parámetros en función del tiempo, como así también gráficos tipo climogramas.

Tipos de representaciones gráficas generadas:

- ☒ Precipitación: Curvas de Precipitaciones medias mensuales y Precipitaciones medias anuales.
- ☒ Temperatura: Histogramas de Temperaturas medias mensuales, Temperaturas medias anuales, amplitud térmica, y Comparación de Temperaturas medias anuales de ambas estaciones.
- ☒ Evaporación: Curvas de Evaporación media mensual y Evaporación media anual.
- ☒ Humedad: Curvas de Humedad Relativa media mensual, Humedad Relativa media anual y gráficos de relación entre HR y Temperatura.
- ☒ Presión atmosférica: Curvas de Presión media mensual y Presión media anual.
- ☒ Vientos: Gráficos de velocidades medias mensuales, medias anuales y rosa de vientos de máximas mensuales.

e. Resultados

En el Anexo II se encuentran los datos tabulados y los gráficos resultantes. En las tablas pueden diferenciarse los datos originales de los estimados. El **Método Racional Deductivo**, mostró ser aplicable para la estimación de valores medios de todas las variables, menos en vientos, ya que en éstos últimos se registra otro dato que es la dirección del viento, y por lo tanto no es posible deducirlo estadísticamente.

Teniendo en cuenta la clasificación climática seleccionada, podemos observar que el tipo de clima en Andalgalá es BWh, mientras que en Quebrada Mina el clima corresponde al tipo CWb (Tabla 4).

Tabla 4. Valores considerados para determinar la clasificación climática, según Köppen (1918)

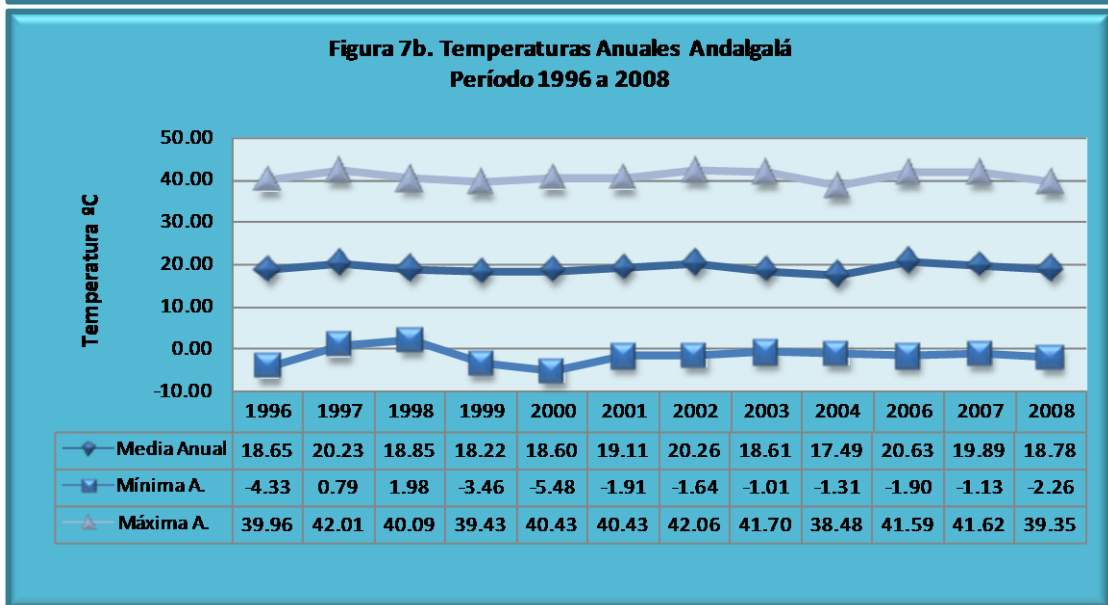
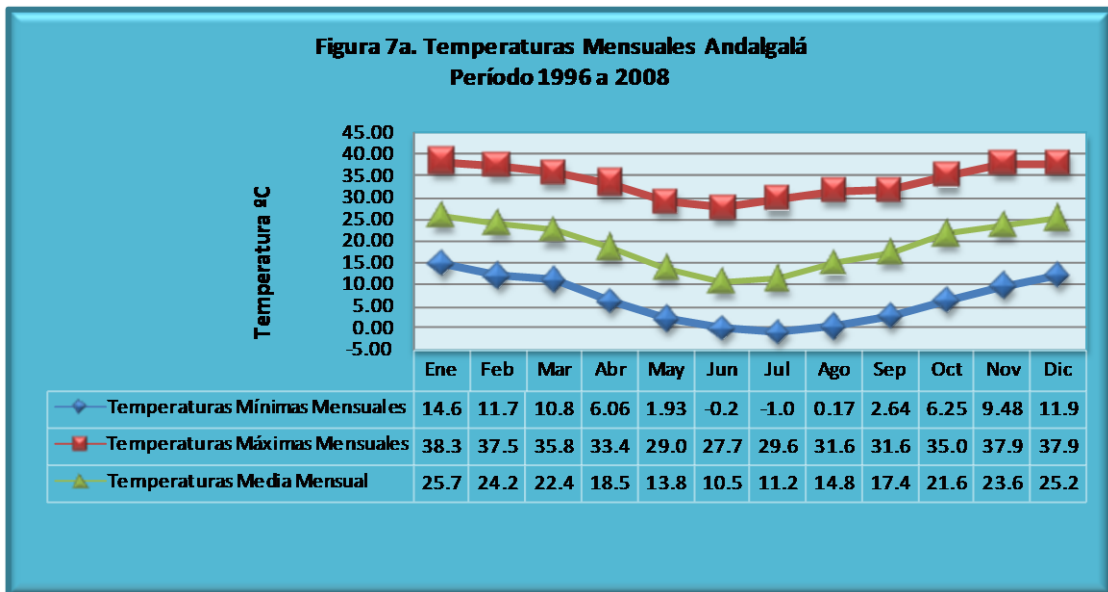
	Parámetros	Andalgalá	Mina
Temperatura	Tm	19.12	10.24
	2T	38.24	20.49
	T+14	33.12	24.24
	2(T+14)	66.24	48.49
	T+7	26.12	17.24
	2(T+7)	52.24	34.49
	Tmáx	33.82	21.98
	Tmín	6.17	-2.76
	Tmáx-Tmín	27.65	24.74
Precipitación	Prec total promedio cm	3.10	33.87
	2Pt	6.20	67.73
	Prec máx	202.78	345.69
	Prec mín	0	0.25
	1º letra	B	C
Resultado	2º letra	W	W
	3º letra	h	b
	Rv	4.91	1.01
		semiárido	húmedo

1. *Clima BWh (semiárido)*

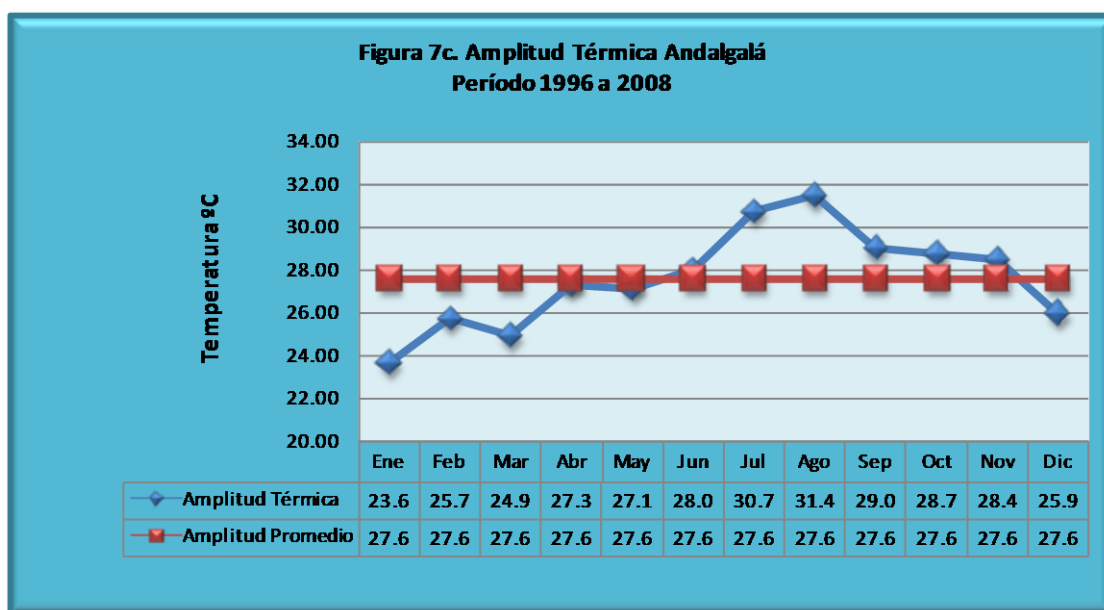
En este tipo de clima, las temperaturas son mayores a los 18°C, según el límite de temperatura considerado para la clasificación de Köppen. Para el caso de Andalgalá, las temperaturas promedio a lo largo de todo el año, se encuentran entre los 25°C y 10°C, lo cual puede observarse en la Figura 7a. Se puede decir también que las temperaturas alcanzan ser menores que 0°C en los meses más fríos (Junio-Julio), y superan los 35°C en los meses más calurosos. En cuanto a las variaciones anuales, puede observarse que los

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

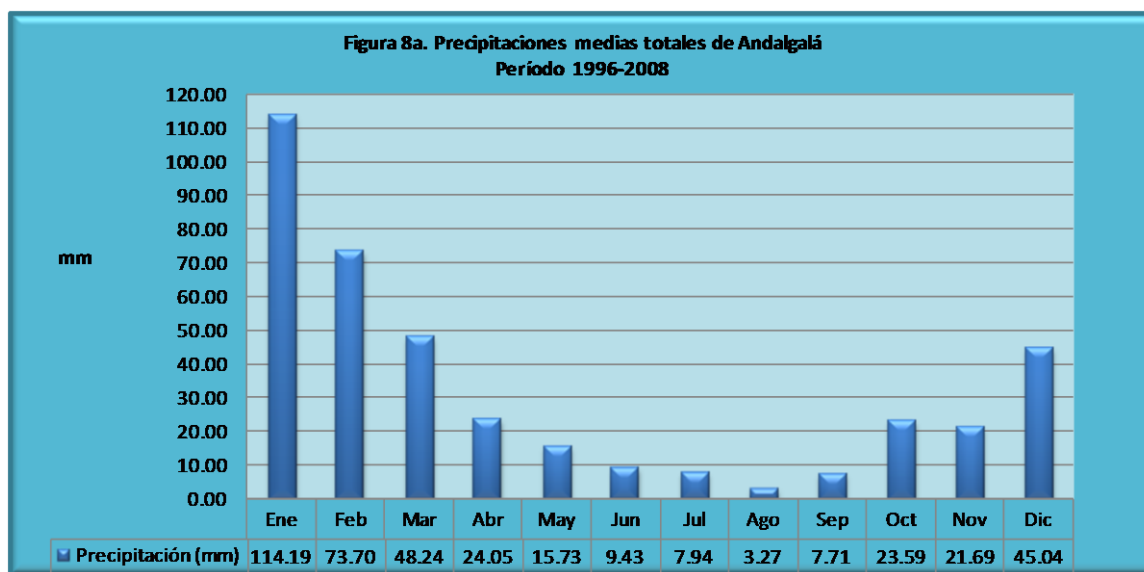
promedios anuales se encuentran alrededor de los 20°C. El año más caluroso fue el 2002, con una temperatura máxima de 42°C, mientras que el año más frío fue el 2000, con una mínima de -5,4°C (Figura 7b). La amplitud térmica varía anualmente como se aprecia en la Figura 7c. Los valores de amplitud térmica en la estación de Andalgalá, se encuentra alrededor de los 14,3°C.

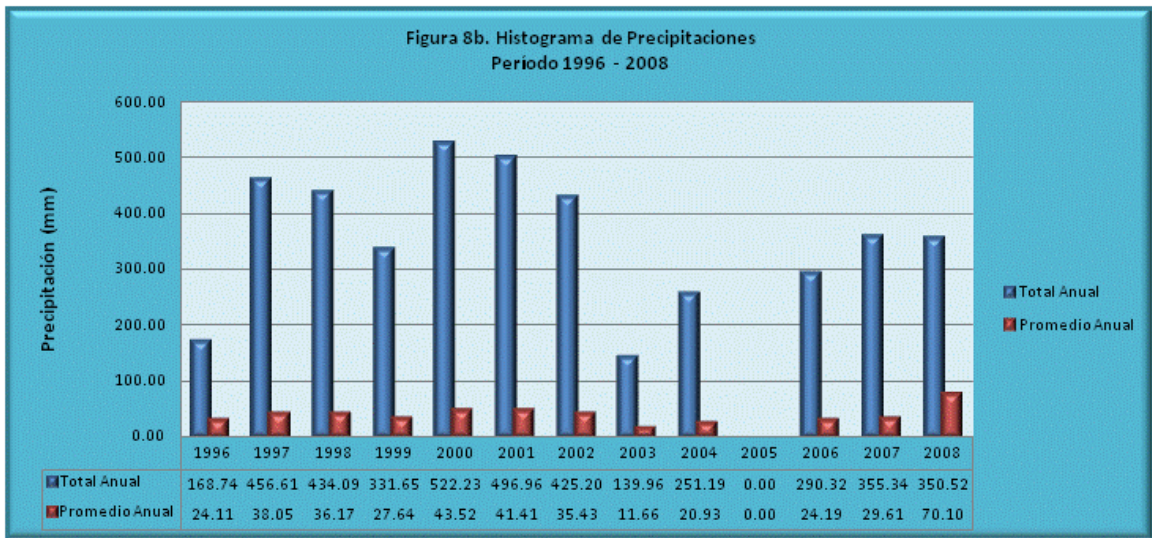


Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgala, departamento Andalgala, provincia de Catamarca.

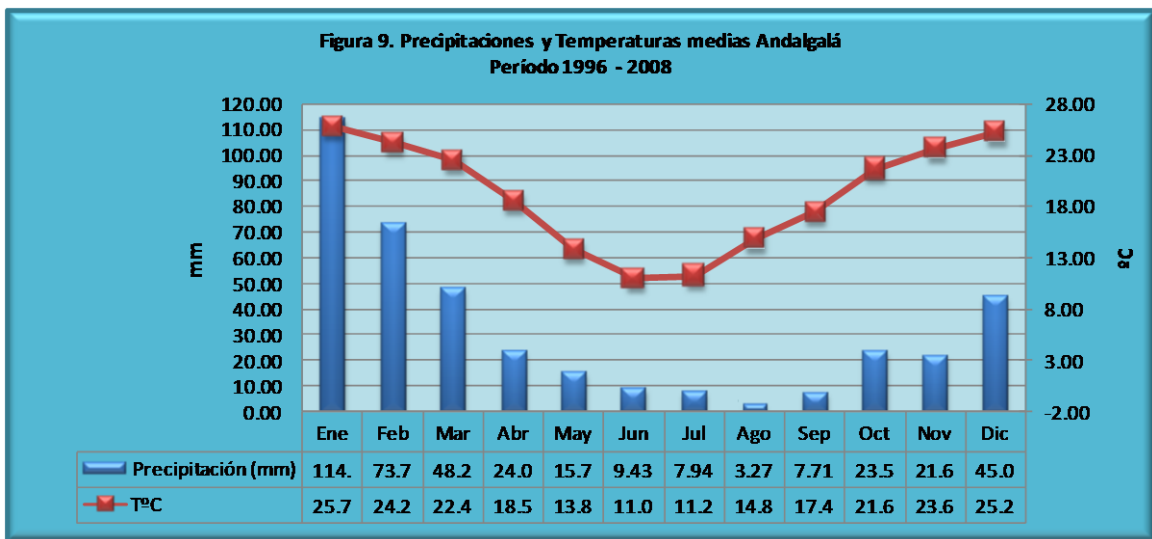


Las precipitaciones, si bien son escasas, se encuentran mayormente distribuidas durante los meses más calurosos, por ello su identificación con la letra *W*, para el régimen pluviométrico estival. En la Figura 8a se puede observar que las precipitaciones son mayores durante el verano, mostrando una notable abundancia en el mes de Enero. En cuanto a la variación anual, en la Figura 8b puede apreciarse que cada tres años se repiten los periodos más lluviosos, siendo el año 2000 durante el cual la precipitación fue mayor. Como dato complementario, se graficó también la precipitación media anual del periodo considerado.





Para comparar los valores de temperatura y precipitación, se presenta en la Figura 9 el climograma que muestra la íntima relación que existe entre ambas.

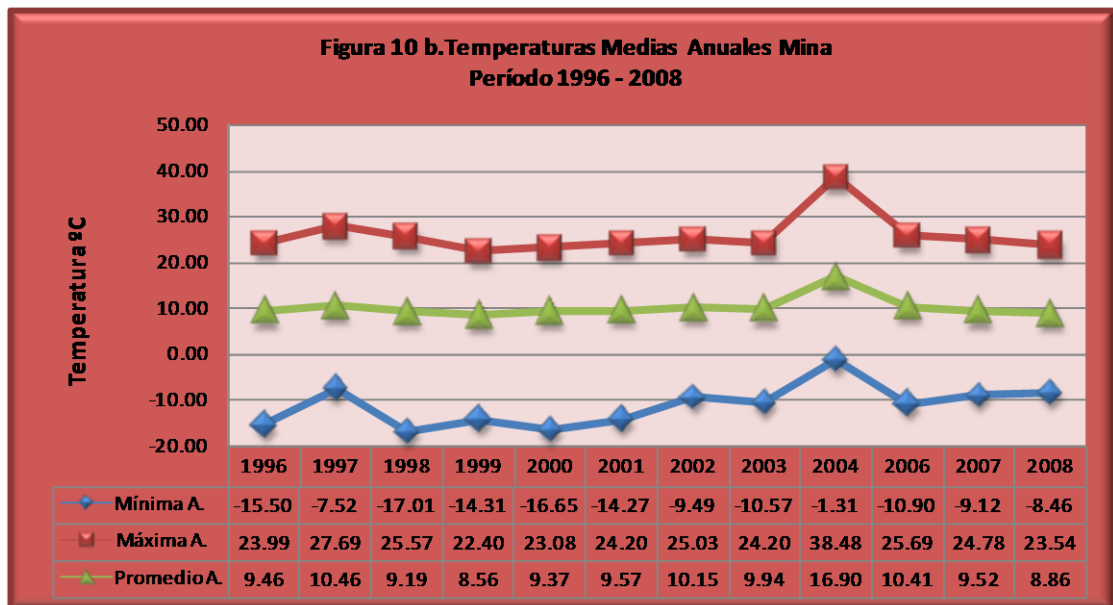
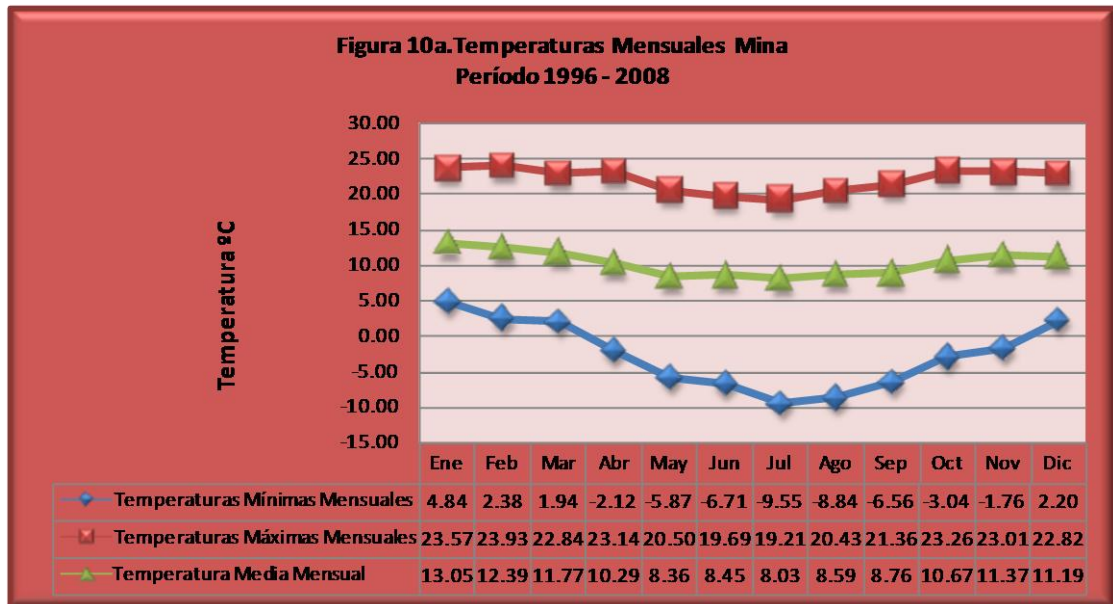


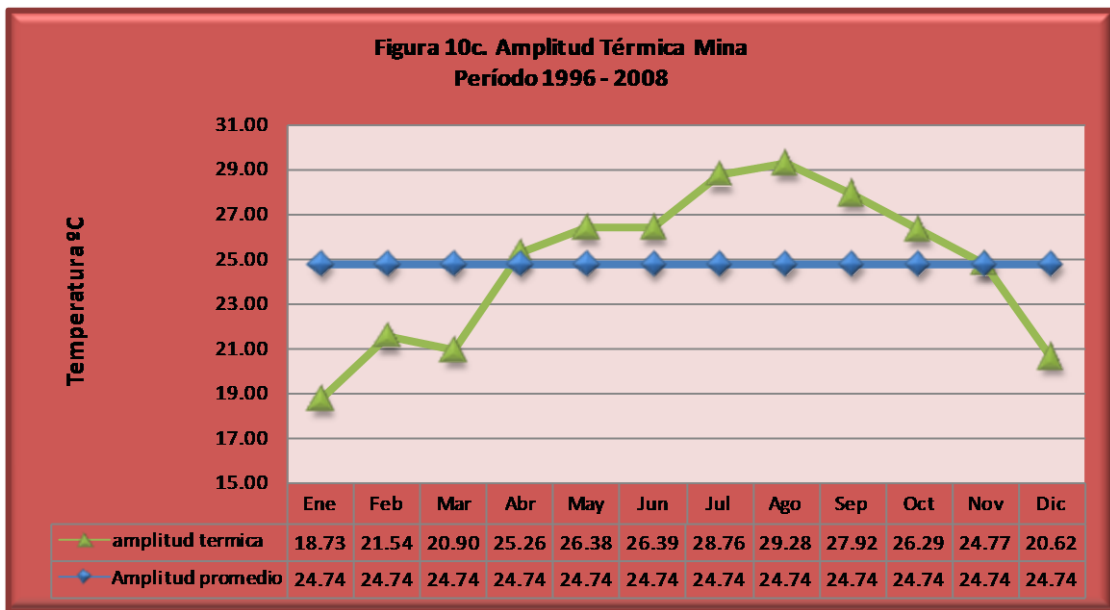
2. *Clima CWb Templado subtropical*

Caracterizado por la temperatura media es menor a 18°C, según el límite de temperatura considerado para la clasificación de Köppen. Para el caso de la estación ubicada dentro del proyecto Agua Rica, denominada MetMina, las temperaturas promedio a lo largo de todo el año, se encuentran entre los 11°C y 8°C, como puede observarse en la Figura 10a. En los meses más fríos (Jul-Ago) las temperaturas alcanzan los 9°C bajo cero, hasta incluso llegan a ser inferiores, y superan los 23°C durante los meses de verano. En éste sector la variación anual promedio de temperaturas se encuentra alrededor de los 10°C. El año más caluroso fue el 2004 con una máxima de 38°C, mientras que

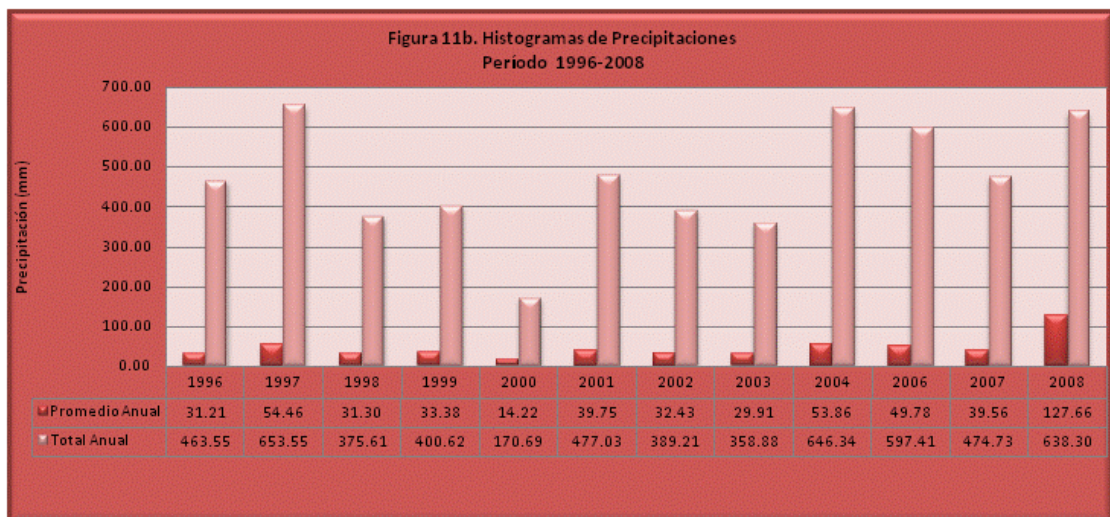
Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

el año más frío fue el 1998, con una mínima de -17°C (Figura 10b). La amplitud térmica anual se puede apreciar en la Figura 10c. Los valores de amplitud térmica en la estación de Mina, se encuentra alrededor de los 10°C .

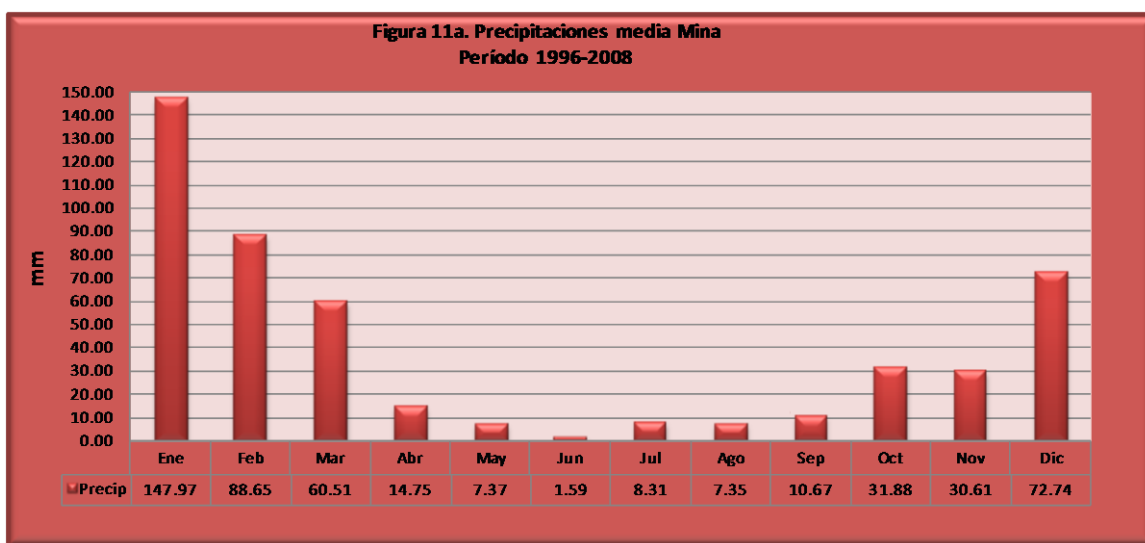




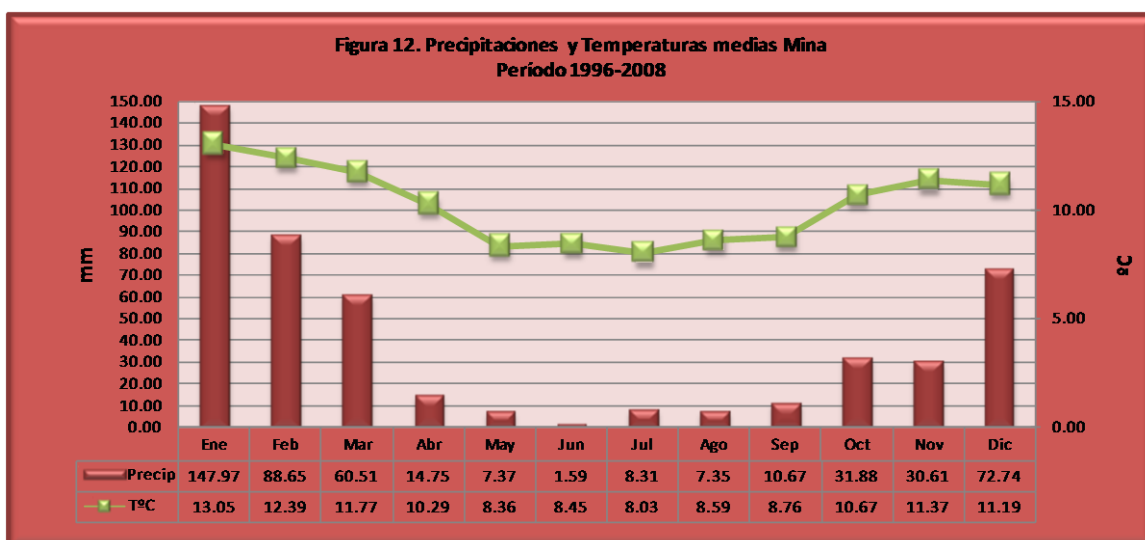
Las precipitaciones son mayores en el período estival, al igual que en la estación de Andalgalá. En la Figura 11a se puede ver que las precipitaciones son mayores durante el verano, siendo más importantes en el mes de Enero. En cuanto a la variación anual, en la Figura 11b puede apreciarse que los periodos más lluviosos se repiten cada tres años, siendo los años 1997, 2004 y 2008 los de mayor precipitación. Como dato complementario, se graficó también la precipitación media anual del periodo considerado.



Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Para comparar los valores de temperatura y precipitación, se presenta en la Figura 12 el climograma que muestra la íntima relación que existe entre ambas, pero de manera más evidente en los meses de mayores temperaturas.

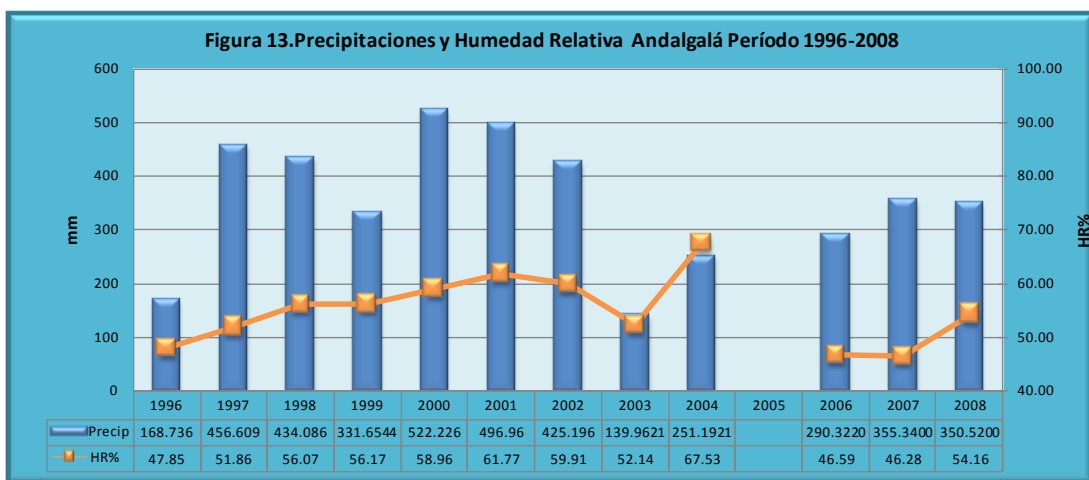


Esta clasificación nos da una idea de la diferencia entre los distintos ambientes en cuanto a su caracterización climática, ya que en Andalgalá las condiciones son más similares a las de la región, mientras que en Agua Rica las condiciones difieren dado sus condiciones especiales de un mesoclima de montaña, correspondiente a la cuenca:

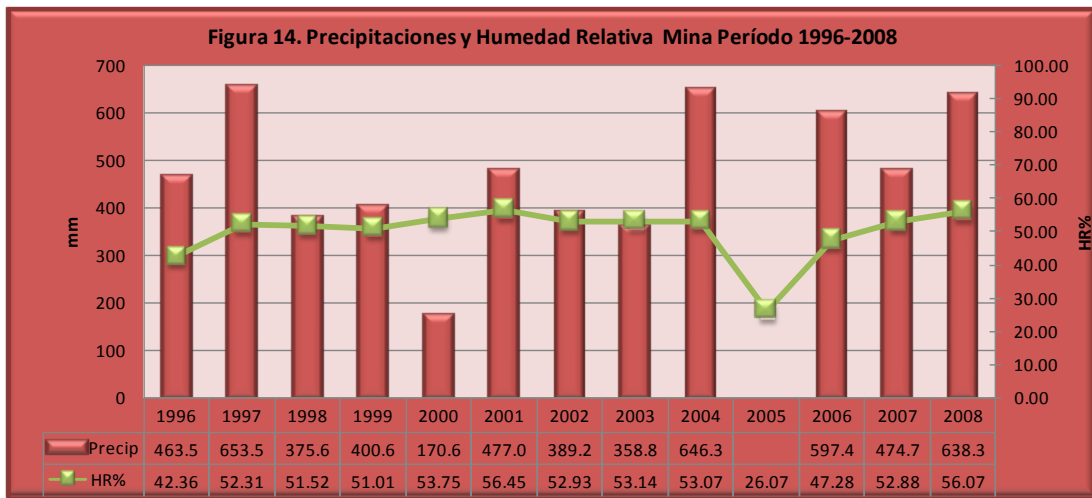
- Las temperaturas sufren mayores variaciones diurnas, evidente en los gráficos de amplitud térmica (Figuras 7c y 10c).

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento
Andalgalá, provincia de Catamarca.*

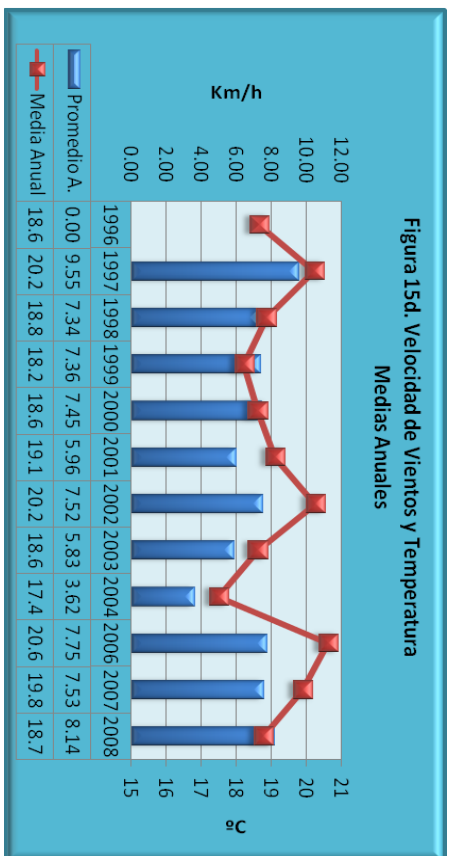
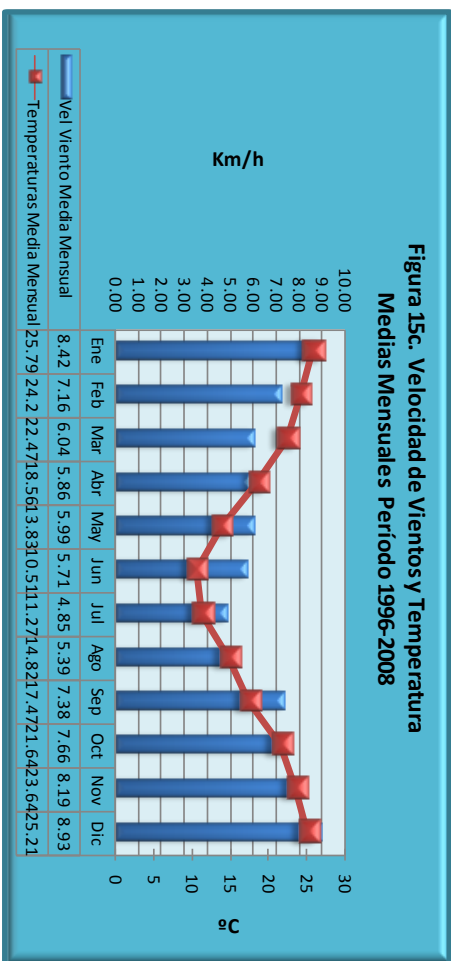
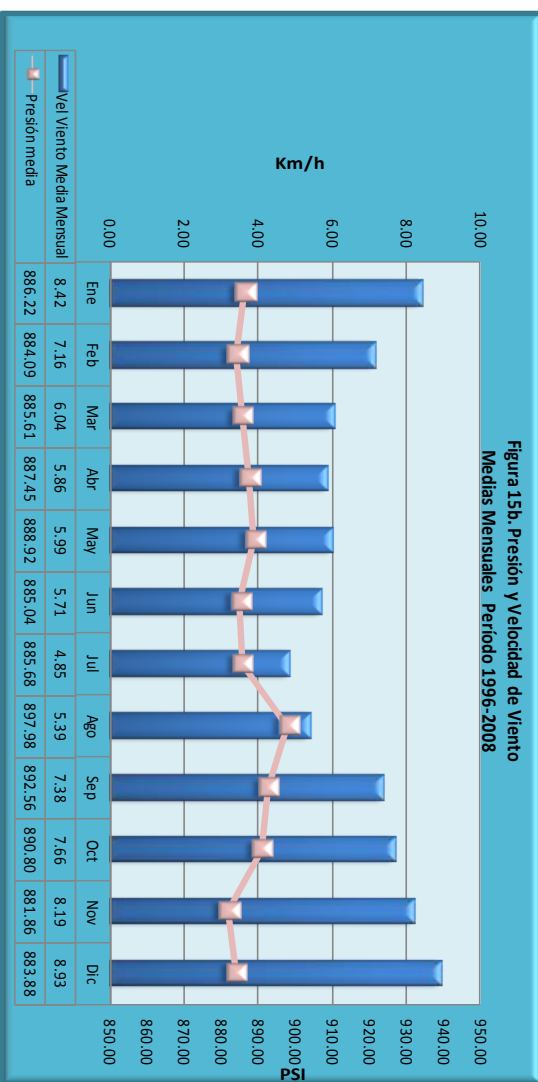
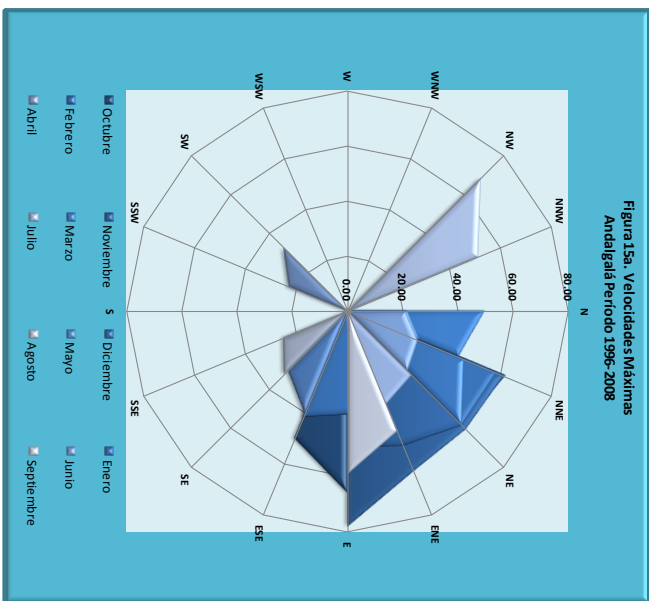
- Las precipitaciones aumentan, hasta cierta altura, existiendo una alternancia de sequía y humedad (Figuras 8b, 9, 11b y 12).
- Juega un papel muy importante la orientación topográfica.
- Otro parámetro importante a considerar, y directamente relacionado a las precipitaciones, es la Humedad Relativa. La misma crece con la altura, hasta cierto punto, donde comienza a disminuir. Se representó en las Figuras 13 y 14 la Humedad relativa de las dos estaciones, comparadas con los valores de precipitaciones.
- También son importantes los vientos, ya que aumentan de velocidad y frecuencia con la altura (Figuras 15 y 16), y sus direcciones varían debido a la ubicación fisiográfica. En Andalgalá las velocidades máximas de viento ocurren entre Octubre y Diciembre, en primavera, con una máxima de 77,60 Km/h de sentido E, como así también la velocidad de los vientos se relacionan directamente con la temperatura, no así con la presión atmosférica, la cual aparenta tener una relación inversa, pero lo que no resulta muy notorio, ya que se mantiene homogénea casi todo el año; en Mina las velocidades máximas ocurren entre Julio y Septiembre, en invierno, con una máxima de 103,18 Km/h de sentido WNW, existiendo para este caso, una relación inversa entre las medias anuales de la temperatura y la velocidad media de los vientos, pero si existe una relación directa entre las temperaturas mensuales y la velocidad media mensual del viento, mientras que el comportamiento de la presión atmosférica es idéntico al de la estación de Andalgalá.



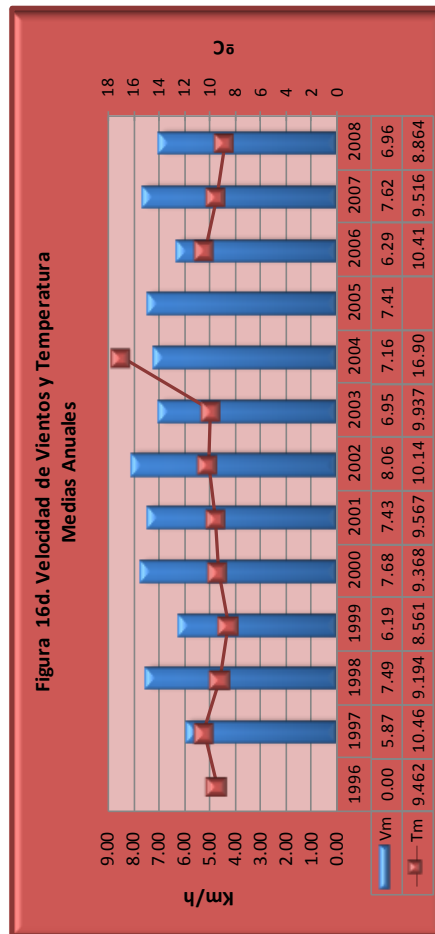
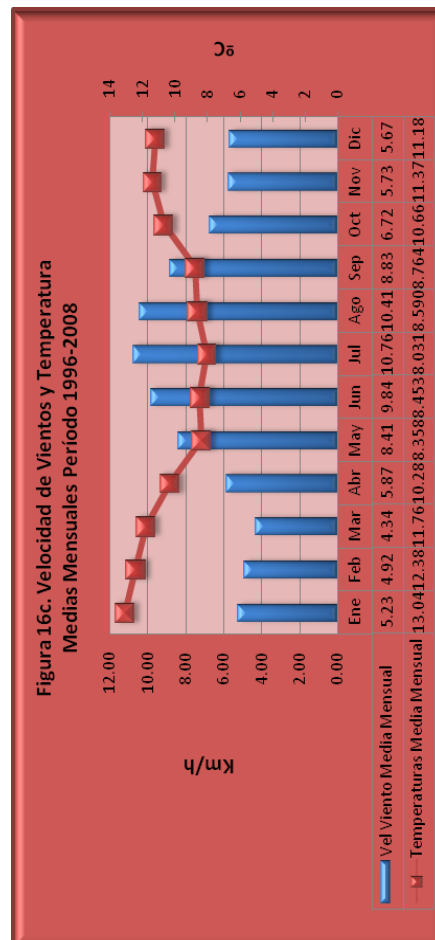
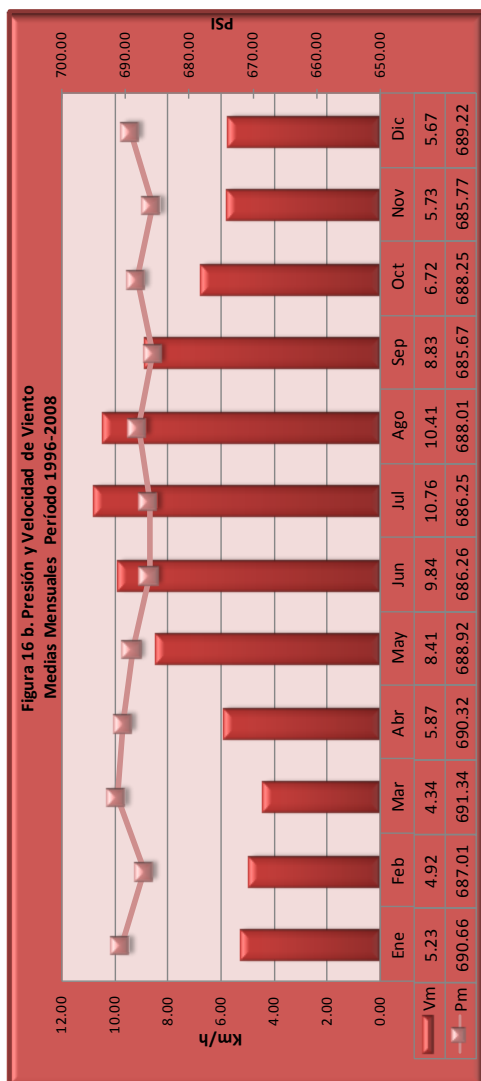
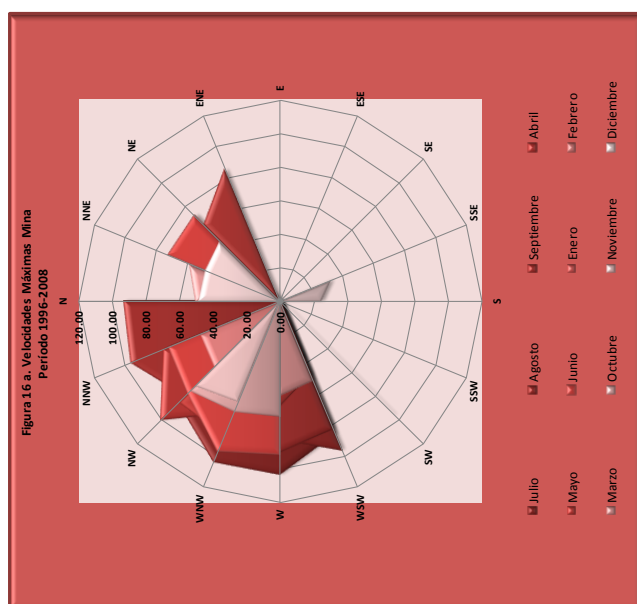
Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



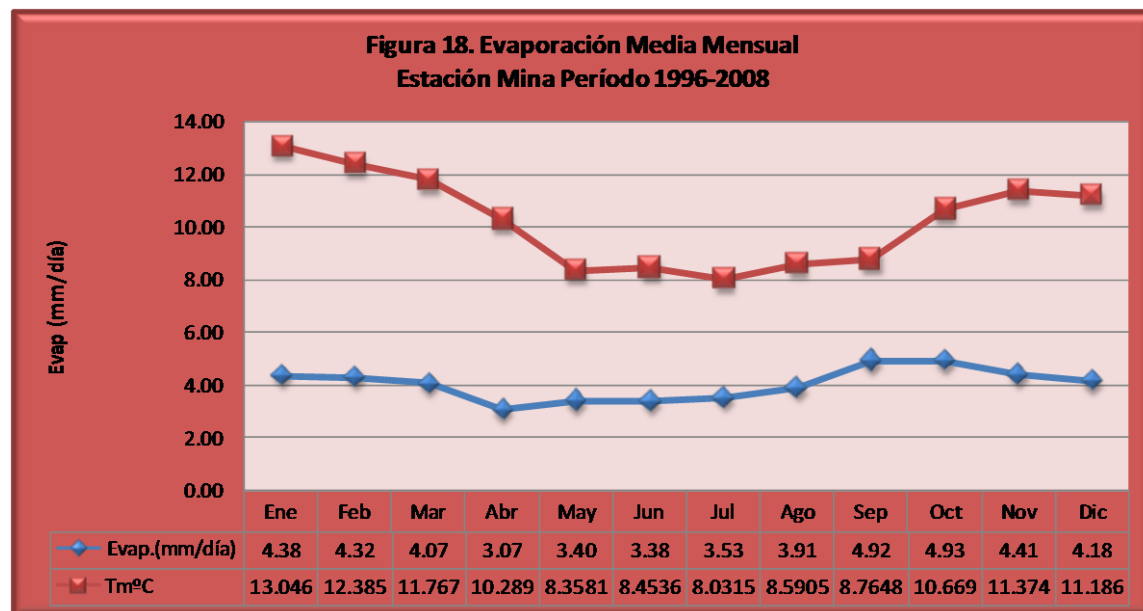
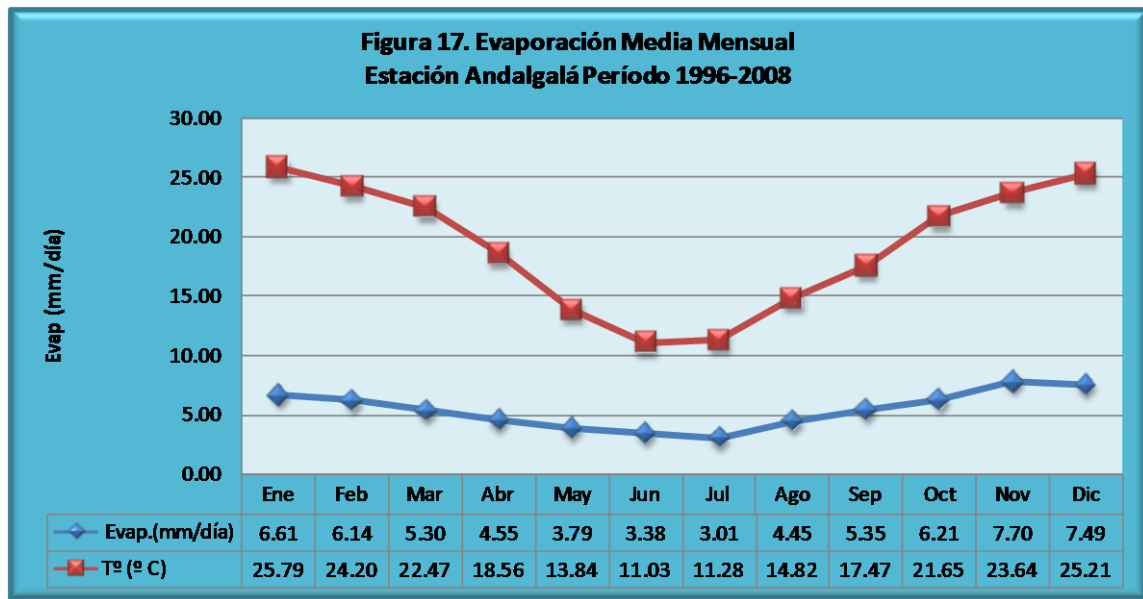
Finalmente, es importante hacer mención de la variación de la evaporación, dado el tipo de climas. En la Figura 17 se puede observar que en MetAndal se mantiene relativamente homogénea durante todo el año, y sus pequeñas variaciones (<4mm/día, en promedio), van acompañadas con la temperatura. En Mina los valores de evaporación son algo inferiores, y también es inferior la variación mensual (2mm/día) cuya tendencia es similar a la de la temperatura (Figura 18).



Figuras 15. Gráficos de vientos de estación Andalgalá. 15a. Velocidades máximas; 15b. Comparación de velocidad media mensual de vientos con las temperaturas medias; 15c. Comparación de la velocidad media mensual de vientos con las temperaturas medias comparada con la presión atmosférica. 15d. Variación de la velocidad de viento comparada con la



Figuras 16. Gráficos de vientos de estación Mina. 16a. Velocidades máximas; 16b. Comparación de velocidad media mensual de vientos con las temperaturas medias; 16c. Comparación de la velocidad media mensual de vientos con las temperaturas medias anuales; 16d. Variación de la velocidad de viento comparada con la presión atmosférica.



H. Hidrología

En toda la bibliografía consultada respecto al agua, existen dos denominadores comunes en sus definiciones:

“Es el ingrediente vital básico y constituyente esencial de nuestro cuerpo y entorno, interactuando en la mayoría de las actividades humanas, y por lo tanto, es un elemento que determina el asentamiento de las poblaciones y su organización”.

“El agua dulce es un recurso escaso en todo el mundo, aún más en las zonas semiáridas, con déficit hídrico”.

Estos preconceptos son verdades universales, uno plantea la necesidad y el otro, una problemática, la cual coincide con la situación actual provincial y, fundamentalmente, del área receptora del recurso hídrico del área de estudio: la población de Andalgalá.

Es por este problema global es que universalmente se determinó la implementación de un ordenamiento territorial según cuencas hidrográficas.

Siguiendo esta premisa, se definió estudiar como cuenca hidrográfica unidad a la cuenca imbrífera del Río Andalgalá, la cual es una porción de la Cuenca endorreica del Bolsón de Pipanaco.

a. Características físicas

Las características físicas de una cuenca, forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona, dentro de las cuales se consideró como más importantes, a las siguientes:

3. *Área de la cuenca*

Es un parámetro muy utilizado para determinar la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc.

Se define como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido, directa o indirectamente, a un mismo cauce.

Se puede medir directamente del mapa topográfico, y su importancia radica en las siguientes razones:

- Es un valor que se utilizará para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- Existe una relación directamente proporcional entre el área y el caudal medio, para los casos de regiones con similares características.
- Se relaciona de manera inversa con la relación entre caudales extremos mínimos/máximos.

A partir del *Área*, se puede determinar el *área superficial real*, la cual considera la pendiente de la cuenca, relacionando el área medida directamente en el plano, pero si bien el área superficial real representaría la magnitud de la cuenca, para

los fines hidrológicos y estadísticos, es mucho más útil su proyección horizontal. Si el valor del área es $<25 \text{ Km}^2$, la cuenca es muy pequeña; si varía entre 25 y 250 Km^2 , es pequeña; entre 250 y 500 Km^2 , es intermedia pequeña; entre 500 y 2500 Km^2 , es intermedia grande; entre 2500 y 5000 Km^2 , es grande; y $>5000 \text{ Km}^2$, es muy grande.

4. Longitud, perímetro y ancho

Se define como *Longitud de la cuenca* (L) a la línea recta imaginaria, la cual posee una dirección paralela a la del cauce principal, entre un punto aguas abajo (por ejemplo: estación de aforo), y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El *Perímetro* (P) de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de aguas, es considerada como uno de los parámetros importantes, junto con el área (A), ambos resultan un indicador de la forma de la cuenca.

El *Ancho* (W) es la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L):

$$W = A/L$$

5. Parámetros de forma de la cuenca

La forma geométrica de la cuenca permite conocer el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento. Se la cuantifica por medio de índices o coeficientes.

El Índice de compacidad o índice de Gravelius (K), se definió como la relación entre el perímetro (P) y el perímetro de un círculo que contenga la misma área (A) de la cuenca hidrográfica, como se ve en la siguiente expresión:

$$K = 0.282 P/\sqrt{A}$$

En cualquier caso, el coeficiente será mayor que la unidad, tanto más próximo a ella, cuanto la cuenca se aproxime más a la forma circular, pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

El factor de forma de Horton (Rf), se define como el cociente entre el área de la cuenca (A) y el cuadrado de su longitud (L).

$$Rf = A/L$$

Los valores de éste factor varían de la siguiente manera:

0,785Circular

1,00Cuadrado con salida central

0,50Cuadrado con salida lateral

<1Rectangular

Ésta ecuación muestra que las cuencas no son similares en forma, ya que a medida que el área aumenta, Rf disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos.

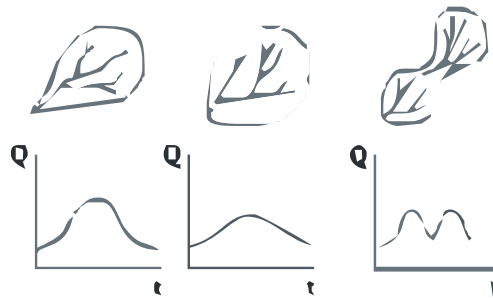


Figura 19. Hidrogramas tipos, según la forma de la cuenca

La relación de elongación (Re) es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L). Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$Re = 1,128 \sqrt{A/L}$$

Los valores de Re varían entre 0.60 y 1.00. Está relacionado al relieve de la cuenca, ya que valores cercanos a la unidad se corresponden con relieves bajos, mientras que valores entre 0.60 y 0.80 los relieves son fuertes y pendientes pronunciadas.

La relación de circularidad (Rd), es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca:

$$Rd = 4\pi A/P^2$$

Los resultados obtenidos pueden verse en la Tabla 5, presentada a continuación.

Parámetro	Determinación por	Valor	Observaciones
Área	Medición directa	224.20 Km ²	Cuenca pequeña
Perímetro	Medición directa	73.00 Km	
Longitud	Medición directa	24.00 Km	
Ancho	Relación Área/Longitud	9.34 Km	
K	Índice de Gravelius	1.37	K>1: Forma alargada
Rf	Factor de forma de Horton	0.39	Rectangular –Cuadrada con salida lateral
Re	Fórmula de la Relación de Elongación	0.70	Relieve de fuertes pendientes
Rd	Fórmula de la Relación de circularidad	0.53	Cuenca Alargada

Tabla 5. Parámetros físicos obtenidos

6. *Relieve y altitud de la cuenca*

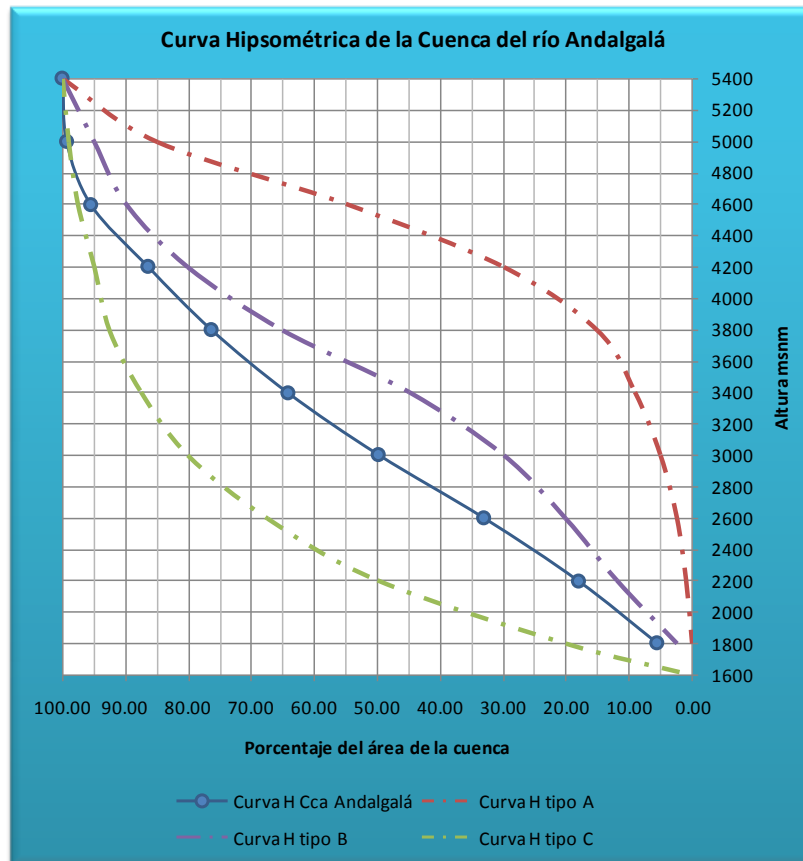
Son factores muy importantes dado que ejercen una importante influencia sobre la respuesta hidrológica. De esta manera resulta que a mayores pendientes, corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes, y menor será el tiempo de concentración en la cuenca.

La altitud media de una cuenca tiene especial interés, sobre todo en las zonas montañosas, ya que permite obtener una idea de sus características climatológicas. La altura promedio está referida siempre al nivel del mar, puede ser encontrada usando una curva hipsométrica o un histograma de frecuencias altimétricas.

- Curva hipsométrica (Langbein, 1947): es la representación gráfica de la altura por unidad de superficie, en Km², o por porcentaje de superficie total de la cuenca.
- Histograma de frecuencias altimétricas: Es la representación de la superficie, en Km² o en porcentaje de superficie, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. El diagrama de barras, que puede ser obtenido también de los mismos datos de la curva hipsométrica, proporciona una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.

Ambos gráficos se obtuvieron a partir de la medición directa del área correspondiente entre un par de curvas de nivel, sobre el plano topográfico de la cuenca, luego se extrajeron los datos y se los tabuló en Excel, programa el cual fue empleado para confeccionar la curva hipsométrica y el histograma de

frecuencias. Según estos métodos la altura media de la cuenca del río Andalgalá es de 1200 y la altura más frecuente se encuentra entre 2800 y 3200 msnm. Además, de la curva hipsométrica, se puede observar que la cuenca bajo estudio se encuentra en un estado intermedio del ciclo de erosión, entre la fase de equilibrio y la de vejez (Figuras 20 y 21).



Intervalo de altura	% de área de la cuenca	% del área acumulado
5200-5600	0.64	100.00
4800-5200	3.89	99.36
4400-4800	8.93	95.47
4000-4400	10.17	86.54
3600-4000	12.11	76.37
3200-3600	14.43	64.26
2800-3200	16.79	49.84
2400-2800	14.97	33.05
2000-2400	12.37	18.08
1600-2000	5.71	5.71

Figura 20. Curva hipsométrica de la cuenca de estudio y las curvas características

Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo, fase de juventud; Curva B: es característica de una cuenca en equilibrio, fase de madurez; Curva C: típica de una cuenca sedimentaria, fase de vejez.

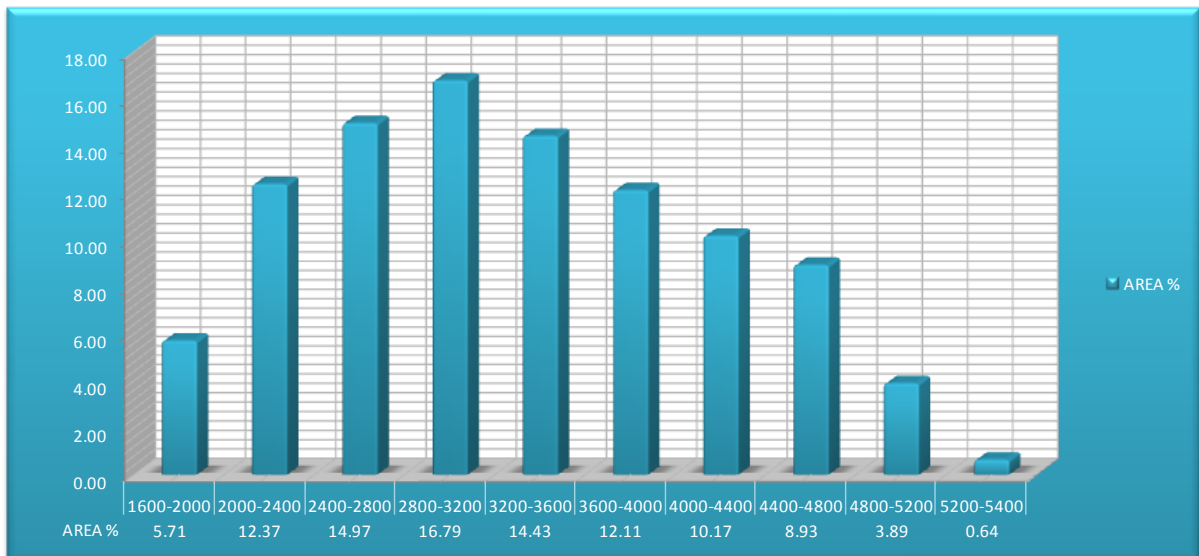


Figura 21. Histogramas de frecuencias altimétricas

La relación de relieve (R_r) es la función de la longitud de la cuenca (L) en relación con la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h):

$$R_r = h/L$$

La pendiente media de una cuenca (S) tiene variados métodos de determinación. El que se utilizó en este estudio es el criterio de Alvord, a partir del cual se integran las pendientes de fajas de la cuenca, conformadas por un área limitada por líneas intermedias, o dos curvas de nivel, consecutivas. Como se muestra en la Figura 22, donde se ejemplifica el caso de una faja intermedia.

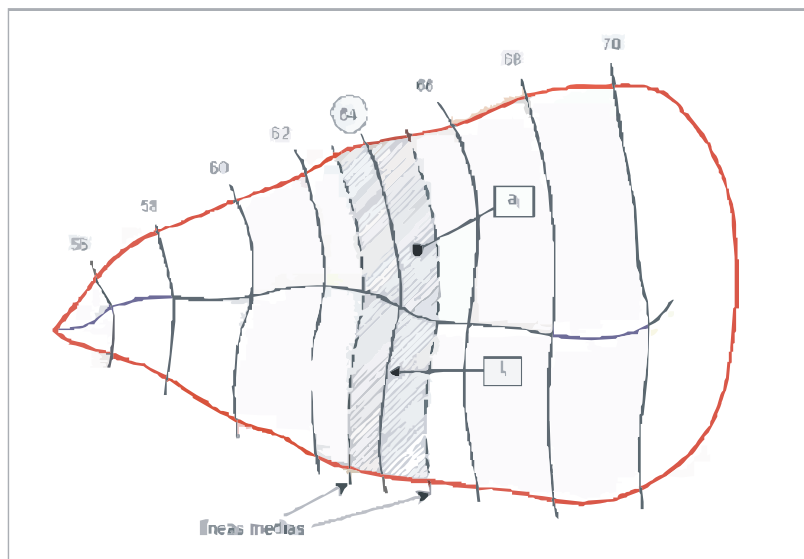


Figura 22. Esquema del criterio de Alvord para determinar la pendiente media

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

Conociendo el área de cada faja (a_i), la longitud de la curva de nivel (l_i) intermedia y el desnivel entre los límites de la faja (D), se puede obtener la pendiente de esa faja (S_i) con la siguiente fórmula:

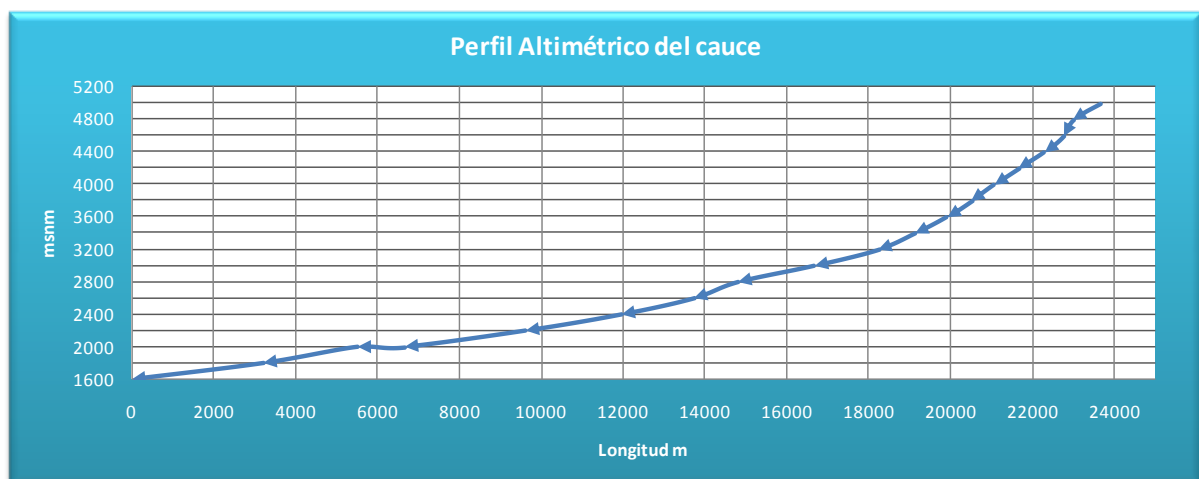
$$S_i = D/W_i \text{ siendo } W_i = a_i/l_i$$

La pendiente media de la cuenca será entonces:

$$S = \Sigma D*L/A$$

En Mapa 3 se encuentran los resultados de la determinación de pendiente media por el criterio de Alvord, la cual resultó de **70,81%**.

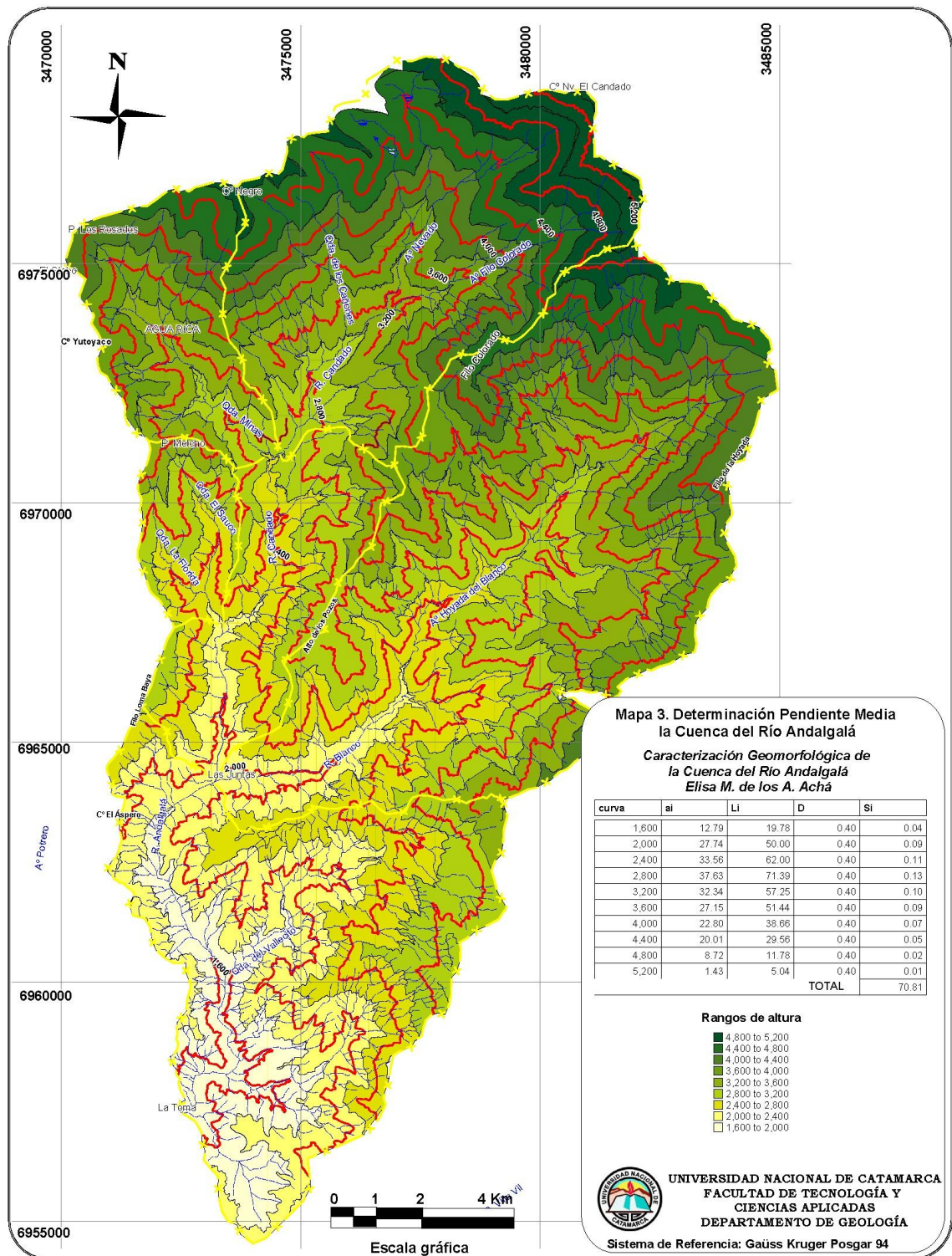
El perfil altimétrico del cauce principal es el gráfico de altura en función de la longitud del río principal. Conociendo el perfil se pueden inferir rasgos generales de la respuesta hidrológica, como ser la variación del caudal con el tiempo.



msnm	Distancia entre Curvas (m)	Distancia Acumulada (m)	msnm	Distancia entre Curvas (m)	Distancia Acumulada (m)
1600	0	0	3200	1580	18228
1800	3210	3210	3400	900	19128
2000	2299	5509	3600	760	19888
2000	1149	6658	3800	610	20498
2200	2940	9598	4000	550	21048
2400	2340	11938	4200	600	21648
2600	1780	13718	4400	620	22268
2800	1080	14798	4600	470	22738
3000	1850	16648	4800	240	22978
3200	1580	18228	5000	680	23658

Figura 24. Perfil altimétrico del cauce principal

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Mapa 3. Determinación de las pendientes intermedias y pendiente media

La pendiente del cauce principal se obtiene a partir de la diferencia en elevación entre el punto más alto y el punto más bajo del perfil del río por la longitud del mismo, entre los dos puntos mencionados.

$$Sc = \frac{h \text{ máx} - h \text{ mín}}{L} * 100$$

Resultando la pendiente del cauce principal de la cuenca $Sc = 15,22\%$

La orientación de la cuenca, según Llamas (1993), es su dirección geográfica según la resultante de la pendiente general. La orientación de la cuenca del río Andalgalá es NNE-SSW. A causa de ello es que cuenta con mayor porcentaje de laderas umbrías (>50 %), las que poseen mínima exposición solar, favoreciendo la retención de la humedad. Es en estos sectores donde hay mayor desarrollo del suelo edáfico y, por ende, mayor cubierta vegetal.

b. Características de la red de drenaje

Existen ciertos parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje y el modelo de la red de drenajes resultante, en la escorrentía superficial directa.

1. Orden de la cuenca (modelo de Strahler, 1964).

Las redes de drenaje pueden ser modeladas o representadas como árboles, conformados por un conjunto de segmentos de diferente jerarquía. Los cauces más pequeños, que no tienen ningún tributario, ubicados en las nacientes de la cuenca, correspondería a segmentos de primer orden; a su vez, cuando se unen dos canales de primer orden, conforman un cauce de segundo orden; y la unión de dos canales de segundo orden, conforman un cauce de tercer orden; y así sucesivamente. Finalmente el orden de la cuenca es el valor del cauce de mayor orden.

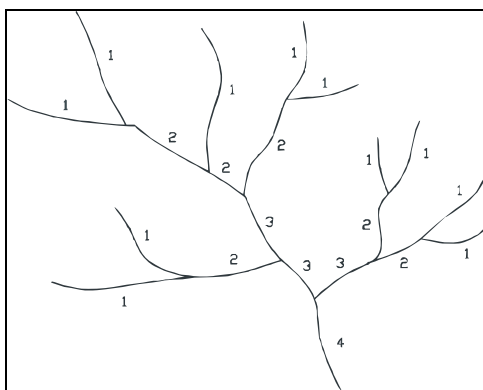


Figura 25. Determinación gráfica del orden de la cuenca, según Strahler (1964)

Para la determinación del orden de corrientes se empleó la red hidrográfica, previamente graficada sobre la imagen satelital, a escala 1:25000, a partir del software Mapinfo. Se le designó el orden correspondiente a los cauces y se obtuvo un mapa temático, el Mapa 4, donde se observa que los cauces de orden 1 presentan una gráfica de línea más delgada, y a medida que crece el orden, la

misma va engrosándose. El orden de la cuenca del río Andalgalá, a la escala de trabajo, resultó 5.

2. *Relación de bifurcación R_b (Horton, 1945)*

Es la relación entre el número de canales de un orden dado (N_n) y el número de canales del orden inmediatamente superior (N_{n+1}).

$$R_b = N_n / N_{n+1}$$

R_b generalmente varía entre 3 y 5, y los valores más altos son esperados en regiones montañosas y rocosas o en cuencas alargadas en la dirección del río principal o de mayor orden. A su vez los altos valores de R_b se encuentran en cuencas de bajos caudales pico, conformando un hidrograma tendido.

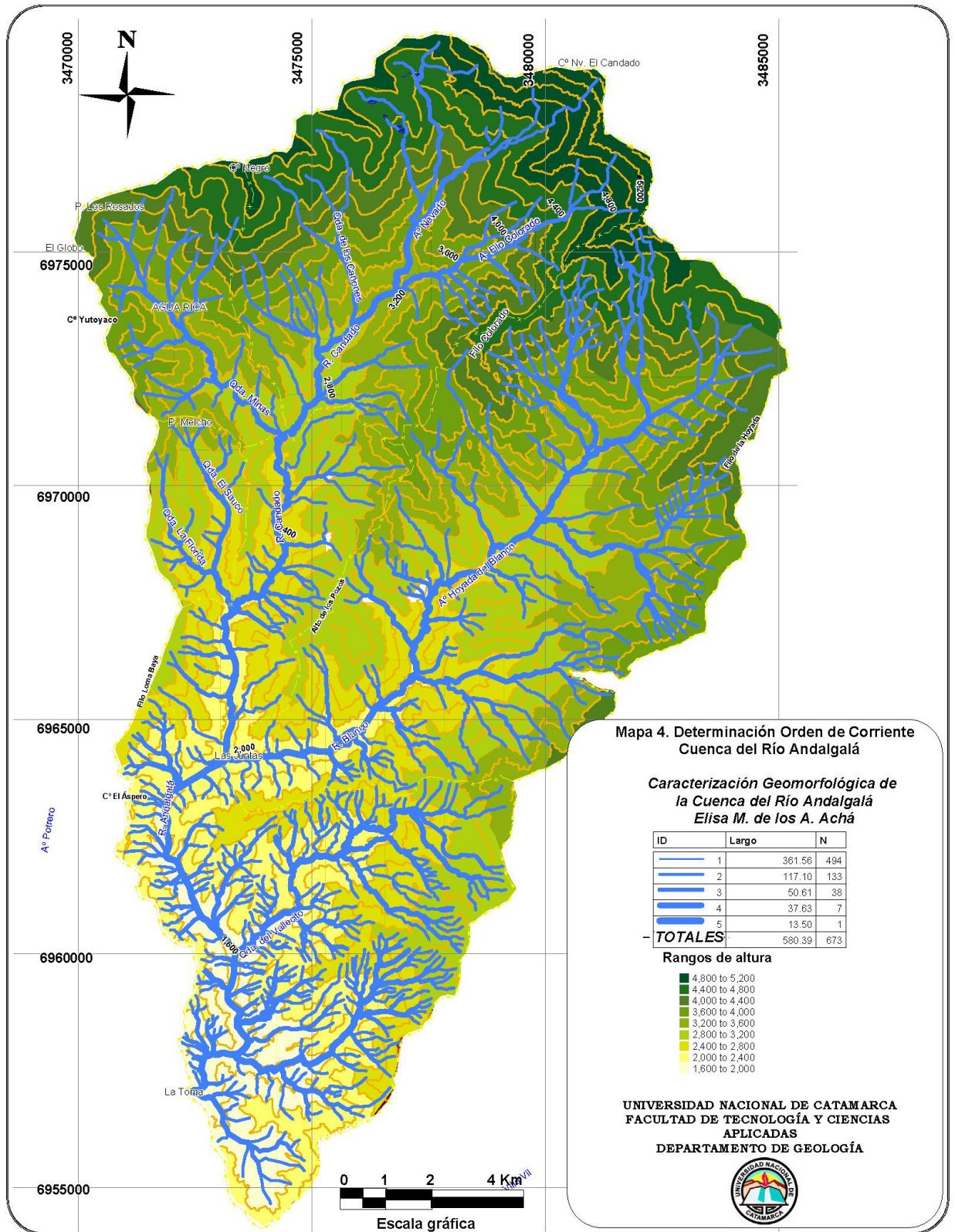
Este parámetro, de la misma manera que para el orden de la cuenca, se empleó el software Mapinfo, a partir del cual se pudo determinar la cantidad de cauces por orden. De esta manera R_b resultó 4.91, lo que indica que predomina el relieve montañoso.

3. *Densidad de drenaje*

Esta característica es un importante indicador del clima, y se define como el cociente adimensional, entre la longitud total de las corrientes de la cuenca (L) y la superficie de ésta (A):

$$D = \Sigma L_i / A$$

En general, las cuencas de escasa densidad de drenaje se encuentran en áreas de elevada permeabilidad o geología resistente, bajo cubierta vegetativa densa y sobre relieves suaves. Por el contrario, cuando la densidad es elevada, la permeabilidad es alta o la geología menos resistente, vegetación escasa y relieve accidentado.



Mapa 4. Determinación gráfica del orden de corrientes de la cuenca del río Andalgalá, según el modelo de Strahler.

Monsalve (1999), refiere que es usual que D tome los siguientes valores: entre 0.5 km/km^2 para cuencas con drenaje pobre; hasta 3.5 km/km^2 para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

A su vez, los valores de D clasifican a la densidad en:

Baja: menor a 5 km/km^2

Media: $5.0 - 13.7 \text{ km/km}^2$

Alta: $13.7 - 155.3 \text{ km/km}^2$

Muy alta: mayor a 155.3 km/km^2

Resultando la densidad de drenaje de la cuenca $D = 2,60$.

Es decir que la cuenca es del tipo bien drenada y de densidad baja.

4. Constante de estabilidad del río

La constante de estabilidad del río (Schum, 1956), es el valor inverso de la densidad de drenaje:

$$C = A/L = 1/D * 20$$

Representa físicamente la superficie de cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal. Puede considerarse como una medida de la erodabilidad de la cuenca. Así, en regiones con suelo rocoso muy resistentes o muy permeables, con elevada capacidad de infiltración, o regiones con una densa cobertura vegetal, tienen valores altos de la constante de estabilidad y bajos de densidad de drenaje; por el contrario, una baja constante de estabilidad o elevada densidad de drenaje, es característico de cuencas con rocas débiles, escasa o nula vegetación y baja capacidad de infiltración del suelo.

Los rangos de valores van:

Baja: menores a 0.007

Media: entre 0.07 y 0.007

Alta: entre 0.2 y 0.07

Muy alta: mayores a 0.2

El valor obtenido es $C = 7,70$, es decir que la constante es muy alta.

5. *Diseño de drenaje*

El modelo de la red drenaje también es un parámetro interesante para la descripción de la cuenca. Se empleó la clasificación de Way (1978), la cual se basa en la densidad de corrientes, textura y forma, resultando 14 tipos de cuencas (Tabla 6):

Tabla 6


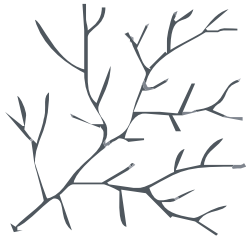


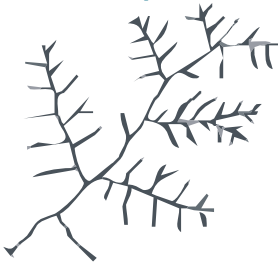
Diseño	Características
<p>1. Cuencas de textura fina</p> 	<p>Elevados niveles de escorrentía superficial Roca madre impermeable Suelos de baja permeabilidad</p>
<p>2. Cuencas de textura media</p> 	<p>Niveles intermedios de escorrentía y permeabilidad</p>
<p>3. Cuencas de textura gruesa</p> 	<p>Escorrentía superficial menor Roca más resistente pero más permeable Suelos elevada permeabilidad</p>
<p>4. Cuencas dendríticas</p> 	<p>Ramificación arborescente, los tributarios se unen al cauce principal formando ángulos agudos. Suelos homogéneos Rocas sedimentarias blandas, tobas volcánicas, depósitos glaciales y antiguas llanuras costeras</p>
<p>5. Cuencas pinnadas</p> 	<p>Cuencas dendríticas modificadas, con drenajes en forma de nerviación de hojas, los tributarios se unen formando ángulos casi rectos, que se agudizan aguas arriba. Indican elevado contenido de limo en el suelo. Típicas de zonas de loess o llanuras aluviales de textura fina</p>

Tabla 6

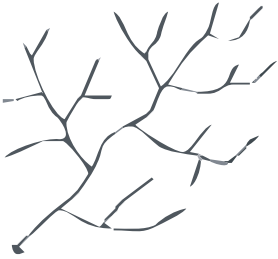





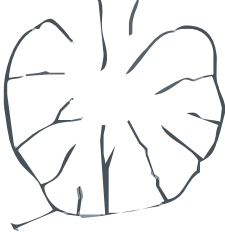

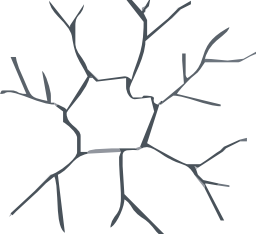
Diseño	Características
<p>6. Cuencas de drenaje rectangular</p> 	<p>Otra variante del tipo dendrítico, los tributarios se juntan con las corrientes principales en ángulos casi rectos y dan lugar a formas rectangulares controladas por las fracturas y las juntas de las rocas</p> <p>Patrón rectangular más claro, más fina es la textura del suelo</p> <p>Pizarras metamórficas, esquistos y gneis, areniscas resistentes en climas áridos, o areniscas de poco suelo en climas húmedos.</p>
<p>7. Cuencas de drenaje angulado</p> 	<p>También variante del drenaje dendrítico</p> <p>Las fallas, fracturas y contactos entre rocas de diferente naturaleza, favorecieron la modificación</p> <p>Curvas fuertes de ángulos grandes, aguas arriba</p> <p>Control litológico muy importante (ej.: en areniscas se desarrollan uniones paralelas, y en calizas, las uniones son muy agudas).</p>
<p>8. Cuencas de drenaje enrejado</p> 	<p>Tributarios y pequeños arroyos paralelos, se unen en ángulos rectos.</p> <p>Control estructural predominante (pliegues, fracturas, diaclasas, etc.)</p>
<p>9. Cuencas de drenaje barbado</p> 	<p>Resultante de la modificación de otras formas de drenaje, por alabeos o cambios topográficos.</p> <p>Elevado grado de fracturación de la roca</p>
<p>10. Cuencas de drenaje desordenado</p> 	<p>Sistemas no integrados, formas de suelo jóvenes, topografía llana o suave</p> <p>Elevado nivel freático</p> <p>Depresiones, como zonas pantanosas, lagunas, etc.</p> <p>Llanuras jóvenes, al final de morrenas y en llanuras aluviales.</p>

Tabla 6

Diseño	Características
<p>11. Cuencas de drenaje paralelo</p> 	<p>Zonas homogéneas Pendientes uniformes y suaves, donde las corrientes principales evidencian fallas o fracturas Tributarios forman ángulos iguales Llanuras costeras y de grandes afloramientos basálticos</p>
<p>12. Cuencas de drenaje radial o centrífugo</p> 	<p>Red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado Corriente colectora principal que circula alrededor de la base de la elevación topográfica Típico de volcanes y cerros aislados</p>
<p>13. Cuencas de drenaje anular</p> 	<p>Similar al drenaje radial, pero los contactos o fracturas de la roca forman tributarios paralelos concéntricos Típicos de cerros de roca granítica o domos sedimentarios</p>
<p>14. Cuencas de drenaje centrípeto</p> 	<p>Variante inversa del sistema radial El drenaje se dirige hacia un punto central, que es una depresión como el centro de anticlinales o sinclinales erosionados</p>

La manera de determinar esta característica es simplemente comparando el diseño resultante de la red hidrográfica, previamente graficada sobre la imagen satelital, a escala 1:25000, a partir del software Mapinfo (Mapa 5).

A grandes rasgos, la cuenca del río Andalgalá, coincide con el modelo de drenaje angulado (Tabla 16, tipo 7), originalmente dendrítica y posteriormente modificada por el avance de los procesos erosivos, los cuales fueron condicionados por la litología y la estructura de la roca.

Subcuenca del río Candado: en sus nacientes los cursos conforman un modelo angular debido a las geofomas glaciares y depósitos fluvioglaciares. Algunas

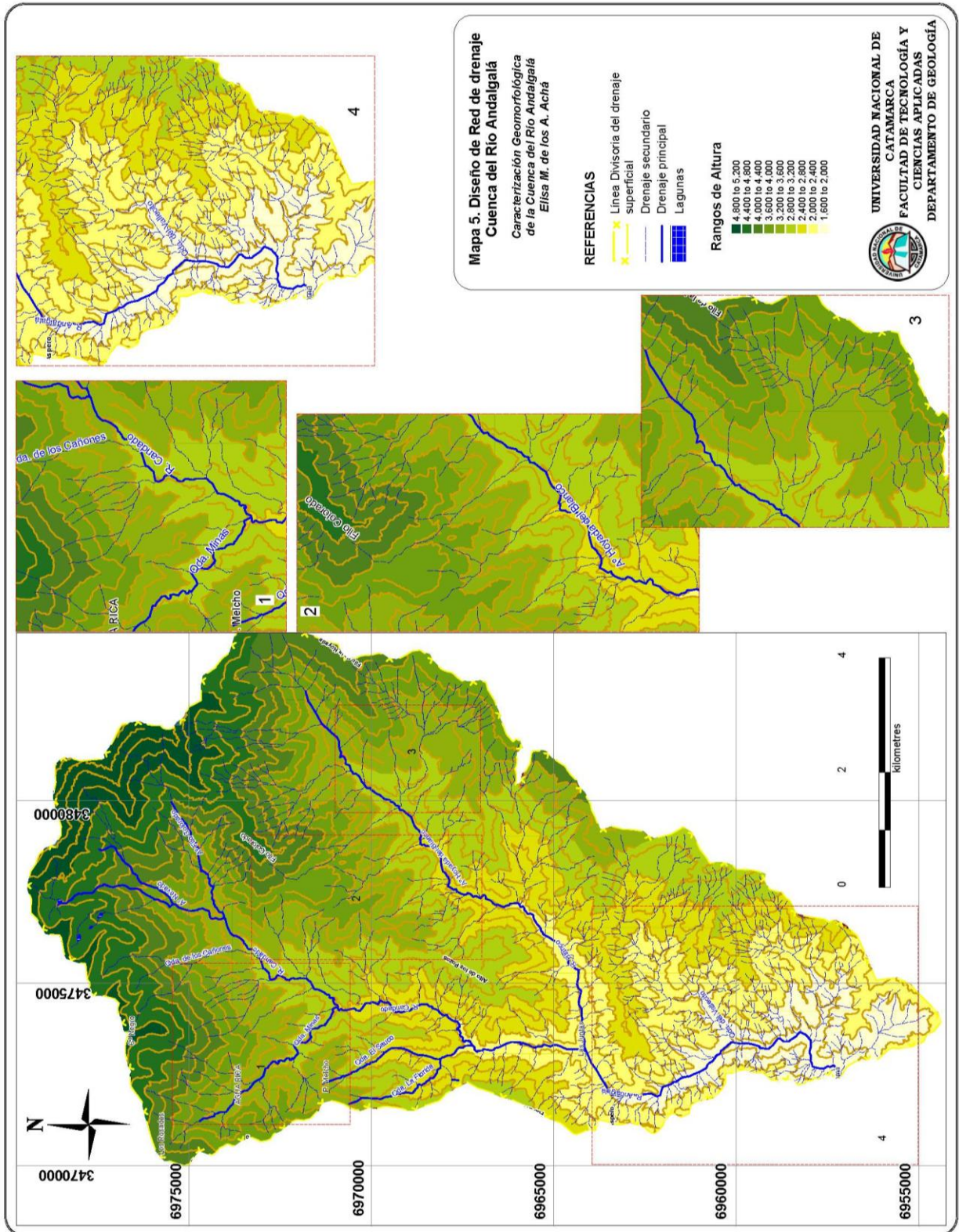
laderas son planas y de pendiente elevada, los drenajes son rectos, formando un modelo paralelo angular (Mapa 5, cuadro 1). En los sitios de los yacimientos de Agua Rica y Filo Colorado, el cambio en el drenaje local es evidente y el mismo es causado por la litología y mineralogía resultante de las alteraciones hidrotermales que le otorgan mayor o menor resistencia, por ejemplo, en Quebrada Alumbraera y Filo Amarillo, el drenaje se encuentra más desarrollado debido al tipo de alteración argílica que domina esos sectores, que en Quebrada Seca o Filo Colorado, donde el drenaje solo se desarrolla por las fracturas de la roca (Mapa 5, cuadro 2).

El mayor desarrollo de drenaje también se debe a la presencia de una cubierta de sedimentos cuaternarios semiconsolidados o no consolidados, ya que son fácilmente erodables.

Subcuenca del río Blanco (Mapa 5, cuadro 3): mayormente presenta un modelo semi paralelo. La vertiente Norte se encuentra dominada por el control estructural de fallas perpendiculares al rumbo de la cuenca. Son bloques fracturados y basculados del macizo rocoso. Mientras que su vertiente Sur presenta un modelo desordenado, que combina tipos dendríticos con angulares.

Sector Sur de la cuenca del río Andalgalá (Mapa 5, cuadro 4): ubicada desde la confluencia del Candado con el Blanco, hasta La Toma. Domina el modelo dendrítico. En las nacientes de Qda. del Vallecito, es el único lugar donde el modelo se modifica, presentándose angular, debido a la presencia de una cubierta de sedimentos más blandos que el entorno general.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



6. *Tiempo de concentración de una cuenca. Fórmula de Kirpich*

Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, todo el sistema contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. También se denomina tiempo de respuesta o de equilibrio. El tiempo de concentración sería el que se toma una partícula de agua caída en el punto de la cuenca más alejado a la salida en llegar a ésta. Sin embargo hay que tener en cuenta que existen puntos dentro de la cuenca desde los cuales el agua puede demorar más que aquellos ubicados a mayor distancia del punto de salida, como así también que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante, ya que dependen ligeramente de la intensidad de las precipitaciones.

Uno de los métodos empíricos aplicados a su determinación es el empleo de la fórmula de Kirpich, la cual calcula el tiempo de concentración (T_c) en minutos, según la expresión:

$$T_c = 0.01947 L^{0.77} * S^{-0.385} * 32$$

Por lo tanto el T_c resulta $T_c=2988,43 \text{ m} = 49,80 \text{ h} = 2 \text{ días } 18 \text{ h.}$

c. Cantidad de agua superficial

1. *Ordenamiento y tratamiento de datos*

Se trabajó con datos de caudales obtenidos a partir del monitoreo mensual que Minera Agua Rica ejecuta desde 1996. Los caudales medidos abarcan el período de Junio de 1996 a Junio de 2007, calculados en base a mediciones de frecuencia diaria, de los sitios monitoreados (Mapa 6), según el detalle de la tabla 7.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

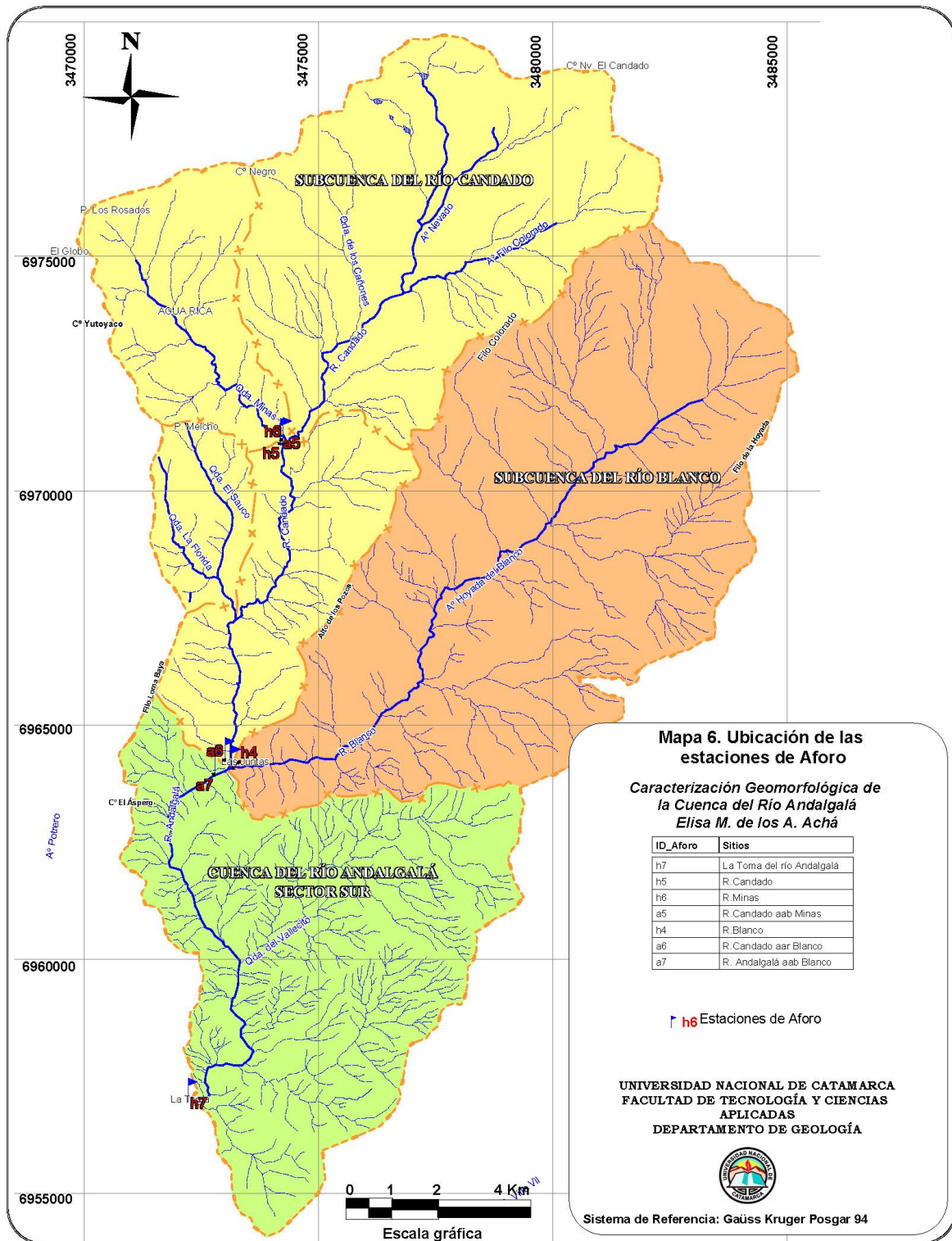
Tabla 7. Detalle de la información procesada y de los años con datos faltantes.
Las abreviaturas “aar” y “aab” se refiere a la posición del punto de aforo “aguas arriba” y “aguas abajo”, respectivamente.

Sitio de monitoreo	Período de medición	Datos faltantes	Caudal promedio m3/s	Caudal máximo Fecha	Caudal mínimo Fecha
Río Candado aar A° Minas Coord. GK POSGAR 94 Y: 6970701 X: 3474198	Ene-1996 a Jun-2007	1996: Enero, Febrero, Abril 1997: Enero, Febrero 2000: Enero a Abril 2001: Febrero a Abril 2002: Enero a Marzo 2003: Enero a Marzo, Junio y Diciembre 2005: Febrero, Mayo, Julio, Agosto, Octubre y Diciembre 2006: Enero, Febrero, Abril, Mayo y Julio 2007: Enero y Febrero	0.237	1.202 Marzo 1997	0.000 Octubre 1999 Agosto 2000 Septiembre 2005
A° Minas Coord. GK POSGAR 94 Y: 6970723 X: 3474238	Ene-1996 a Jun-2007	1996: Enero, Abril 1997: Febrero 2000: Enero a Abril 2001: Febrero a Abril 2002: Enero a Marzo 2003: Enero a Marzo, Junio, Noviembre y Diciembre 2004: Enero a Junio, Agosto, Octubre y Diciembre 2005: Enero, Febrero, Abril, Mayo, Julio, Agosto, Octubre y Diciembre 2006: Enero, Abril, Mayo y Julio 2007: Enero y Abril	0.058	0.261 Enero 1997	0.000 Octubre 2003
Río Candado aab A° Minas Coord. GK POSGAR 94 Y: 6970701 X: 3474198	Enero 1996 a Junio 2007	1996: Enero a Mayo 1997: Enero y Febrero 2000: Enero a Mayo 2001: Octubre a Diciembre 2003: Enero a Marzo, Junio y Diciembre 2004: Enero a Junio, Agosto, Octubre y Diciembre 2005: Febrero, Abril, Mayo, Julio, Agosto, Octubre y Diciembre 2006: Enero, Abril, Mayo, Julio 2007: Enero y Abril	0.304	1.718 Marzo 2008	0.058 Septiembre 2004
Río Candado aar Río Blanco Coord. GK POSGAR 94 Y: 6963908 X: 3473020	Enero 1996 a Diciembre 2005	1996: Enero a Mayo 1997: Febrero y Julio 1999: Marzo, Julio, Septiembre a Diciembre 2000: año completo sin registro 2001: año completo sin registro 2002: año completo sin registro 2003: año completo sin registro 2004: Enero, Febrero, Abril, Mayo, Agosto, Octubre a Diciembre 2005: Enero, Febrero, Abril, Mayo, Julio, Agosto, Octubre a Diciembre	0.311	0.764 Marzo 1997	0.000 Septiembre 2005

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá,
provincia de Catamarca.*

Sitio de monitoreo	Período de medición	Datos faltantes	Caudal promedio m ³ /s	Caudal máximo Fecha	Caudal mínimo Fecha
Río Blanco Coord. GK POSGAR 94 Y: 6963737 X: 3473157	Enero 1996 a Diciembre 2005	1996: Enero, Febrero y Abril 1997: Enero y Febrero 2000: Enero a Abril 2001: Febrero a Abril 2002: Enero a Marzo 2003: Enero a Marzo y Junio 2004: Enero a Junio, Agosto, Octubre, Diciembre 2005: Febrero, Abril, Mayo, Julio, Agosto, Octubre a Diciembre	0.230	1.202 Marzo 1997	0.000 Octubre 1999 Agosto 2000
Río Andalgalá aab Río Blanco Coord. GK POSGAR 94 Y: 6963662 X: 3472793	Enero 1996 a Junio 2007	1996: Enero a Mayo 1997: Febrero y Julio 1999: Marzo, Julio, Septiembre a Diciembre 2000: año completo sin registro 2001: año completo sin registro 2002: año completo sin registro 2003: año completo sin registro 2004: Enero, Febrero, Abril, Junio, Agosto, Octubre, Diciembre 2005: Enero a Mayo, Julio, Agosto, Octubre, Diciembre 2006: Febrero, Abril, Junio, Julio	0.468	2.467 Marzo 1997	0.000 Junio 1999
Río Andalgalá en La Toma Coord. GK POSGAR 94 Y: 6956660 X: 3472231	Enero 1996 a Junio 2007	1996: Enero a Mayo 1997: Enero 2000: Enero 2003: Agosto y Diciembre 2004: Diciembre 2005: Enero, Marzo, Junio, Noviembre y Diciembre 2006: Febrero, Diciembre	0.762	26.923 Mayo 1999	0.000 Diciembre 2001 Septiembre 2002

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Mapa 6. Ubicación de las estaciones de aforo dentro de la cuenca

De este detalle se puede visualizar que la información registrada es parcial, con faltantes importantes de mediciones mensuales y anuales. De igual manera estos datos fueron tabulados y ordenados en planillas Excell, proceso durante el cual se verificó su consistencia, se obtuvieron los valores promedios, máximos y mínimos;

y a partir de ellos se confeccionaron hidrogramas de promedios mensuales, comparados con las precipitaciones mensuales promedio de la estación meteorológica más cercana, y de promedios anuales, de máximos y mínimos. En el Anexo III se encuentran las tablas de los datos completos, con sus respectivos gráficos.

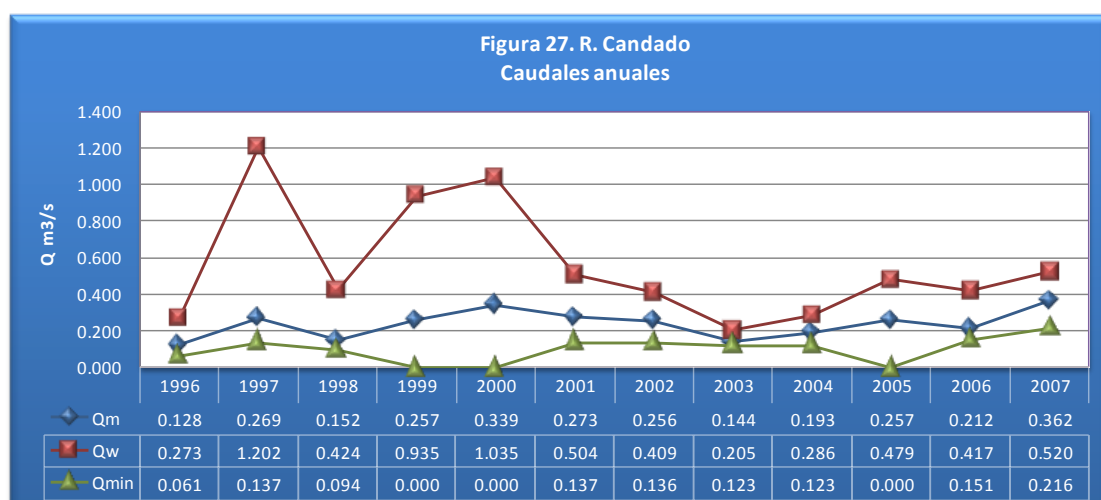
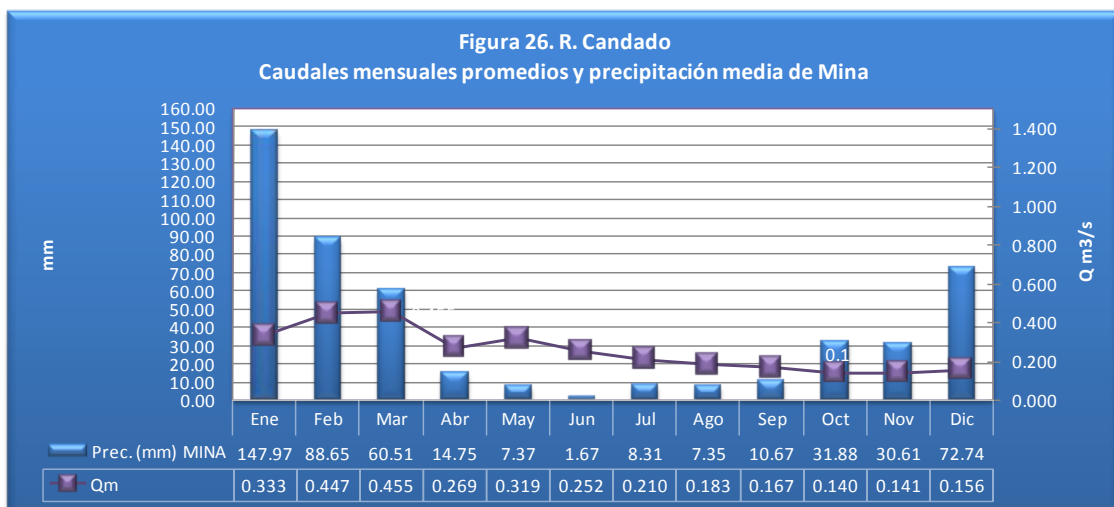
2. Representación gráfica e interpretación

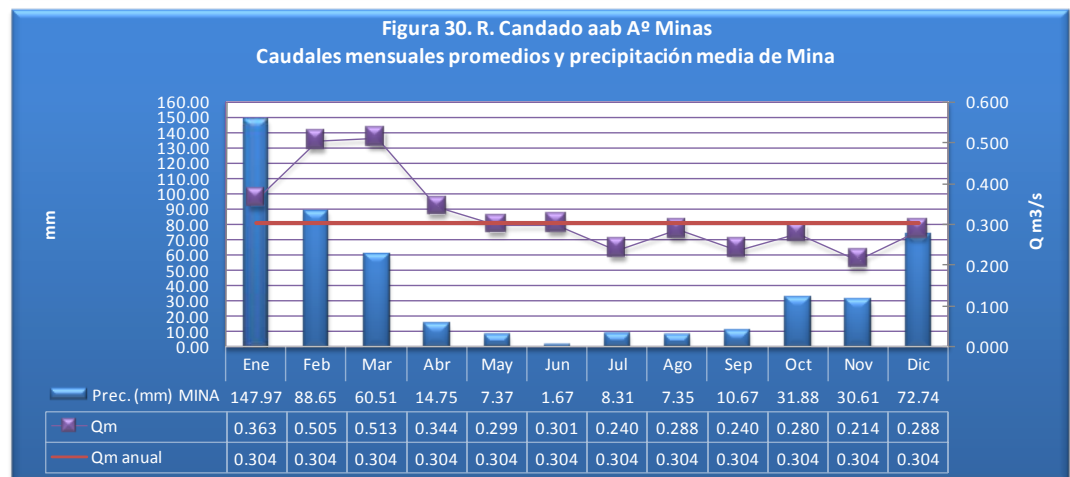
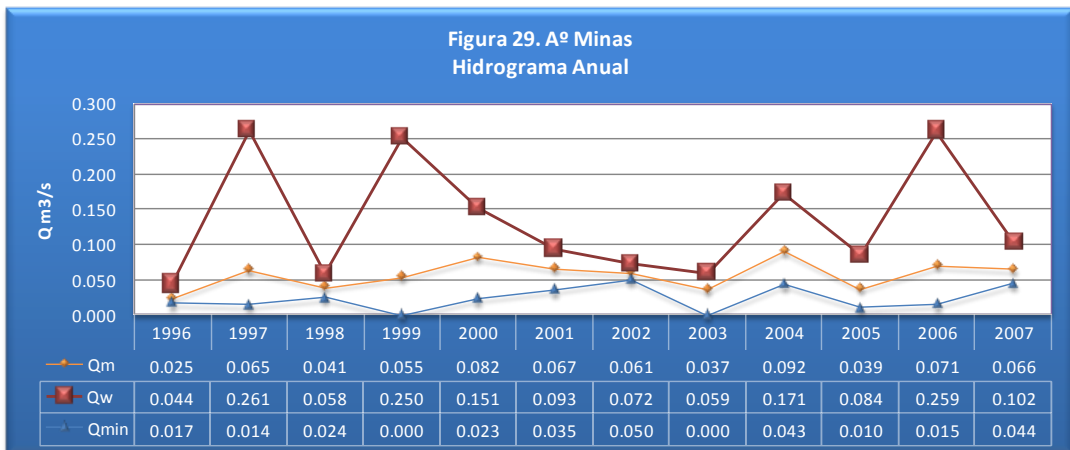
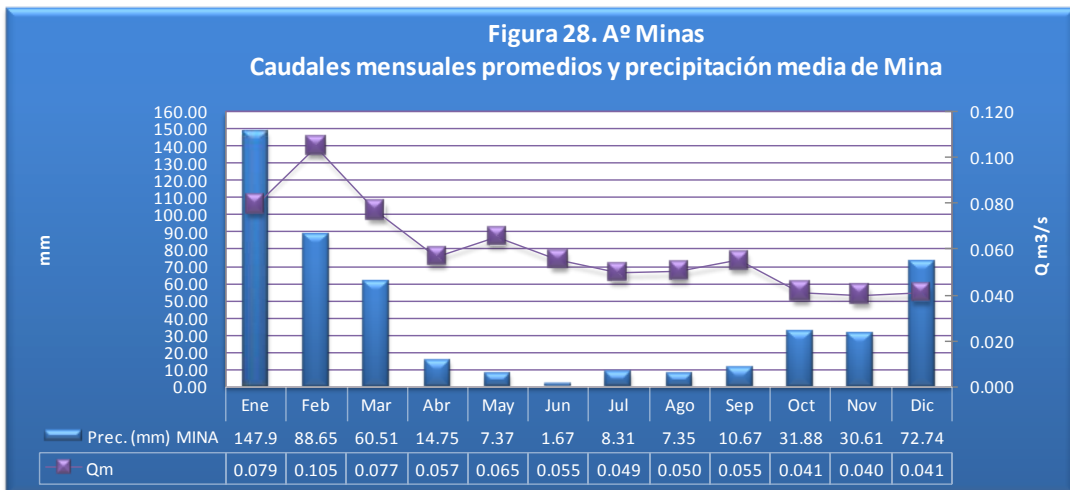
A continuación se presentan los gráficos obtenidos (Figuras 26 a 39). A partir de los mismos se pudo interpretar los siguientes casos:

1. De los hidrogramas de caudales promedios mensuales de las estaciones de aforo de la cuenca (Figuras 26, 28, 30, 32, 33, 35 y 36), se puede observar que todos se comportan similarmente: muestran un pico máximo durante el primer trimestre del año y luego disminuyen paulatinamente. La diferencia máxima entre las estaciones, radica en que las que se encuentran más cercanas a la salida de la subcuenca poseen mayor caudal que las más alejadas, lo cual se encuentra representado por la línea de tendencia de la Figura 38; esto lógicamente se debe al aporte de los cursos afluentes menores. En el caso de los puntos que se encuentran fuera de la línea de tendencia, éstos no se consideraron dentro de la misma debido a que corresponden a afluentes mayores, con orientaciones diferentes al cauce principal. La comparación con los promedios de agua precipitada en las estaciones meteorológicas más cercanas, permite observar un desfase de respuesta entre las lluvias máximas respecto a los caudales máximos del año, mostrando una respuesta tardía de precipitación-escorrentía. Ello puede deberse a que existiría otro proceso que aporta agua a los cauces, como por ejemplo alimentación de aguas subterránea, lo cual es común en este tipo de corrientes perennes efluentes. La consistencia de los datos, desarrollada en el título G, descarta la posibilidad de un error de medición, como así también el cálculo del Tiempo de concentración, de 2 días y 18 horas (ver H.e.3 Tiempo de concentración de una cuenca. Fórmula de Kirpich), aleja la consideración de que la respuesta tardía sea debido a este factor.
2. De los hidrogramas anuales con datos completos, los únicos considerados (Figuras 27, 29, 31, 34 y 37) se puede observar que en

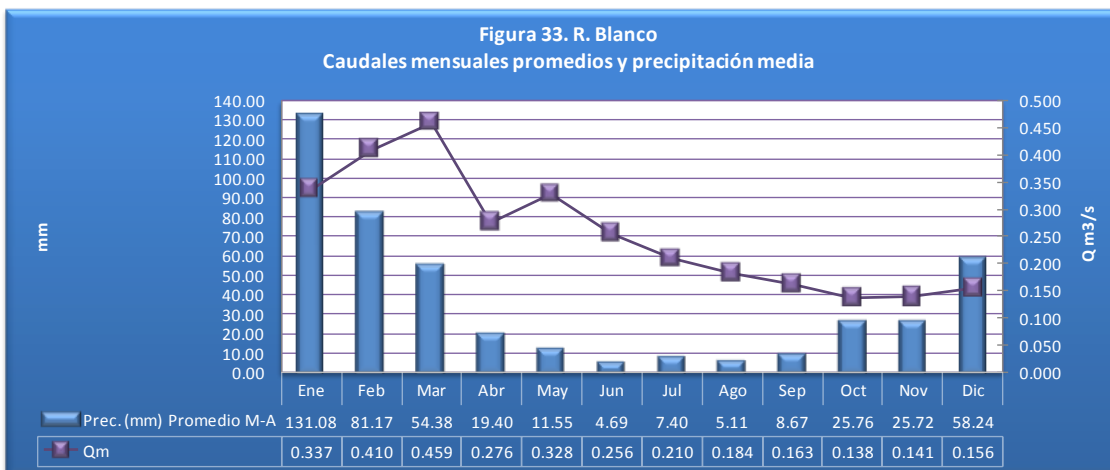
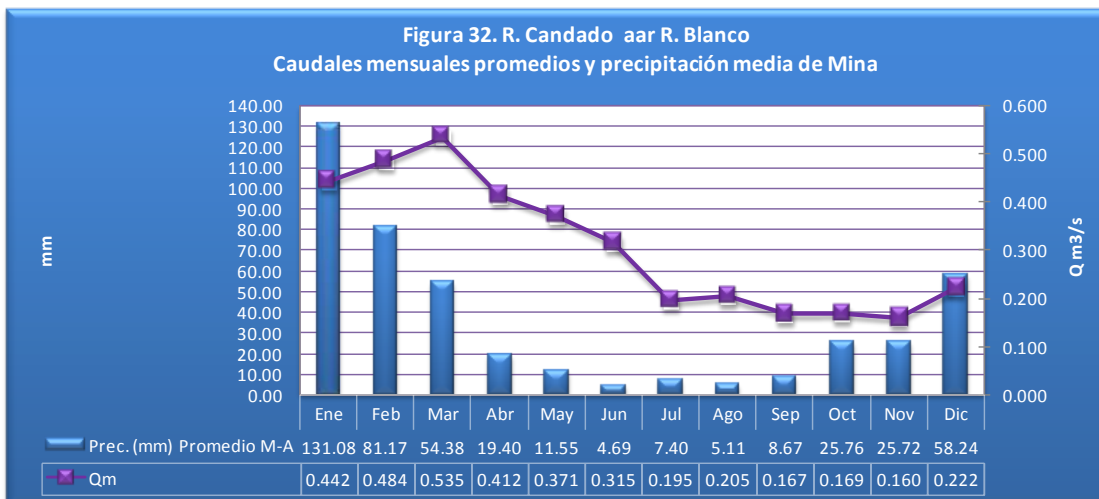
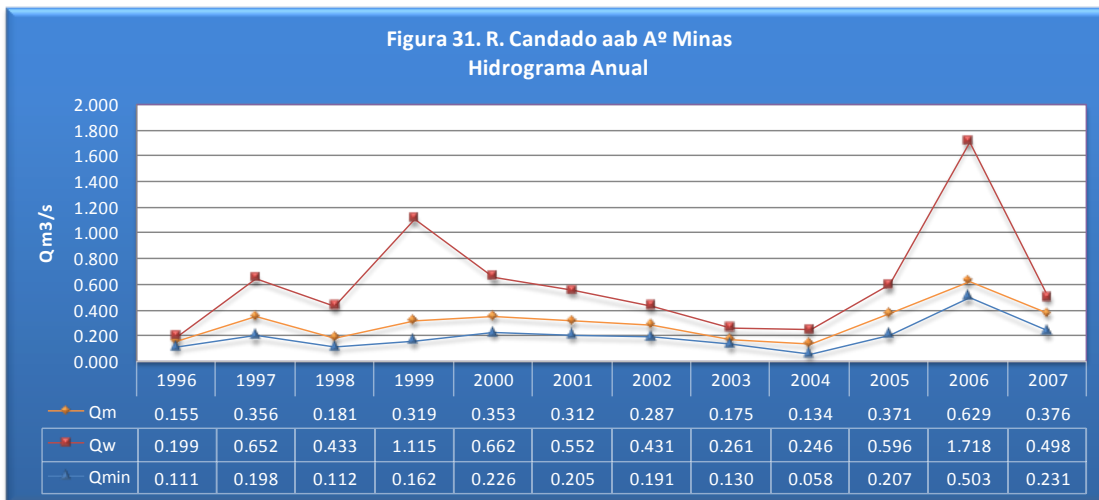
todos los puntos de aforo los eventos de crecida coinciden en el año 1997, excepto en el 2006 en el punto de aforo “Río Candado aab del A° Minas”, ya que, si bien coincide con un evento de crecida para el A° Minas (Figura 30), muestra un caudal muy alto (1.718 m³/s) en relación al aporte del mismo (0.259 m³/s), mientras que para el Río Candado, no se registró un evento de crecida de tal magnitud que indique contribución desde este cauce (0.400 m³/s). Esta diferencia importante puede atribuirse a un probable error de medición y/o procesamiento de datos.

- Al igual que en el caso de la variación de caudal a lo largo del año, se puede observar que el caudal del Río Andalgalá en La Toma supera ampliamente al de los otros puntos de aforo. Esto último es más fácil de visualizar en la Figura 39, donde además se puede ver que los ríos Candado y Blanco, ambos antes de su confluencia con cursos afluentes, se comportan idénticamente.

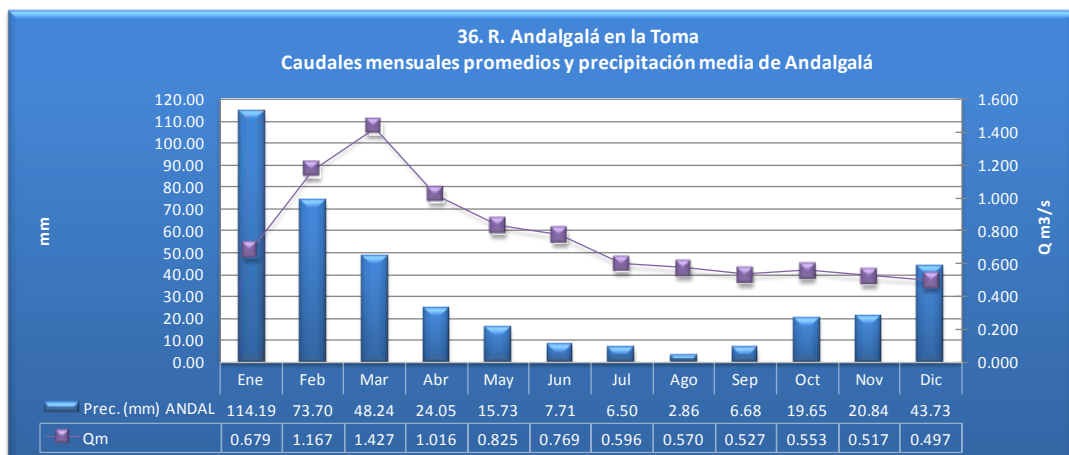
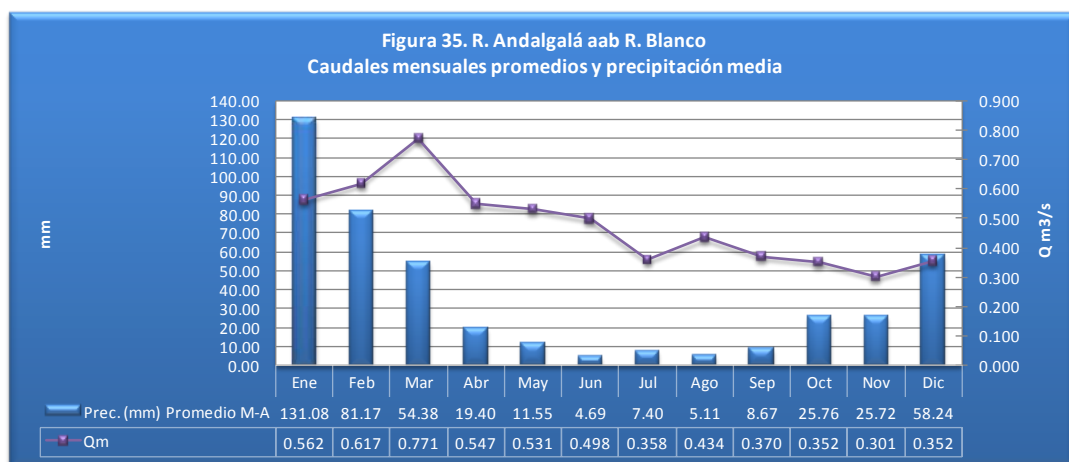
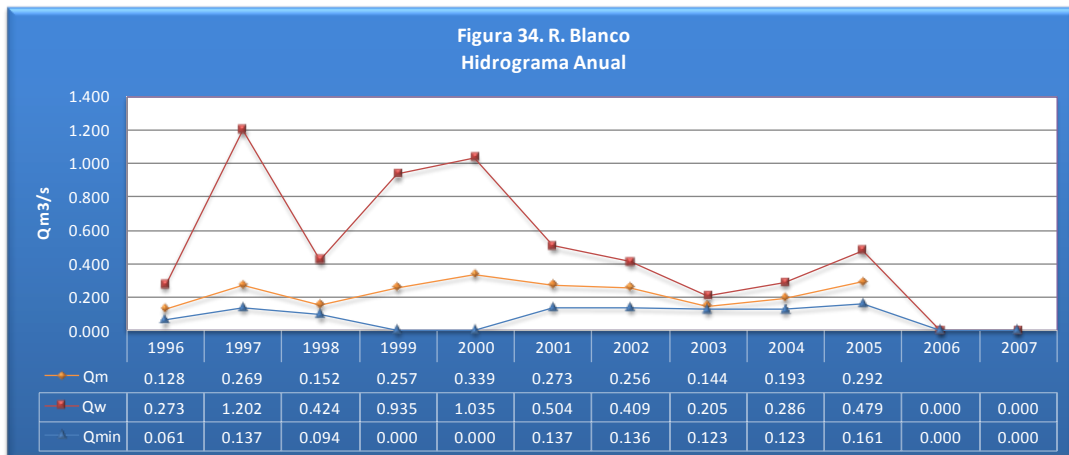




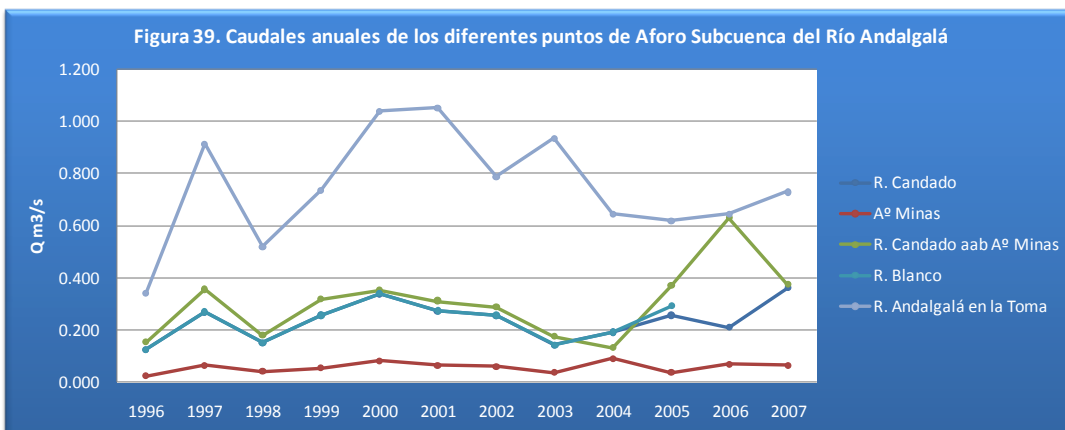
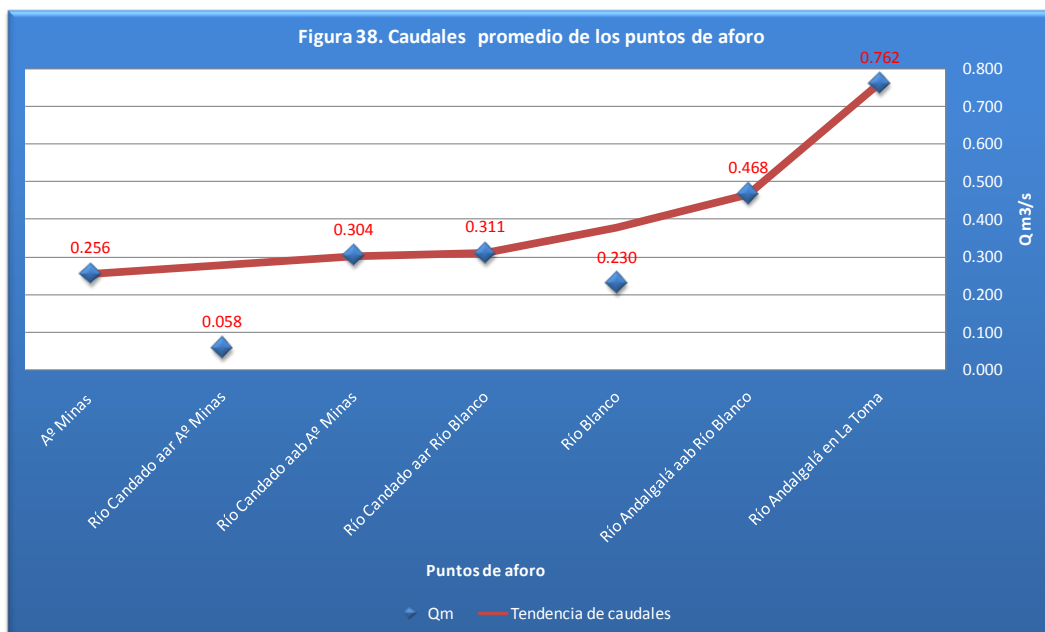
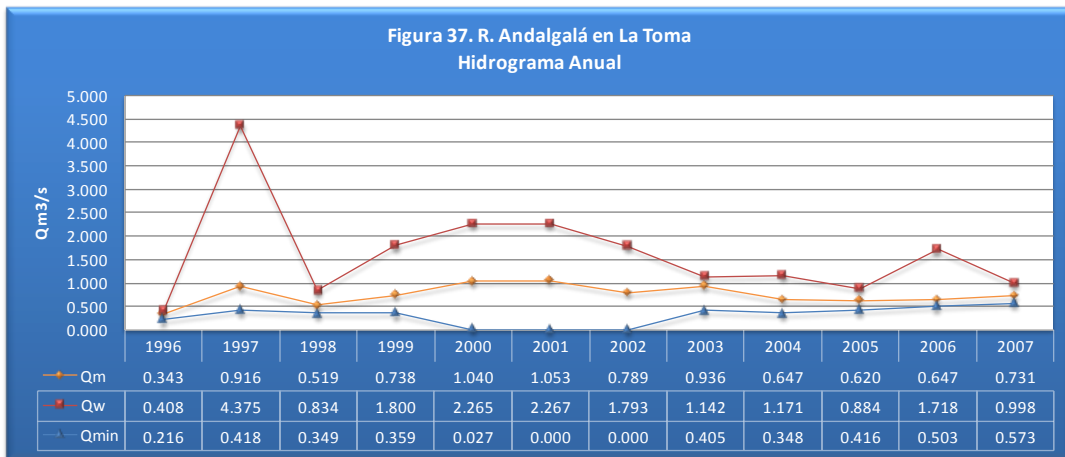
Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



3. Estimación del caudal disponible

El agua llega a la cuenca a través de la precipitación y, luego de pasar por una serie de fenómenos, como infiltración, escorrentía, evapotranspiración, etc., finalmente se genera un caudal de escurrimiento superficial, cuya magnitud depende de las características topográficas, geomorfológicas, geológicas, edafológicas y de vegetación. El caudal disponible, es estimado a partir de la relación de todos estos aspectos para determinado caudal, y cuya relación fue desarrollada por Seyhan (1976)¹⁴, mediante ecuaciones en cuencas de distintos países y de diferentes características, las cuales pueden observarse en la siguiente tabla (Tabla 8), donde las filas en celeste corresponde a las ecuaciones a aplicar para la Cuenca del río Andalgalá. Utilizando los caudales obtenidos, se pueden conocer, de forma cuantitativa la real disponibilidad de agua existente.

Tabla 8. Fórmulas de Seyhan (1976)

Área de la cuenca	Ecuaciones
A < 1 Km²	$Q_{2,33} = -0,145 + 0,230 (T) - 22,8 (H_m) + 2,03(A) + 2,21(r_Q)$ $Q_{10} = -0,602 + 0,611 (T) - 64,2 (H_m) + 7,14(A) + 28,5(S_o)$ $Q_0 = -2,17 + 21,5 (S_a) + 3,68 (L_{ca}) - 11,1(r_Q)$ $Q_w = -2,60 + 5,56(A) + 5,98(r_Q) + 23,4(P_Q) - 0,356(A_2) + 2,94(L_{ca})$
1 Km² < A < 20 Km²	$Q_{2,33} = 12,4 - 28,3 (S_T) + 0,729 (A) - 16,7(r_Q) - 0,707 (D)$ $Q_{10} = 11,5 - 245 (S_o) + 90 (S_B) + 0,715(A)$ $Q_0 = -33,7 + 188 (r_Q) + 11,7 (A) + 3,58(A_L) - 32,7 (L_{ca}) + 41,8 (\hat{H}) - 210 (S_B) + 0,707 (A_g) - 46,9 (H_m) - 65,9 (R_e)$ $Q_m = 50,5 + 385(H_m) + 47,1(A) - 74,3(L_b) + 216(\hat{H}) - 26,4(A_L) - 572(S_B)$
A > 20 Km²	$Q_{2,33} = -120 + 0,246 (T) + 1,041 (P_d) + 214 (P_w) + 100(R_e) - 7,27(A_1) - 398(S_s) + 189(S_T)$ $Q_{10} = -94,8 + 0,191(T) + 2,777(P_d) + 256(P_w) + 0,293(A) - 909(S_o) + 331(S_T) - 12,4(A_1)$ $Q_m = -2,545 + 22(A) + 1,928(P_a) + 5,374(r_Q) - 1308(H) - 8,26(T) + 14,506(S_o)$ $Q_w = -7,605 + 27,5(A) + 4,798(P_a) + 5,034(r_Q) - 22,009(S_o)$

Donde: igual o sobrepasa, como media, cada 2,33 años.
 Q_0 = Caudal correspondiente a un período de retorno de 2,33 años, o caudal que se

¹⁴ En Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español, 2004. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

Q_{10} = Caudal correspondiente a un período de retorno de 10 años

Q_m = Caudal medio anual, obtenido con una serie mínimas de 10 años

Q_0 = Caudal de precipitación mínima, o caudal mensual medio correspondiente a los meses de precipitación mínima en un intervalo de 10 años

Q_w =Caudal de precipitación máxima, o caudal mensual medio correspondiente a los meses de precipitación máxima

Orientación	A1	A2
Indiferente	3	3
N	2	4
NE	1	3
E	2	2
SE	3	1
S	4	2
SO	5	3
O	4	4
NO	3	5

Factores utilizados:

a) Variables climáticas

P_a = Precipitación media mensual.

S_s = Factor nieve, definido como el cociente entre el caudal mensual medio y la precipitación mensual media en los meses en los que se produce el deshielo.

$$S_s = \frac{1/n \sum P_i}{1/n \sum P_s} > 1$$

El hecho de ser mayor de 1 se debe al agua procedente del deshielo.

P_w = Precipitación mensual media de los meses de precipitación máxima.

P_d = Precipitación mensual media de los meses de precipitación mínima.

P_q = Precipitación mensual media de los meses subsiguientes a los de caudal máximo, calculados en un intervalo de 10 años.

b) Variables fisiográficas

A = Área de la cuenca en Km^2

A_L = Área de lagos y lagunas, medida de almacenamiento superficial de agua.

A_1 y A_2 = Orientaciones generales de la cuenca, que toman valores diferentes, en función del tamaño de la cuenca:

S_B = Pendiente media de la cuenca

D = Densidad de drenaje

L_{ca} = Longitud al centro de la cuenca. Es la distancia sobre la corriente principal, desde la boca de la cuenca hasta su centro de gravedad

L_b = Longitud de la corriente principal

H_m = Diferencia en altitud entre el punto más alto de la cuenca y el punto de salida o boca

H = Altitud media de la cuenca.

S_o = Pendiente media del canal principal.

S_t = Pendiente media de los afluentes.

R_e = Coeficiente de elongación.

D = Diámetro de un círculo que tiene la misma superficie de la cuenca.

L_b = Longitud del canal principal

T = Factor topográfico definido por Potter (1953), como una combinación de pendiente y longitud del canal principal:

$$T = L_b / \sqrt{S_o}$$

c) Variables de suelo

P_p = Porcentaje de suelo cubierto por rocas permeables existente en la cuenca.

d) Variables de caudal

r_Q = Coeficiente que refleja la descarga media anual (Q_m) con respecto a la precipitación (P_a).

$$r_Q = Q_m / P_a$$

Los resultados para Q_{10} , Q_m y Q_w , para la cuenca del río Andalgalá son:

	m^3/s	m^3/h	$Hm^3/año$	$Hm^3/año/Km^2^*$
Q_{10}	28534.16	10272298.53	89985.33	401.36
Q_m	847.63	305145.73	2673.07	11.92
Q_w	6295.92	2266532.70	19854.8265	88.55

*Siendo el área de la cuenca 244.20 Km^2 , parámetro calculado anteriormente.

4. Caudales máximos por el método Gumbel

Para determinar los caudales máximos mediante este método, para distintos periodos de retorno, se tienen en cuenta las mediciones de frecuencia diarias de caudales y la cantidad de datos disponibles.

Se define como “Período de retorno” al tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales. El valor máximo a determinar, para un periodo de retorno específico, se realiza por medio de la expresión:

$$X = X_m + Dx = X_m + k * S^{n-1}$$

Donde

X: Valor máximo para un periodo de retorno T

X_m : Media de la serie de valores máximos

Dx: Desviación respecto a la media, estimada por el producto $k * S^{n-1}$

El factor de frecuencia k se estima a partir del conocimiento del período de retorno en años y del número de años disponibles en la serie.

$$K = (Y_t - m_y) / S_y$$

y_t : variable de Gumbel para el período de retorno T, se determina a partir del valor del período de retorno (Tabla 9).

m_y : valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante Tabla 10.

S_y : valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante Tabla 10.

Tabla 9. Variables de Gumbel según el período de retorno T a considerar

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
y_T	0.36651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

Tabla 10. Valores m_y y S_y según número de observaciones

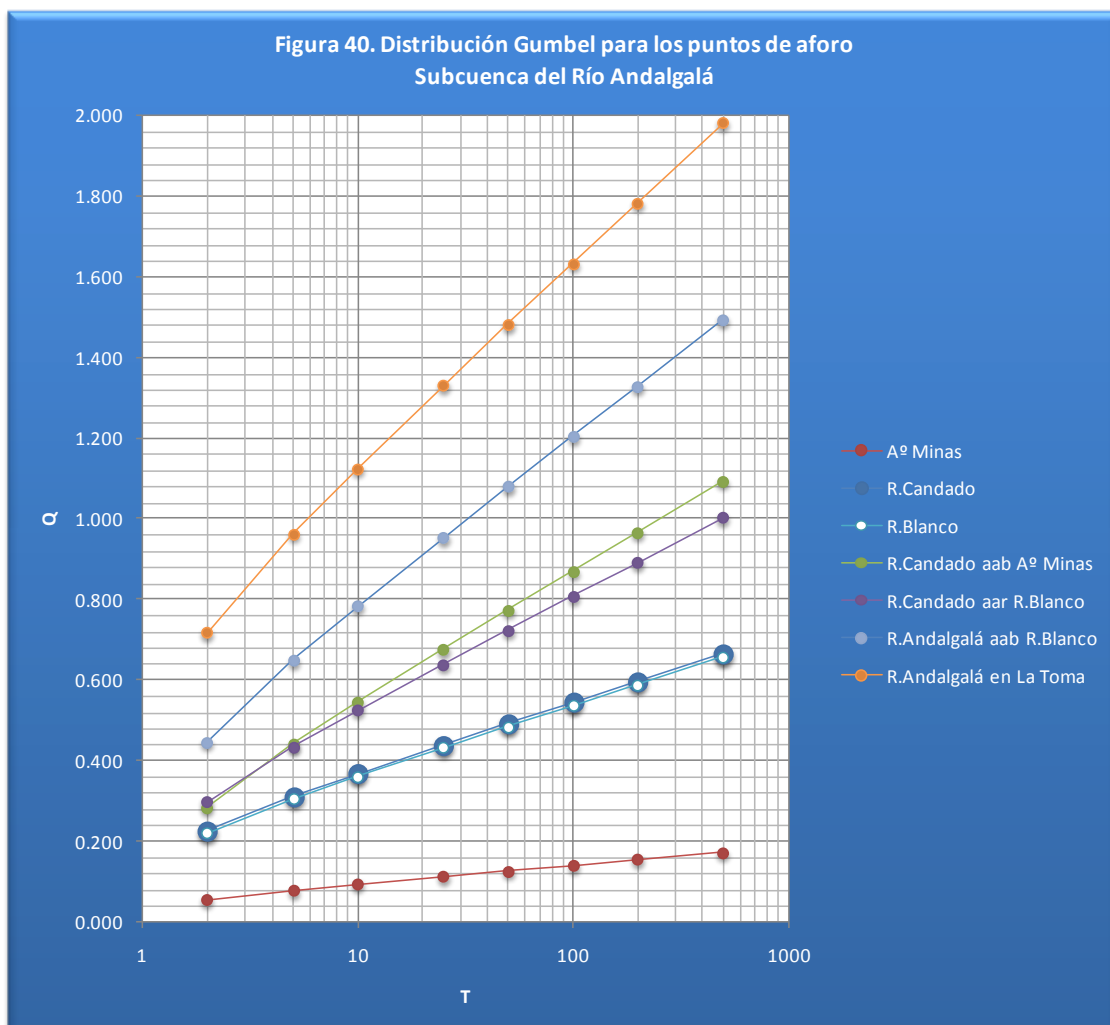
Nºdatos	M_y	S_y	Nºdatos	M_y	S_y	Nºdatos	M_y	S_y
1	0,36651	0,00000	35	0,54034	1,12847	69	0,55453	1,18440
2	0,40434	0,49838	36	0,54105	1,13126	70	0,55477	1,18535
3	0,42859	0,64348	37	0,54174	1,13394	71	0,55500	1,18629
4	0,44580	0,73147	38	0,54239	1,13650	72	0,55523	1,18720
5	0,45879	0,79278	39	0,54302	1,13896	73	0,55546	1,18809
6	0,46903	0,83877	40	0,54362	1,14131	74	0,55567	1,18896
7	0,47735	0,87493	41	0,54420	1,14358	75	0,55589	1,18982
8	0,48428	0,90432	42	0,54475	1,14576	76	0,55610	1,19065
9	0,49015	0,92882	43	0,54529	1,14787	77	0,55630	1,19147
10	0,49521	0,94963	44	0,54580	1,14989	78	0,55650	1,19227
11	0,49961	0,96758	45	0,54630	1,15184	79	0,55669	1,19306
12	0,50350	0,98327	46	0,54678	1,15373	80	0,55689	1,19382
13	0,50695	0,99713	47	0,54724	1,15555	81	0,55707	1,19458
14	0,51004	1,00948	48	0,54769	1,15731	82	0,55726	1,19531
15	0,51284	1,02057	49	0,54812	1,15901	83	0,55744	1,19604
16	0,51537	1,03060	50	0,54854	1,16066	84	0,55761	1,19675
17	0,51768	1,03973	51	0,54895	1,16226	85	0,55779	1,19744
18	0,51980	1,04808	52	0,54934	1,16380	86	0,55796	1,19813
19	0,52175	1,05575	53	0,54972	1,16530	87	0,55812	1,19880
20	0,52355	1,06282	54	0,55009	1,16676	88	0,55828	1,19945
21	0,52522	1,06938	55	0,55044	1,16817	89	0,55844	1,20010
22	0,52678	1,07547	56	0,55079	1,16955	90	0,55860	1,20073
23	0,52823	1,08115	57	0,55113	1,17088	91	0,55876	1,20135
24	0,52959	1,08646	58	0,55146	1,17218	92	0,55891	1,20196
25	0,53086	1,09145	59	0,55177	1,17344	93	0,55905	1,20256
26	0,53206	1,09613	60	0,55208	1,17467	94	0,55920	1,20315
27	0,53319	1,10054	61	0,55238	1,17586	95	0,55934	1,20373
28	0,53426	1,10470	62	0,55268	1,17702	96	0,55948	1,20430
29	0,53527	1,10864	63	0,55296	1,17816	97	0,55962	1,20486
30	0,53622	1,11237	64	0,55324	1,17926	98	0,55976	1,20541
31	0,53713	1,11592	65	0,55351	1,18034	99	0,55989	1,20596
32	0,53799	1,11929	66	0,55378	1,18139	100	0,56002	1,20649
33	0,53881	1,12249	67	0,55403	1,18242	101	0,56015	1,20701
34	0,53959	1,12555	68	0,55429	1,18342			

A través de planillas de cálculo, realizadas en Excel, se pudo obtener los valores de caudales máximos para distintos de períodos de retorno, los cuales se resumieron en la Tabla 11 y se representaron gráficamente en las curvas de la Figura 40.

Tabla 11. Valores de Caudales máximos calculados para cada punto de aforo

T	1	2	3	4	5	6	7	Prob (Qmax≤x)
2	0.226	0.056	0.285	0.298	0.221	0.446	0.719	0.500
5	0.312	0.078	0.442	0.435	0.305	0.650	0.964	0.800
10	0.368	0.093	0.546	0.525	0.361	0.784	1.126	0.900
25	0.439	0.112	0.677	0.639	0.432	0.954	1.331	0.960
50	0.492	0.126	0.775	0.724	0.485	1.080	1.483	0.980
100	0.544	0.140	0.871	0.808	0.537	1.205	1.634	0.990
200	0.597	0.154	0.968	0.892	0.589	1.330	1.784	0.995
500	0.666	0.173	1.095	1.003	0.657	1.494	1.983	0.998

Referencias: 1. Río Candado; 2. Arroyo Minas; 3. Río Candado aab Aº Minas; 4. Río Candado aar Río Blanco; 5. Río Blanco; 6. Río Andalgalá aab Río Blanco; 7. Río Andalgalá en La Toma.



Los valores máximos son menores para el Arroyo Minas, y van creciendo según se van acercando hacia el punto de salida de la cuenca. Los ríos Candado y Blanco coinciden en su comportamiento, al igual que para todos los casos anteriores.

I. Geomorfología

a. Metodología empleada

1. Clasificación de procesos morfogenéticos y geformas asociadas

De acuerdo a las características morfológicas del terreno, a *prima facie* se pudo identificar que los procesos morfogenéticos actuantes se incluyen dentro de los siguientes:

Procesos gravitacionales

Los procesos morfogenéticos gravitacionales son producidos principalmente por la acción de la gravedad pero, a su vez, se ven influenciados por los siguientes factores: (i) presencia de fallas y diaclasas, que generan una inestabilidad tectónica; (ii) presencia de agua intersticial, que facilita la movilización de los materiales; (iii) estructura de la roca; (iv) procesos de socavamiento, que actúa sobre la base de los materiales; y (v) otros, como clima, vegetación, actividad sísmica, actividad antrópica, etc.

Se clasifican en a) caídas o desprendimientos, b) reptación o creeping, c) deslizamientos y d) soliflucción. La diferencia entre los tipos b) a d), se encuentra condicionada según la humedad presente y la velocidad del proceso (Figura 41).

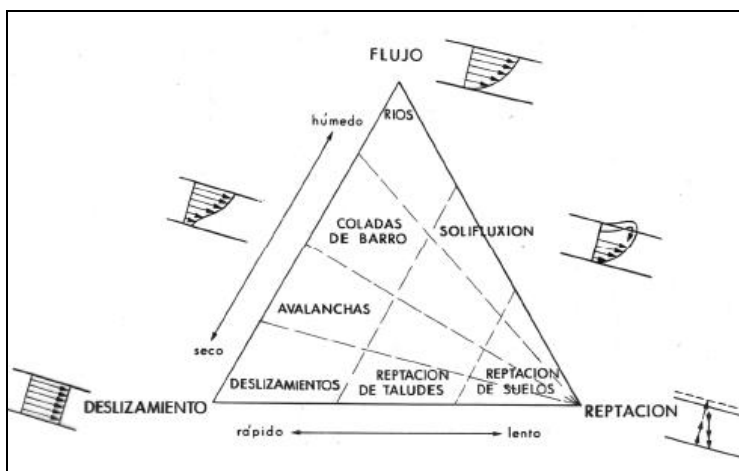


Figura 41. Esquema de los tipos de procesos gravitacionales
(Universidad de Alcalá, 2007. Apuntes de la Cátedra de Geología Física de la Licenciatura en Biología).

Se define como *desprendimiento* la caída de materiales de cualquier tamaño, causada por la alta pendiente.

La *reptación* es un desplazamiento de materiales a favor de la pendiente.

Los *deslizamientos* consisten en movimientos a favor de la pendiente de grandes bloques rocosos, y se clasifican en rotacionales y traslacionales, según si el plano de deslizamiento sea una superficie curva o plana, respectivamente.

La *solifluxión* se produce por procesos de expansión y contracción de materiales sueltos en regiones frías o de gran amplitud térmica. Son comunes en terrenos por encima del permafrost.

Procesos fluviales

Estos procesos son generados por el agua de escorrentía, y su incidencia morfogenética depende de: (i) el régimen de precipitaciones; (ii) la pendiente y rugosidad de la superficie del terreno; (iii) la presencia de materiales permeables, poco permeables o impermeables; y (iv) la vegetación abundante o incipiente.

La escorrentía puede ser laminar, difusa, concentrada o en surco, y a su paso, genera formas de erosión y formas de acumulación. Dentro de las formas de erosión contamos con las cárcavas, arroyadas, cauces, glaciares de erosión, quebradas o cañones, pedimentos, etc; y dentro de las formas de acumulación contamos con terrazas aluviales, abanicos aluviales, glaciares de acumulación, etc.

Procesos glaciares

Son mencionados especialmente porque dentro del área de estudio se identificaron geoformas típicas glaciares. En este caso actúa el hielo como agente de erosión, sumado a la gravedad y los cambios de temperatura, ambos los cuales dan lugar al proceso de ablación. Como en todo proceso, genera geoformas de erosión y de acumulación. Dentro de las primeras se encuentran los circos, cuernos glaciares, aristas, valles en U, y valles colgados, entre otras. De los segundos se pueden mencionar a las típicas morenas y kames.

2. Representación

Se realizó un mapa base, utilizando el software Mapinfo 7.0, donde se cartografió la geomorfología a partir de interpretación de un mosaico de imágenes satelitales georreferenciadas, y posteriormente se llevó a cabo un control de campo, el cual se concentró en los siguientes sectores de la cuenca: Qda. Mina, Río Candado (aab de la conf. Con Mina), cuenca baja del Río Blanco y Río Andalgalá (Figura 44). Los demás sectores no contaron con control de campo, dada la dificultad de acceso hasta los mismos por el abrupto relieve.

Se obtuvo una carta temática geomorfológica (Mapa 7), en la cual se identifican los sectores con control de campo.

b. Resultados

Como puede observarse en el Mapa 7, la geomorfología del área de estudio se originó a partir de la combinación de los procesos morfogenéticos descriptos.

Las diferentes geoformas identificadas, son:

1. *Glaciares y periglaciares*

Las nacientes del Río Candado, en las cumbres más altas de la Sierra Aconquija, son las más representativas de las marcas impresas por la acción erosiva de una antigua cubierta de hielo continental. En ellas se pueden identificar circos glaciares, lagunas en rosario, valles en U y depósitos de fondo de valle glaciar. Estos en la actualidad no son exclusivamente glaciares, ya que los procesos actuantes son fluviales. También quedan relictos de estas geoformas en la vertiente Oriental de la Qda. Mina y en las nacientes del Río Blanco, los cuales fueron posteriormente mayormente afectados por la tectónica y la erosión fluvial.

2. *Gravitacionales*

La litología, la pendiente del terreno y la influencia del clima, dieron lugar a una importante cantidad de deslizamientos de rocas y flujo de materiales, mayormente en las laderas más altas y con mayor pendiente (Fotos 8 y 9). De esta manera encontramos depósitos coluviales, cicatrices de deslizamiento y flujo de detritos. A la escala de trabajo no pudo mapearse, pero son comunes los procesos de reptación de suelo en las laderas de mucha pendiente (Foto 10). Sumado a ellos la acción antrópica, al quitar el soporte de los materiales con la apertura de caminos, aceleran los procesos gravitacionales y generan cicatrices de deslizamiento y flujo de materiales, dando en ciertos lugares una fisonomía particular que lo diferencia de sitios similares en litología, clima y morfología (Fotos 11 y 12).

3. *Fluviales*

Dentro de las geoformas de este tipo tenemos los arroyos, cauces, cárcavas (en materiales no compactos), terrazas y pequeños abanicos aluviales.

4. Estructurales

Si bien no se encuentra en la clasificación considerada, es importante mencionar que las estructuras mayores identificadas dentro de la cuenca, dieron origen a filos escarpados los cuales limitan superficies de deslizamiento de fallas.

De la misma manera, la estructura de las rocas metamórficas muestra en sus afloramientos de cumbre, costillares de roca, mientras que los afloramientos de rocas graníticas se identifican por su diaclasado intenso.

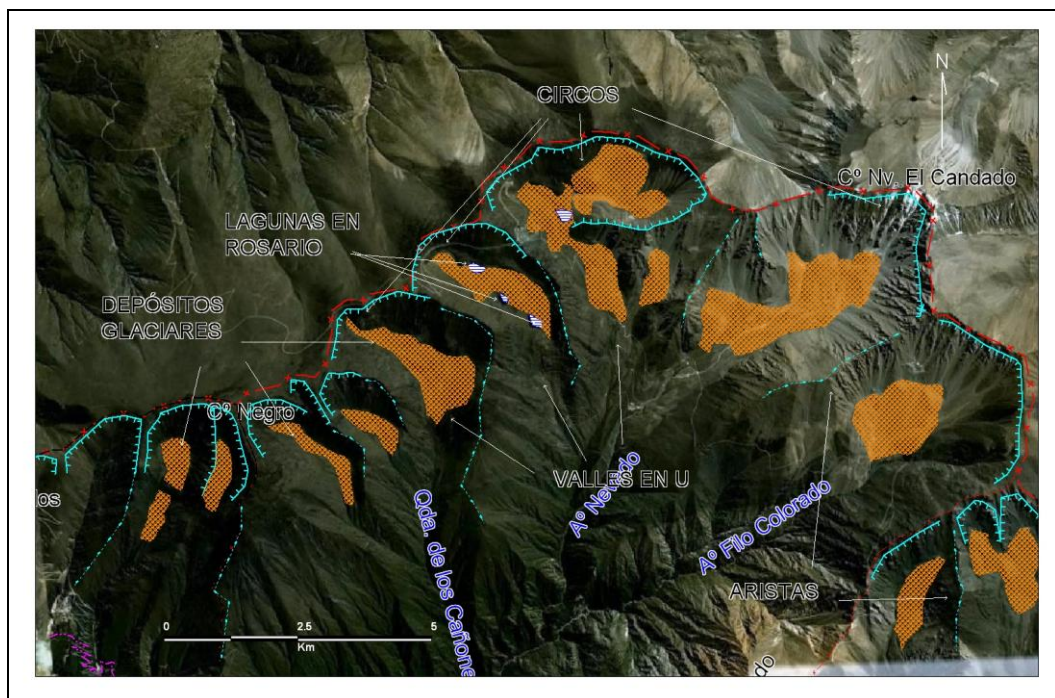
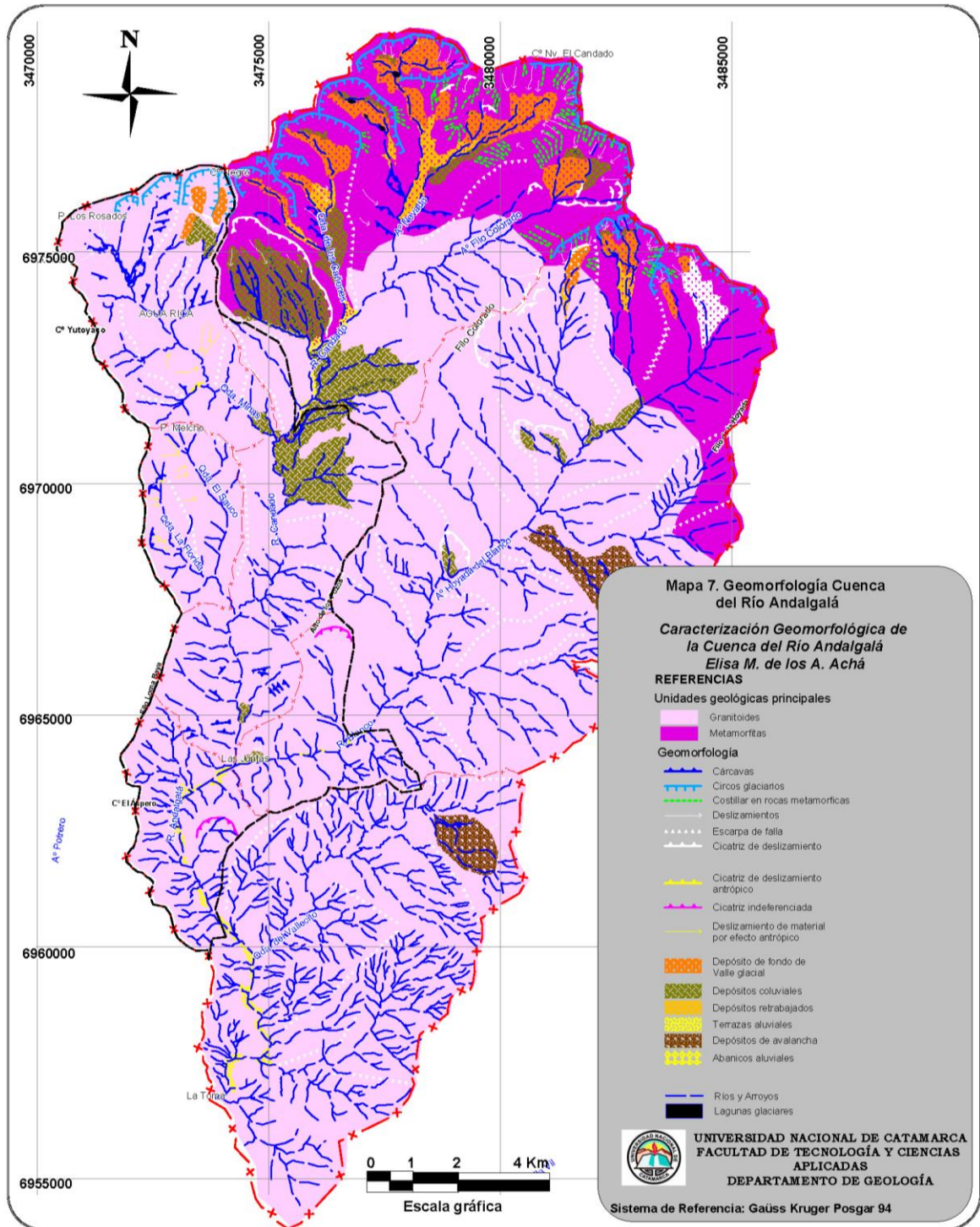


Figura 42. Porción de imagen satelital Google Earth, donde se pueden apreciar las geoformas glaciares y otras relacionadas.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgala, departamento Andalgala, provincia de Catamarca.



Mapa 7. Carta geomorfológica

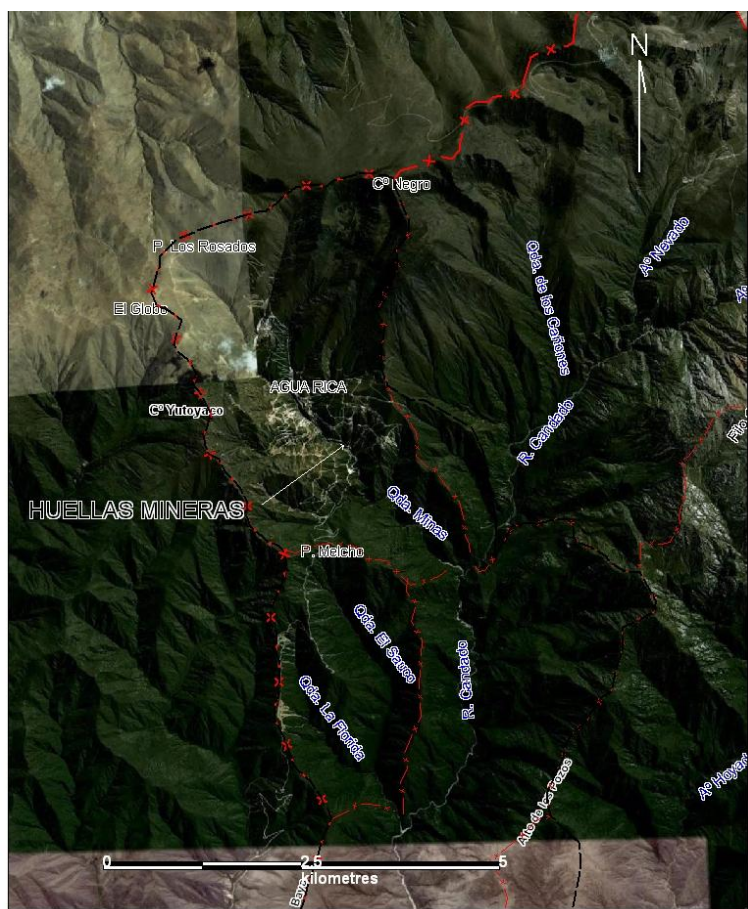


Figura 43. Sector de Qda. Mina donde se observa que las huellas mineras construidas favorecen el deslizamiento de material ladera abajo.

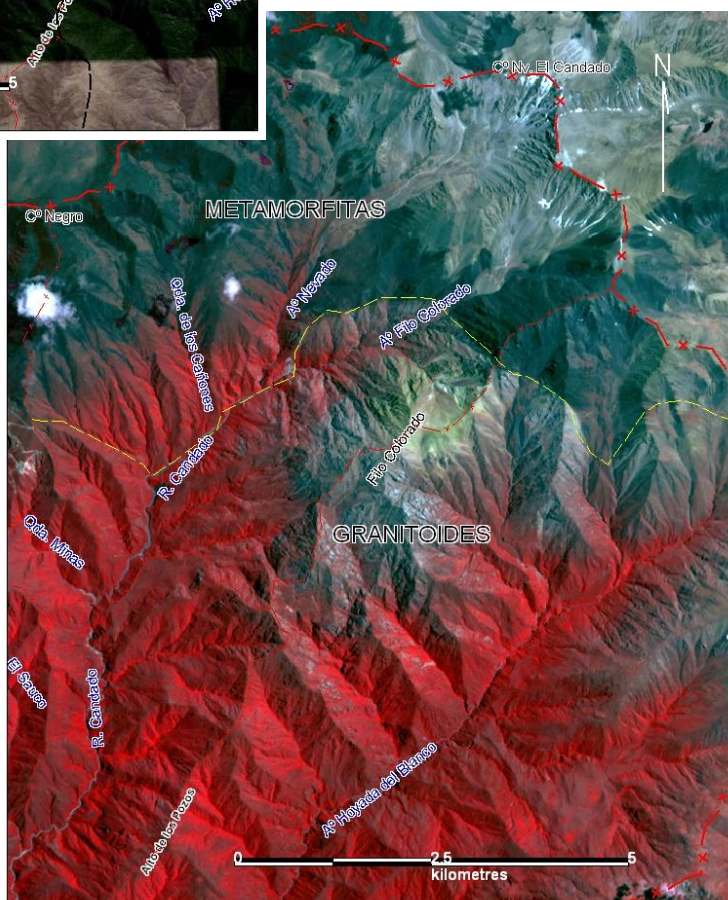


Figura 44. Afloramientos de rocas metamórficas y graníticas.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

A continuación se muestran algunas fotografías de la geomorfología plasmada en el mapa.



Foto 8. Arroyo Aumbreira, cicatriz de deslizamiento



Foto 9. Cicatriz de deslizamiento en nacimiento del A° Minas.



Foto 10. Reptación de suelo en Portezuelo Melcho

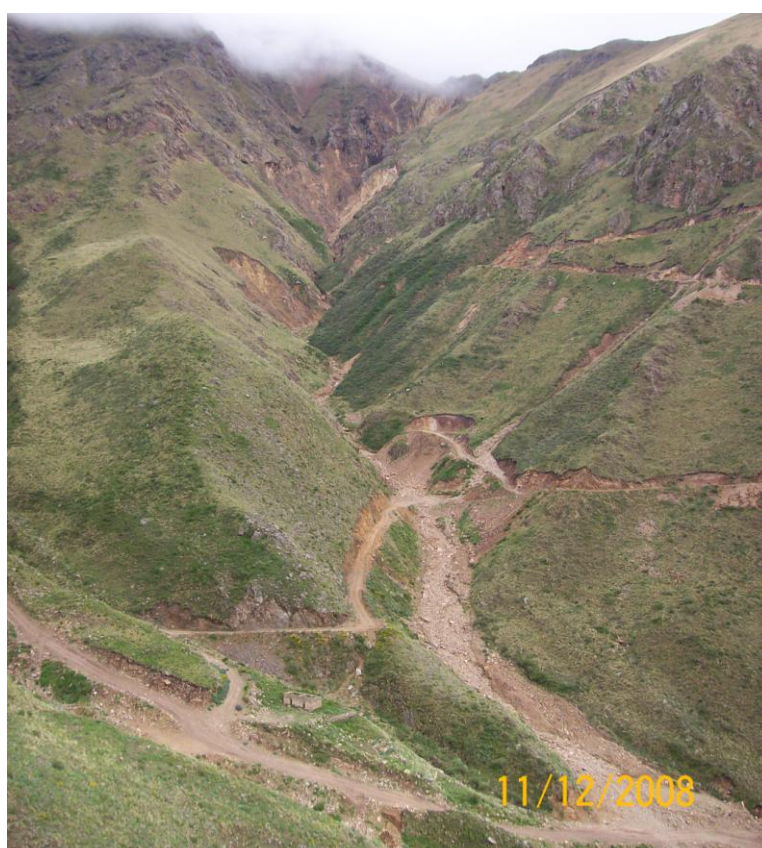


Foto 11. Deslizamiento de material favorecido por la apertura de huellas mineras en Filo Amarillo. Aguas arriba se observan cicatrices menores de procesos de deslizamiento naturales

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



Foto 12. Ídem caso de la foto anterior en Trampeadero



Foto 13. Terrazas a la vera del Río Candado

J. Erosión Hídrica. Tasa de pérdida de suelo

La erosión hídrica es un proceso complejo. Comprende la desagregación del suelo por impacto de la gota de lluvia, el desprendimiento por el flujo superficial de agua, y el transporte por salpicado o por escurrimiento (Meyer & Harmon, 1984)¹⁵. La resistencia del suelo a este proceso se relaciona con la textura, la estabilidad de agregados, la cohesividad, la capacidad de infiltración y los contenidos minerales y orgánicos. Los suelos de textura fina generalmente son más resistentes a la desagregación, pero sus sedimentos son fácilmente transportables; mientras, que los suelos de textura gruesa son desagregados rápidamente, pero sus sedimentos son dificultosos de transportar. Los suelos franco y franco-limosos son fácilmente desagregados y transportados, por eso se los considera muy erodables (Wischmeier & Mannering, 1969)¹⁵.

La susceptibilidad de un suelo a la erosión se denomina erodabilidad, y uno de los factores más importantes en los modelos de erosión, junto con la erosividad de las tormentas, la topografía, la cobertura superficial y el manejo del suelo. A efectos de ahorrar recursos en la búsqueda de obtener un valor de erodabilidad del suelo, es que se elaboraron modelos para llegar a un resultado en base a relaciones estadísticas de propiedades del suelo fácilmente medibles.

Los comienzos de la cuantificación de las pérdidas de suelo se remontan a la primera mitad del siglo XX, cuando el Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos y el Servicio de Investigación para la Agricultura iniciaron con su búsqueda. La “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo” (USLE), nace en 1958, y fue considerada la más comprensiva y útil. Luego en 1999 dicha ecuación fue revisada por Mannaerts¹⁶, generando así la “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada” (RUSLE), cuya expresión es:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [Tn/ha/año]

R = Factor de erosividad de las lluvias en [Mj/ha*mm/hr]

K = Factor de erodabilidad del suelo en [Tn/ha.Mj*ha/mm*hr]

¹⁵ En Echeverría, N. E. et al., 2006. Erodabilidad de Suelos del Sur de la Región Semiárida Argentina.

¹⁶ En www.milarium.com: Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisado (RUSLE).

LS = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de la cubierta vegetal, adimensional

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

Esta Ecuación requiere de la instalación de parcelas de estudio, pero la ausencia de éstas en la cuenca del Río Andalgalá, obligó a buscar una alternativa para poder aplicar el método y obtener así un modelo representativo de la situación actual: definir unidades geomorfológicas homogéneas.

Estas unidades homogéneas suelen ser denominadas “unidades de paisaje”, al considerarse a éste como una síntesis del medio físico y biótico, y las cuales responderán de manera diferente, de acuerdo a las diversas condiciones geomorfológicas y edáficas de dicho territorio, es decir que cada unidad es una síntesis del conjunto de factores que la constituyen. El criterio fundamental para definir dichas unidades debe ser analizar los caracteres fundamentales del medio, entre los que se suele encontrar la geomorfología, y prescindir de aquellos factores que no sean esenciales para la diferenciación de la unidad.

Por lo tanto se intentará de medir la tasa de pérdida de suelo, por erosión hídrica, de las unidades de paisaje de la cuenca del Río Andalgalá, a una escala de trabajo de 1:25000.

a. Metodología

1. Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

Esta ecuación es la seleccionada para estimar la tasa de pérdida del suelo en la cuenca del río Andalgalá. A continuación se describe la cada uno de los factores de la Ecuación.

Erosividad de la Lluvia. Factor R

Se lo define como el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Cuando la energía se combina con la intensidad de la lluvia, el resultado es un buen indicador del potencial erosivo, "EI" (energía/intensidad), el cual es el valor de la tormenta total por el máximo de intensidad de la tormenta en 30 minutos, e indica cómo el desprendimiento de las partículas es combinado con la capacidad de transporte. La suma de los promedios anuales de "EI" para una localidad en particular es el Índice de Erosividad de la lluvia "R". Por lo tanto se expresa como:

$$R = \sum (EI_{30})_i / N$$

Donde:

R = Erosividad anual (tal como las unidades de EI₃₀)

(EI₃₀)_i = EI₃₀ para la tormenta I

N = Tormentas erosivas (ej.: P>10 mm) en un período de N años

Por lo tanto, la energía de la tormenta (EI o R) indica el volumen de lluvia y escurrimiento, pero una larga y suave lluvia puede tener el mismo valor de E que una lluvia de corta y más alta intensidad (Mannaerts, 1999)¹⁵.

Se calcula en base a la fórmula de Brown y Foster citados por Mannamaerts (1999)¹⁵:

$$E = 0.29 * (1 - 0.72 * \exp(-0.05 (I)))$$

Donde:

E = Energía cinética de 1 mm de lluvia [Mj/ha*mm]

I = Intensidad de la lluvia en [mm/hr]

Una vez obtenido "R" se puede clasificar como:

Clase	R (Mj/ha*mm/hr)
Muy Baja	<500
Baja	500-1000
Mediana	1000-3000
Alta	3000-6000
Muy Alta	>6000

Erodabilidad del suelo. Factor K

Es una compleja propiedad que se la entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicado, durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

Los suelos generalmente llegan a ser menos erosivos con una reducción en la fracción de limo a pesar del correspondiente incremento de la fracción de arcilla o arena. El factor K representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo. Los valores de K son asignados usando el nomograma de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, contenido de materia orgánica MO, código de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil. Así, suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K (0.05 a 0.25), porque ellos son resistentes al desprendimiento; mientras que los suelos de textura gruesa, tales como suelos arenosos, tienen valores altos de K (>0.4), debido al bajo escurrimiento, aunque estos suelos son fácilmente desprendibles; y suelos de textura mediana (franco limoso) tienen valores de K moderados (0.25 a 0.4), porque son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos.

El factor de erodabilidad del suelo se calcula con la ecuación del nomograma de Wischmeier (1971)¹⁵, (Figura 46):

$$K = (1/7.594) * \{(12 - MO) * M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)\} / 100$$

Donde:

K = Factor de erodabilidad del suelo [Tn/ha Mj*ha/mm*hr]

MO = Materia orgánica [%]

s = Código de la estructura del suelo

p = Código de permeabilidad

M = Producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias, o el producto entre la suma del porcentaje de limo y de arena, y la diferencia entre 100 y el porcentaje de arcilla.

Los parámetros s y p se obtienen de la siguiente Tabla.

Tabla 12. Códigos de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura

Textura clase	Permeabilidad Código *	Conductividad hidráulica saturada [mm/hr]	SCS Grupo Hidrológico de suelo
Arcilla, franco arcilloso	6	<1	D
Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	5	1-2	C-D
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	4	2-5	C
Franco limoso, franco	3	5-10	B
Areno francoso, franco arenoso.	2	10-60	A
Arena	1	>60	A

*Se obtiene a partir del triángulo de textura adaptado a valores de permeabilidad (Figura 45)

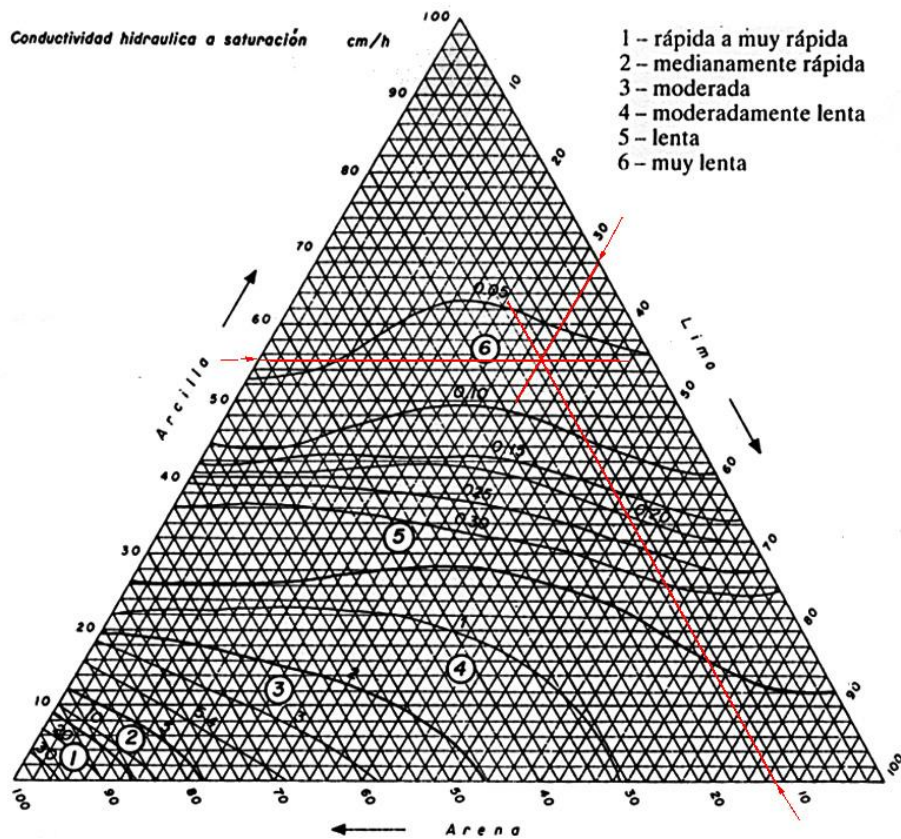


Figura 45. Triángulo de textura adaptado a la permeabilidad. Las líneas en rojo indican cómo se determina a partir de la textura del suelo.

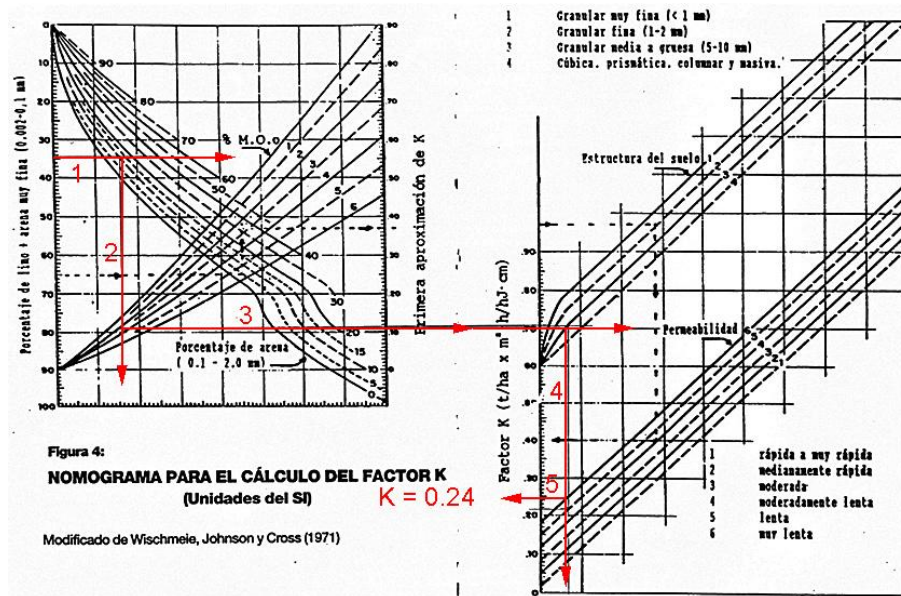


Figura 46. Nomograma de Wichmeier (1971) para el cálculo del Factor K. Las líneas en rojo indican un ejemplo para su determinación.

Factor Topográfico LS: Longitud de la pendiente e Inclinación de la pendiente

La longitud de la pendiente es definida como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto, donde:

- El gradiente de la pendiente reduce lo suficiente para que la deposición comience.
- El escurrimiento llega a ser concentrado en un canal definido.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula (Mannaerts, 1999)¹⁶

$$L = (I/72.6)^m$$

Donde:

L = Factor de longitud de pendiente

I = Longitud de la pendiente [pies]

m = Exponente de la longitud de la pendiente

72.6 = Longitud de parcela unitaria RUSLE.

La longitud de pendiente I, es la proyección horizontal, no la distancia paralela a la superficie del suelo.

El exponente de longitud de pendiente m, determina la relación entre erosión en surcos (causada por flujo) y erosión entresurcos (causado por impacto de gotas de lluvia), puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$m = 0.1342 * \ln(\theta) + 0.192$$

Donde:

m = Exponente de la longitud de la pendiente

θ = Angulo de pendiente [%]

El factor de inclinación de la pendiente refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión. El potencial de erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente. Para pendientes con longitudes mayores a 5 m se debe usar las siguientes ecuaciones:

$$S=10.8*\text{sen}\theta+0.03 \text{ Cuando } s<9\%$$

$$S=16.8*\text{sen}\theta-0.5 \text{ Cuando } s> \text{ ó } = 9\%$$

Donde:

S = Factor de inclinación de pendiente

s = Inclinación de pendiente [%]

θ = Angulo de pendiente [°]

La pendiente y la longitud de la pendiente son medidas perpendiculares a las curvas de nivel.

El factor **LS** combinado en RUSLE representa la proporción de pérdida de suelo de una longitud e inclinación dada. Valores más que 1 representan condiciones más erosivas que la condición de referencia. Básicamente el RUSLE toma en cuenta:

- Las diferencias entre pendientes muy cortas (< 5 m) y pendientes más largas.
- Susceptibilidad a la erosión en surcos Vs entresurcos y pendiente (3 clases).
- Efecto de las temperaturas mínimas de invierno y congelamiento/deshielo de suelos.
- Forma de la pendiente como perfiles de suelo complejos. (Mannaerts, 1999)¹⁵.

Más simplemente se utiliza para su determinación un gráfico de curvas según la longitud de la pendiente y el porcentaje de la misma (Figura 47).

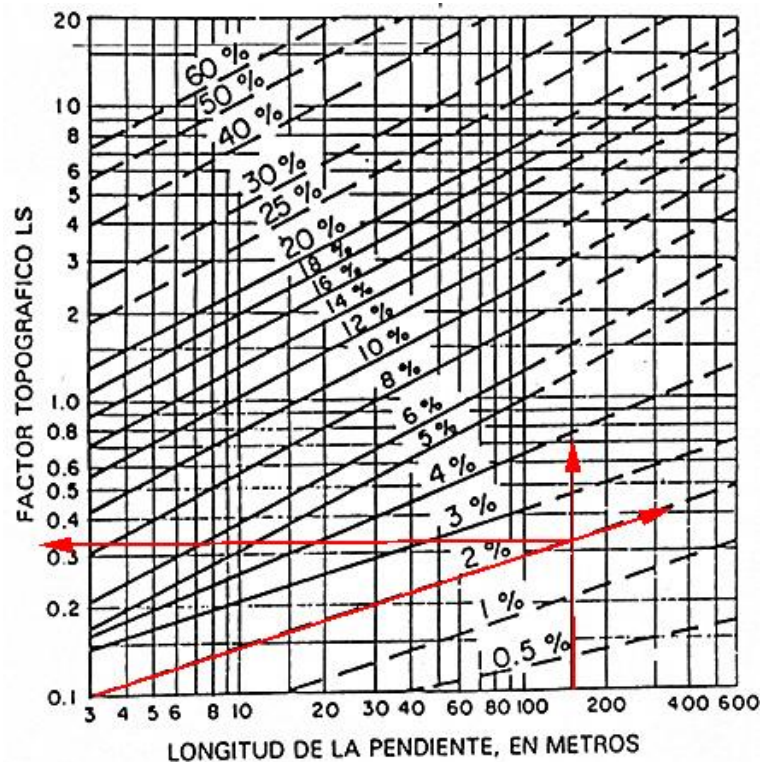


Figura 47. Determinación del Factor LS. La líneas en rojo indican un ejemplo de su determinación.

Manejo de cobertura. Factor C

El factor C es usado para reflejar el efecto de la cultivación y prácticas de manejo en las tasas de erosión. Este factor mide como el potencial de pérdida de suelo será distribuido en el tiempo durante la construcción de actividades, rotación de cultivos, y otros esquemas de manejo.

El factor C está basado en el concepto de desviación standard, siendo el standard un área bajo condiciones de barbecho con cultivo limpio. El valor de C para condiciones Standard es 1, y se toma de la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de C según tipo de cobertura

Cultivo	Factor C
Suelo desnudo	1
Bosque, matorral denso o cultivo con acolchado	0.001
Sabana o pradera herbácea en buen estado	0.01
Sabana o pradera herbácea sobrepastoreada	0.1

Prácticas de control de la erosión. Factor P

Es la relación de pérdida de suelo con prácticas de soporte a la pérdida correspondiente con labranza en pendiente, la cual tiene un valor de 1.

Estas prácticas de control (soporte) combate la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento. Para las prácticas de soporte de tierras cultivadas, generalmente incluye contorno, cultivos en faja, terraceo y drenaje subsuperficial.

RUSLE calcula el factor P basado en porcentajes de pendiente, longitud de pendiente, rugosidad, altura de bordes, distribución del "Ei", grupo de suelos hidrológicos y el efecto de terrazas contra la pendiente, pero al fin de nuestro estudio, donde no existen controles de erosión impuestos, el Factor P no será considerado dentro del cálculo.

Erosión Potencial EP

El producto de los factores R, K y LS permite estimar la erosión potencial EP, correspondiente a cada suelo. En la Tabla 15 se puede observar las diferentes clasificaciones según los valores obtenidos de EP.

Tabla 15. Clasificación de la erosión potencial

Clase	Valor EP en Tn/ha/año
Erosión potencial nula a ligera	0 – 30
Erosión potencial baja	31 – 60
Erosión potencial moderada	61 – 120
Erosión potencial alta	121 – 360
Erosión potencial muy alta	>360

2. Trabajo de campo

Durante el trabajo de campaña se tomaron muestras de diferentes unidades de paisaje, predefinidas en gabinete a partir de interpretación de imágenes. Se consideraron los primeros 10 cm de suelo para la toma de muestra. A su vez se registraron en planillas de campo, además de la unidad de paisaje respectiva, la estructura y el tipo de cubierta vegetal, según la siguiente codificación:

- Columna A: Unidad de paisaje
 - a: Cumbre
 - b: Ladera alta pendiente (40 – 30 %)
 - c: Ladera media pendiente (30 – 20 %)
 - d: Pie de monte
 - e: Terraza
- Columna B: Estructura
 - 1: Granular muy fina (<1mm)
 - 2: Granular fina (1 – 2 mm)
 - 3: Granular media-gruesa (> 2mm)
 - 4: Cúbica-prismática-columnar y masiva.
- Columna C: Cubierta vegetal
 - I: Suelo desnudo
 - II: Bosque, matorral denso
 - III: Pradera herbácea en buen estado
 - IV: Pradera herbácea, sobrepastoreada o alterada por desbroce

Cada muestra contaba con un número único de identificación, el cual coincidía con el waypoint tomado con GPS, en coordenadas UTM (las cuales se convirtieron posteriormente al sistema de referencia Gaus Krüger), y la bolsa de almacenamiento fue etiquetada y sellada con un precinto numerado. Cada sitio de toma de muestra fue respectivamente fotografiado.

En el Mapa 8 se puede observar los sitios muestreados.

3. Trabajo de laboratorio y gabinete

En gabinete se digitalizaron las planillas de campo y se enviaron las muestras de suelo al laboratorio “La buena tierra”, donde se determinó el contenido de materia orgánica MO, y se separaron las fracciones granulométricas principales arcilla-limo-arena. Luego, la fracción arena se separó en las fracciones arena muy fina y limo, de las arenas media y gruesa, en el laboratorio de Vialidad Provincial, facilitado por el Lic. Rojas, profesional de dicho organismo.

Se obtuvieron también los Factores de la Ecuación RUSLE y la cartografía final de unidades geomorfológicas homogéneas.

Obtención del Factor R

Se tomaron los datos diarios de precipitaciones máximas registradas (tormentas), de las dos estaciones meteorológicas de Minera Agua Rica, de un ciclo hidrológico completo comprendido en el periodo Enero de 2006 a Enero de 2008, para medir la intensidad de la lluvia I, en mm/hr, la energía cinética E de 1 mm de lluvia y, consecuentemente, la relación EI_{30} para la tormenta en 30 minutos (Tabla14).

Tabla 14. Precipitaciones máximas (>10 mm) del período considerado, seleccionadas para la determinación del factor R.

Estación Meteorológica Andalgalá		Estación Meteorológica Mina	
Fecha	mm	Fecha	mm
02/01/2006	12.954	03/01/2006	33.782
12/01/2006	18.288	16/01/2006	52.070
13/01/2006	21.844	21/01/2006	29.718
16/01/2006	87.376	03/02/2006	41.148
25/01/2006	11.684	12/02/2006	13.970
03/04/2006	29.210	12/02/2006	20.320
08/04/2006	14.224	02/04/2006	35.052
18/11/2006	11.430	10/02/2007	38.354
28/11/2006	31.496	24/12/2007	58.420
28/11/2006	10.668	08/01/2008	40.132
10/01/2007	19.304	14/01/2008	44.194
12/01/2007	68.320	15/01/2008	15.494
12/01/2007	59.182	16/01/2008	20.066
17/01/2007	20.320	16/01/2008	34.290
10/02/2007	12.192	16/01/2008	19.050
09/03/2007	25.908		
02/12/2007	29.972		
24/12/2007	22.098		
11/01/2008	11.430		
29/01/2008	38.354		
30/01/2008	30.226		
30/01/2008	22.352		

Mapa 8. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo sobre mapa de unidades homogéneas geomorfológicas.

La Intensidad de la lluvia se obtuvo dividiendo la cantidad de lluvia precipitada durante la tormenta en el tiempo en que se registró las mayores cantidades de agua caída. La Energía cinética “E” de 1 mm de lluvia se obtuvo a partir de la

Fórmula para su obtención. El indicador del potencial erosivo EI_{30} se determinó multiplicando la precipitación total por la precipitación mayor medida cada 30 minutos.

Los cálculos realizados se obtuvieron mediante planillas de cálculo Excel.

Obtención del Factor K

A partir de los contenidos de las fracciones arena muy fina+limo y arena media+arena gruesa, se obtuvo el valor de la permeabilidad en el triángulo de textura de la Figura 45. Luego se empleó el nomograma de Wischmeia, Johnson y Cross (1971), donde se tuvo en cuenta el porcentaje de arena muy fina-limo y arena gruesa-media, el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo, definida en campo, y la permeabilidad ya determinada con la Figura 46.

Obtención del Factor LS

Con las pendientes en % tomadas en campo y una longitud de 50 m, constante seleccionada para facilidad en el cálculo, se obtuvo el Factor LS según el gráfico de la Figura 47.

Obtención de C

Este factor se obtuvo en campo según la observación del tipo de cubierta vegetal, tomando en cuenta la clasificación de la Tabla 13.

b. Resultados

Los resultados pueden observarse en la Tabla 16, donde se obtuvo un valor de tasa de erosión de suelo para condiciones de lluvia similares a las de la Quebrada Minas, y similares a las de la Ciudad de Andalgalá.

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgá, departamento Andalgá,
provincia de Catamarca.*

Tabla 16. Datos de campo y factores para determinación de EP y A. Las celdas coloreadas indican la clasificación de EP

WP	Unidad Geomorf	R Andalgá	R Mina	Estructura	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Arena Fina	Arena muy fina+Limo	Arena Media-Gruesa	Permeabilidad	MO	Factor K	Factor C	Factor LS	Factor P	EP Andalgá	EP Mina	A Andalgá	A Mina
1	Terraza	636.073	874.909	3	5	17.4	77.6	Franco Arenoso	5.11	22.51	72.49	3	1.2	0.28	0.001	0.15	1	26.715	36.746	0.027	0.037
3	Ladera alta pendiente	636.073	874.909	3	5.38	20.5	73.7	Franco Arenoso	7.59	28.09	66.53	3	2.4	0.26	0.001	20	1	3307.581	4549.528	3.308	4.550
6	ladera media pend	636.073	874.909	2	12.1	49.7	38.2	Franco	16.83	66.53	21.37	4	5.2	0.42	0.01	8	1	2137.206	2939.695	21.372	29.397
7	Ladera alta pendiente	636.073	874.909	2	7.6	34.3	58.1	Franco Arenoso	32.2	66.5	25.9	3	9.4	0.15	0.01	20	1	1908.220	2624.728	19.082	26.247
8	Ladera alta pendiente	636.073	874.909	3	7.1	14.5	78.4	Franco Arenoso	13.84	28.34	64.56	3	1.2	0.27	0.01	20	1	3434.796	4724.510	34.348	47.245
9	Ladera media pend.	636.073	874.909	3	10.1	12.1	77.8	Franco Arenoso	26.65	38.75	51.15	3	5.8	0.22	0.001	8	1	1119.489	1539.840	1.119	1.540
10	Ladera alta pendiente	636.073	874.909	3	9.6	23.7	66.7	Franco Arenoso	13.63	37.33	53.07	3	2	0.32	0.01	20	1	4070.869	5599.420	40.709	55.994
11	cumbre	636.073	874.909	2	11.2	52.5	36.3	Franco Limoso	5.95	58.45	30.35	4	9.2	0.18	0.01	0.15	1	17.174	23.623	0.172	0.236
12	Ladera media pend.	636.073	874.909	2	16.5	45.4	38.1	Franco	9.61	55.01	28.49	4	4.4	0.36	0.01	8	1	1831.891	2519.739	18.319	25.197

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

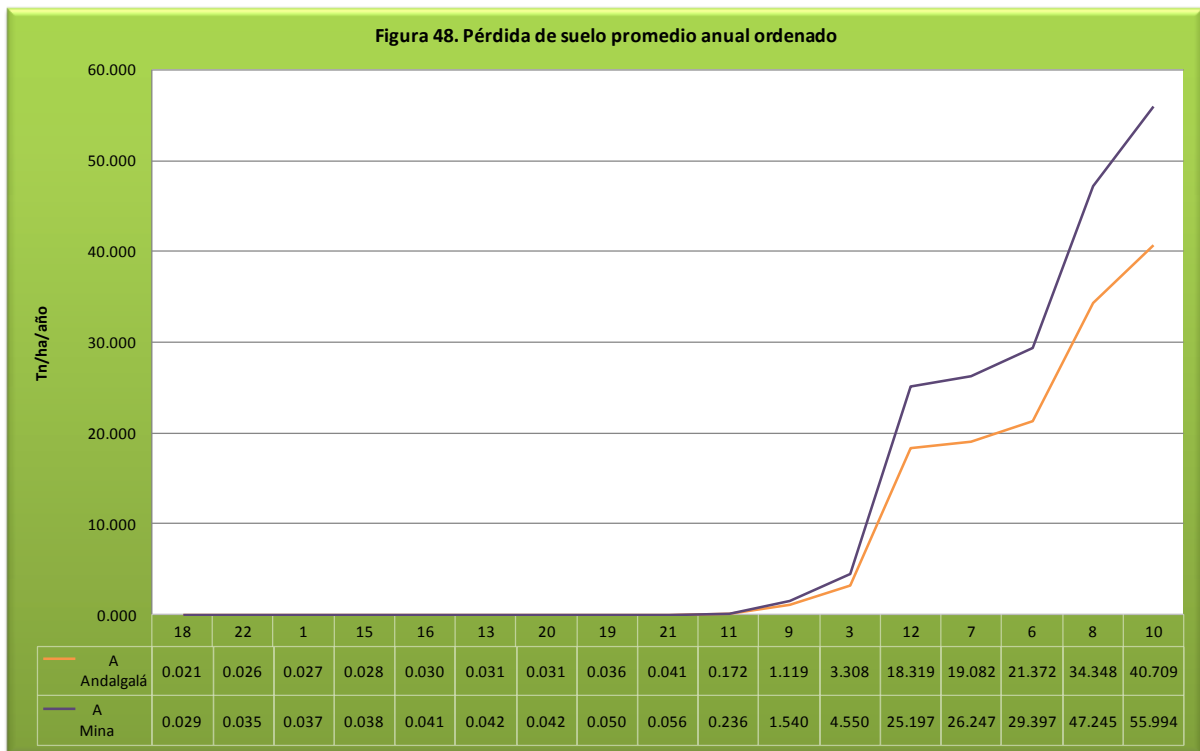
Tabla 16. Datos de campo y factores para determinación de EP y A. Las celdas coloreadas indican la clasificación de EP

WP	Unidad Geomorf	R Andalgalá	R Mina	Estructura	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Arena Fina	Arena muy fina+Limo	Arena Media-Gruesa	Permeabilidad	MO	Factor K	Factor C	Factor LS	Factor P	EP Andalgalá	EP Mina	A Andalgalá	A Mina
13	Terraza	636.073	874.909	3	12.1	33	54.9	Franco Arenoso	9.69	42.69	45.21	3	4.1	0.32	0.001	0.15	1	30.532	41.996	0.031	0.042
15	Terraza	636.073	874.909	3	7.3	21.6	71.1	Franco Arenoso	7.72	29.32	63.38	3	0.6	0.29	0.001	0.15	1	27.669	38.059	0.028	0.038
16	Terraza	636.073	874.909	3	5.5	19	75.5	Franco Arenoso	11.05	30.05	64.45	3	0.4	0.31	0.001	0.15	1	29.577	40.683	0.030	0.041
18	Terraza	636.073	874.909	3	5.9	20.2	73.9	Franco Arenoso	1.55	21.75	72.35	3	0.7	0.22	0.001	0.15	1	20.990	28.872	0.021	0.029
19	Terraza	636.073	874.909	3	8.4	21.6	70	Franco Arenoso	20	41.6	50	3	1.5	0.38	0.001	0.15	1	36.256	49.870	0.036	0.050
20	Terraza	636.073	874.909	2	7.2	29.6	63.2	Franco Arenoso	18.38	47.98	44.82	3	2.2	0.32	0.001	0.15	1	30.532	41.996	0.031	0.042
21	Terraza	636.073	874.909	3	7.6	28.9	63.5	Franco Arenoso	14.16	43.06	49.34	3	0.33	0.43	0.001	0.15	1	41.027	56.432	0.041	0.056
22	Terraza	636.073	874.909	3	7.3	24.7	68	Franco Arenoso	4.5	29.2	63.5	3	1.6	0.27	0.001	0.15	1	25.761	35.434	0.026	0.035

*Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá,
provincia de Catamarca.*

La tasa de erosión A dentro de la porción muestreada dentro de la cuenca (61,30 Km², equivalente a 6130 ha), considerando para la elaboración del modelo el régimen de precipitaciones de la estación meteorológica de Andalgalá, varía entre 0.021 hasta 0.031 Tn/ha/año para las unidades de terraza; entre 18.319 a 34.348 Tn/ha/año para las unidades de ladera; y sólo se cuenta con un valor de cumbre en la que se identificó desarrollo de suelo, el cual es de 0.172 Tn/ha/año.

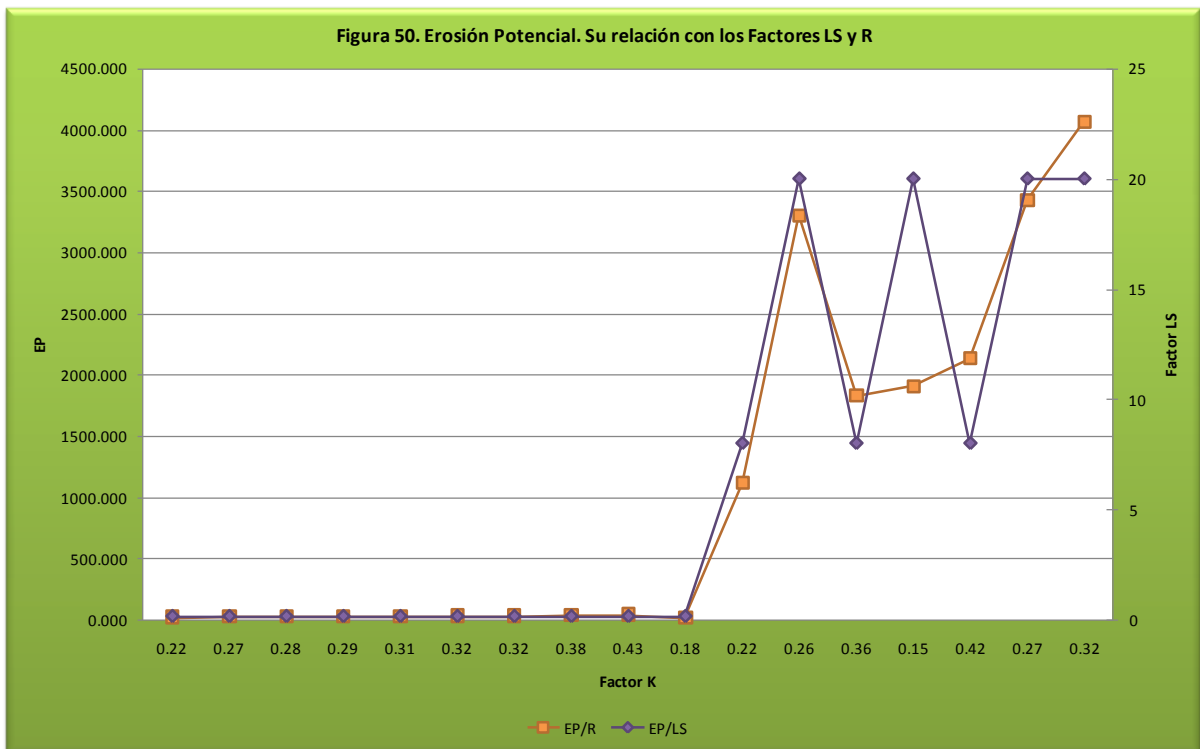
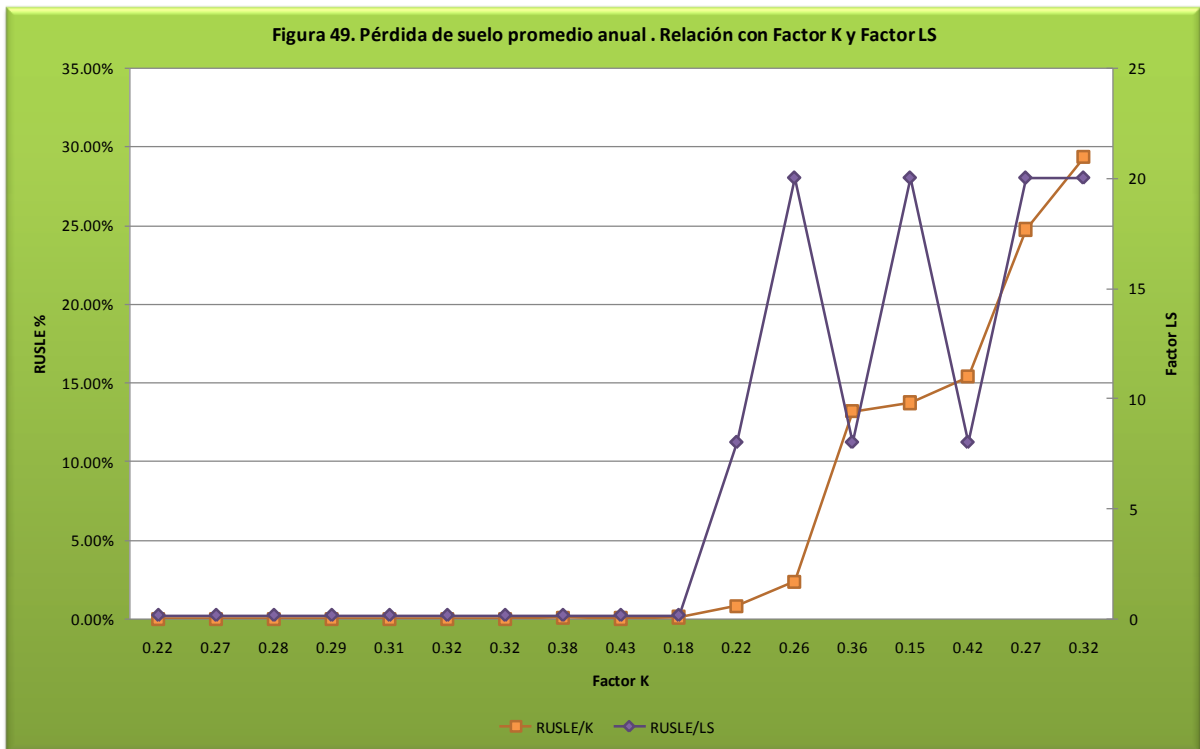
En comparación, el modelo de la tasa de erosión A para las lluvias de Mina (MetMina), es casi un 73% superior a la estimada para la estación meteorológica Andalgalá.



De la figura 48 se puede observar que las unidades mayormente susceptibles a la erosión son laderas de alta y media pendiente. Un análisis de los factores que influyen permitió observar que el factor de mayor influencia es el Factor K, junto con el factor LS (Figura 49), siendo la erosividad de la lluvia Baja (500-1000), tanto en Andalgalá como en Mina.

El valor de Erosión potencial para cada unidad varía entre Ligera a Baja (Celdas verdes y amarillas, respectivamente) para las unidades de paisaje terraza y cumbre, y salta a muy alta para laderas de media a alta pendiente (Figura 50).

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.



En conclusión, las unidades de menor tasa de erosión corresponde a las unidades de terraza y cumbre, mientras que las más expuestas a la erosión hídrica son las laderas de pendiente alta. Sin embargo, la erosividad de la lluvia se considera baja.

VII. Conclusiones

K. De la caracterización climática

El mesoclima de la cuenca del Río Andalgalá no fue posible determinar, debido a que dentro de la cuenca se encuentra una sola Estación Meteorológica, MetMina. Sin embargo, a partir de ella, y la comparación con la Estación Meteorológica de Andalgalá, MetAndal, se puede considerar que el mesoclima de la cuenca es intermedio entre el tipo Semiárido (BWh) y Templado Subtropical (CWB), según la clasificación climática de Köppen para cada una de las estaciones. Las diferencias entre ambas, en cuanto a temperaturas media, máxima (primer parámetro para clasificación), se debe a las diferencias fisiográficas entre ambas: altura y orientación. En cuanto a la cantidad de agua precipitada, si bien es mayor en MetMina que en MetAndal, se encuentra para ambas dentro del mismo rango y su distribución temporal es coincidente.

Otras características a considerar son:

- ✦ Las temperaturas sufren mayores variaciones diurnas, evidente en los gráficos de amplitud térmica.
- ✦ Las precipitaciones aumentan, hasta cierta altura, existiendo una alternancia de sequía y humedad.
- ✦ La Humedad Relativa crece con la altura, hasta cierto punto, donde comienza a disminuir.
- ✦ los vientos aumentan de velocidad y frecuencia con la altura, mientras que la dirección de los mismos varían por la posición fisiográfica.
- ✦ El comportamiento de la presión atmosférica es idéntico al de la estación de Andalgalá.
- ✦ La relación entre velocidad de vientos y presión atmosférica es inversa, pero lo que no resulta muy notorio, ya que la segunda se mantiene homogénea casi todo el año.

L. De la Hidrología: características físicas de la cuenca, características de la red de drenaje y cantidad de agua superficial

- ✦ La cuenca es pequeña, su superficie es de 224.20 Km². Su altura media es de 1200 m, cuya altura más frecuente se encuentra entre 2800 y 3200 msnm. De la curva hipsométrica, se puede observar que la cuenca bajo estudio se

encuentra en un estado intermedio del ciclo de erosión, entre la fase de equilibrio y la de vejez.

- ✦ La determinación de pendiente media por el criterio de Alvord, demuestra que la misma es de 70,81%.
- ✦ La orientación de la cuenca del río Andalgalá es NNE-SSW. A causa de ello es que cuenta con mayor porcentaje de laderas umbrías (>50 %), las que poseen mínima exposición solar, favoreciendo la retención de la humedad.
- ✦ El orden de la cuenca del río Andalgalá, según el modelo de Strahler (1964), resultó 5 y la densidad de drenaje de la cuenca es 2,60, es decir que la cuenca es del segundo tipo, bien drenada y de baja densidad.
- ✦ La constante de estabilidad del río, la inversa de la densidad de drenaje, es alta, con un valor obtenido de $C = 7,70$.
- ✦ A grandes rasgos, la cuenca del río Andalgalá, coincide con el modelo de drenaje angulado, originalmente dendrítica y posteriormente modificada por el avance de los procesos erosivos, los cuales fueron condicionados por la litología y la estructura de la roca.
- ✦ El tiempo de concentración (T_c) de la cuenca, según la fórmula de Kirpich, en minutos es de 2 días 18 h.
- ✦ La información registrada de caudales es parcial, con faltantes importantes de mediciones mensuales y anuales durante el período considerado (Enero 1996 a Junio 2007).
- ✦ De los hidrogramas de caudales promedios mensuales de las estaciones de aforo de la subcuenca se puede observar que todos se comportan similarmente: muestran un pico máximo durante el primer trimestre del año y luego disminuyen paulatinamente. La diferencia máxima entre las estaciones, radica en que las que se encuentran más cercanas a la salida de la subcuenca poseen mayor caudal que las más alejadas, esto lógicamente se debe al aporte de los cursos afluentes menores.

- La comparación con los promedios de agua precipitada en las estaciones meteorológicas más cercanas, permite observar una respuesta tardía de precipitación-escorrentía. Ello puede deberse a que existiría otro proceso que aporta agua a los cauces, como por ejemplo alimentación de aguas subterránea, lo cual es común en este tipo de corrientes perennes efluentes.
- De los hidrogramas anuales se puede observar que para todos los puntos de aforo, los eventos de crecida coinciden en el año 1997, excepto en el 2006 en el punto de aforo "Río Candado aab del A° Minas", ya que, si bien coincide con un evento de crecida para el A° Minas muestra un caudal muy alto ($1.718 \text{ m}^3/\text{s}$) en relación al aporte del mismo ($0.259 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que para el Río Candado, no se registró un evento de crecida de tal magnitud que indique contribución desde este cauce ($0.400 \text{ m}^3/\text{s}$). Esta diferencia importante puede atribuirse a un probable error de medición.
- Al igual que en el caso de la variación de caudal a lo largo del año, se puede observar que el caudal del Río Andalgala en La Toma supera ampliamente al de los otros puntos de aforo, los ríos Candado y Blanco, ambos, antes de su confluencia con cursos afluentes, se comportan idénticamente.
- El caudal disponible, desarrollado por Seyhan (1976), para Q_{10} , Q_m y Q_w , para la cuenca del Río Andalgala resultó $89985.33 \text{ Hm}^3/\text{año}$, $2673.07 \text{ Hm}^3/\text{año}$ y $19854.8265 \text{ Hm}^3/\text{año}$, respectivamente. Considerando estos caudales y relacionándolos con el área de la cuenca, el caudal disponible por Km^2 , para Q_{10} , Q_m y Q_w , resultaron $401.36 \text{ Hm}^3/\text{año}/\text{Km}^2$, $11.92 \text{ Hm}^3/\text{año}/\text{Km}^2$ y $88.55 \text{ Hm}^3/\text{año}/\text{Km}^2$.
- Los caudales máximos para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años son menores para el Arroyo Minas, y van creciendo según se van acercando hacia el punto de salida de la cuenca. Los ríos Candado y Blanco coinciden en su comportamiento.

M. De la geomorfología

La forma de los terrenos dentro de la cuenca del Río Andalgala, se encontraron diversas formas originadas por los procesos combinados glaciares y periglaciares, gravitacionales, fluviales, influenciados por la litología y la estructura. En la

actualidad el agente formador activo es el fluvial y el gravitacional, siendo este último favorecido por la acción antrópica.

La geomorfología mapeada precisa el ajuste de campo de los sectores a los que no se ha podido ser acceder.

N. De la tasa de erosión de suelo

- ✚ El modelo de la tasa de erosión A para las lluvias de Mina (MetMina), es casi un 73% superior a la estimada para la estación meteorológica Andalgalá.
- ✚ Las unidades de paisaje mayormente susceptibles a la erosión son laderas de alta y media pendiente. Un análisis de los factores que influyen permitió observar que el factor de mayor influencia es el Factor K, junto con el factor LS, siendo la erosividad de la lluvia Baja (500-1000), tanto en Andalgalá como en Mina.
- ✚ El valor de Erosión potencial para cada unidad varía entre Ligera a Baja para las unidades de paisaje terraza y cumbre, y salta a muy alta para laderas de media a alta pendiente.
- ✚ Para obtener un valor promedio de la cuenca, se precisa ajustar los resultados obtenidos con: estimación de A de los sectores a los que no se ha podido acceder, y con registros de precipitación en al menos tres estaciones pluviométricas más, una ubicada en la subcuenca del Río Candado (aguas arriba de la confluencia con el A^o Minas), otra en el sector medio de la cuenca (Río Candado aguas arriba del Río Blanco), y otra en la subcuenca del Río Blanco.

O. Conclusiones generales y recomendaciones

La cantidad de agua dentro de la cuenca se vuelve mayormente significativa cuanto más nos acercamos a la salida de la misma, es por ello que se interpreta que no sólo los afluentes principales y perennes son los que aportan la cantidad de agua más importante, sino que los cauces menores, algunos intermitentes y el carácter efluente de casi todos los cauces, representan los mayores aportes a la cuenca. Por esto se puede llegar a la conclusión que la modificación de los cursos de agua en las subcuencas de aporte no representarían cambios significativos en el caudal final de la cuenca, siempre y cuando el balance de agua mantenga un equilibrio similar al actual.

Respecto a la tasa de erosión hídrica del suelo, si se toma como modelo el sector en el que pudo ser medida, no representa un riesgo alto considerando que la erodabilidad de la lluvia es baja, sin embargo el índice de erosión potencial es muy alto debido a la presencia de laderas de pendientes muy altas, por lo que la modificación de la configuración superficial del terreno deberá tener en cuenta una racional extracción de la cubierta vegetal, prestando atención en el gradiente de las pendientes y sus soportes.

Frente a una posibilidad de desarrollo económico en cualquier sitio dentro de esta cuenca, estos dos ítems son los únicos sobre los cuales el hombre puede llevar un control, ya que el clima y la respuesta de los terrenos ante éste seguirán su curso natural, por lo cual la sostenibilidad de un proyecto dependerá de la ingeniería que favorezca mantener el equilibrio actual, o hasta incluso mejorarlo, en pos de una mejor calidad de vida de las poblaciones que cuentan con el sostenimiento ecológico de la cuenca.

VIII. Bibliografía

- Aceñolanza, F.G. y Toselli, A.J. (1981) *“Geología del Noroeste Argentino”*. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales. San Miguel de Argentina. N° 1287. 204 p.
- Banchig, A. L.; Moreiras, S. M; y Banchig, P. N. (2009) *“Eventos de Avalanchas y Represamientos Reiterados de Ocurrencia Prehistórica en la Cuenca del Río Villavil, Sierra de Aconquija, Andalgalá”*. Revista de la Asociación Geológica Argentina N° 65. 10 p.
- Castellucio G. para MIM Argentina Exploraciones Exploraciones y Grupo Xstrata Copper Americas. (2005) *“Informe de Impacto Ambiental, Etapa de Exploración Filo Colorado”*. Argentina. 99 p.
- Cruzate, G. A.; Moscatelli, G. N.; Panigatti, J.L. para INTA. (2009) *“Suelos y ambientes de Catamarca”*. Buenos Aires, Argentina.
- Dirección Provincial de Estadística y Censo, Dirección de Producción Estadística, Departamento Estadísticas Económicas, en base a información de INDEC (2007). *“Censo Agropecuario 2002. Agenda Estadística”*. Buenos Aires, Argentina.
- Fundación Miguel Lillo y BHP Copper; Lavilla, E.O. y González, J.A. (Edit). (1999) *“Biodiversidad de Agua Rica”*. San Miguel de Tucumán, Argentina. 611 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, Ministerio de Economía y Secretaria de Política Económica (2002). *“Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001”*. Buenos Aires, Argentina.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, Ministerio de Economía y Secretaria de Política Económica (2002) *“Censo Agropecuario 2002”*. Buenos Aires, Argentina.
- Knigh Piésold y BHP Copper (1997) *“Yacimiento Agua Rica Estudio de Impacto Ambiental para la Etapa Exploratoria”*. Argentina. 304 p.
- Landtwing et al. Economic Geology (2002). *“Evolution of The Breccia-Hosted Porphyry Cu-Mo-Au Deposit at Agua Rica, Argentina. Progressive Unroofing of a Magmatic Hydrothermal System”*. Vol. 97,. 20 p.
- Mancilla Escobar, G. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura (2008). *“Uso de La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el Campo Forestal”*. Chile. 64 p.

O & L CONSULTORES S.A.C. para Minera Peñoles de Perú S.A. Proyecto Minero Racaycocha (2009). *“Estudio Hidrológico Racaycocha”*. Perú. 54 p.

Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno Español (2004). *“Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico”*. 5^o Edición. España. 49 – 78 p, 95 – 159 p, 165 – 206 p., 211 – 315 p., 321 – 377 p., 549 – 619 p.

Morlans, MC (2003). *“Universidad Nacional de Catamarca. Regiones Naturales de Catamarca, Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas”*. Argentina. 32 p.

Pérez Macías, M.; Puche, M. y Bracho, G. Revista Digital CENIAP HOY (2007). *“Herramientas para el Control de Calidad de Datos Climáticos y su Análisis con Fines de uso Agropecuarios”*. Venezuela. 21 p.

Racca, Juan M.G. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología N°77. *“Análisis Hipsométrico, Frecuencia Altimétrica y Pendientes Medias a Partir de Modelos Digitales del Terreno”*. Argentina, 2007. 8 p.

Rescan para Minera Agua Rica (2007). *“Informe de Impacto Ambiental para la Etapa de Explotación, Proyecto Agua Rica”*. Volumen I. Argentina. 867 p.

SEGEMAR, Caminos, R. (Edit), Panza, J.L., Etcheverría, M.P., Pezzutti, N.E. (Coord), Rastelli, D.C. (Coord, Edit.) (1999) *“Geología Argentina”*. Buenos Aires, Argentina. Anales N° 29. 810 p.

Servicios Mineros y Gestoría Ambiental SMGA para Agua Rica (2006). *“Actualización Bianual del Informe de Impacto Ambiental de Exploración Agua Rica”*. Catamarca, Argentina. 58 p.

Uruirtia, C.B. y Cruzate, G. para INTA (2007). *“Aplicación de la Ecuación USLE en la Provincia de Buenos Aires”*. Buenos Aires, Argentina. 14 p.

Vector Argentina S.A. para MIM Argentina Exploraciones S.A. (2004) *“Estudio Hidrológico y de Calidad de Aguas Superficiales, Proyecto Filo Colorado”* Argentina. 49 p.

Water Managment Consultants para Minera Agua Rica (2005). *“Informe de la Caracterización Hidrológica”*. Argentina. 186 p.

www.edafologia.ugr.es: Tema 5. Erosión Hídrica. Evaluación con la USLE. 03/10/2008.

www.glaciares.org.ar: Glaciares de Argentina. 29/09/2010.

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Cuenca del Río Andalgalá, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca.

www.miliarium.com: Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisado (RUSLE). 26/09/2008.

www.mineria.gov.ar/estudios/irn/cata/p-cata.asp. Dames & Moore para la Secretaría de Minería de la Nación. “*Proyecto de Asistencia para el sector Minero Argetino (PASMA)*”. Información Ambiental de Base para la Provincia de Catamarca. Argentina, 1997. 20/09/2008.

www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_24n1/echeverría_24-1.pdf. Echevarría, N., Vallejos, A.G., y Silenzi, J.C. “*Erodabilidad de Suelos del Sur de la Región Semiárida Argentina*”. Argentina, 2006. 04/09/2008.

www.webdelprofesor.ula.ve: Capítulo 4: Geomorfología de Cuencas. 16/08/2010.