

ENSANCHE GARGANTA DE DESVIO RIO ANDALGALA HACIA A° LA CAÑADA

Claudio Fernando Bravo

Consultor especializado en Proyectos Hidráulicos
Pringles 1030 C.P. 4107 – Yerba Buena - Tucumán – Republica Argentina – Tel: 54381-4206103
E-mail:cfbravo1@arnet.com.ar - Web: <http://www.simposio.rios.net.ar/>

RESUMEN

En 1915 la ciudad de Andalgalá sufrió una grave inundación cuando el río avanzó violentamente sobre la planta urbana y tierras agrícolas.

En el año 1927, para evitar acontecimientos similares, agua arriba del poblado se desvió el río Andalgalá, hacia el A° La Cañada. Este se ubica en forma paralela al río Andalgalá, desemboca agua abajo de la ciudad sobre el cauce originario.

A lo largo de 81 años de funcionamiento se produjo una erosión en la garganta de desvío que produjo farallones verticales en terreno aluvional de más de 30m, con probabilidad de deslizamiento y una reducción notable del ancho medio del río que pasa de 50m a una sección de apenas 8m. Esta modificación geométrica de la sección de tránsito incidía en el funcionamiento hidráulico del río haciéndolo pasar de un régimen netamente torrencial a un régimen tranquilo con el peligro real de desborde por sobre el terraplén de cierre en el antiguo cauce del río.

Como solución se planteo una adecuación del cauce en la garganta a geometrías compatibles a un escurrimiento hidráulico más seguro asociado a los niveles de resguardo del terraplén de cierre original, que además permita el tránsito de posibles aluviones.

ABSTRACT

In 1915 the river invade violently Andalgalá city and the lands used for agriculture that surround it, the consequence was an enormous flood.

Fourteen years later, in 1927 a deviation of Andalgalá river to La Cañada stream was made. This stream is parallel to Andalgalá river and flows into the original bed of the river, downstream the city.

During 81 years, the use of this deviation gorge has created, on an aluvional ground, vertical cliffs of more than 30 m. The consequences were landsliding and narrowing of the gorge. This reduction of the average width of 50 m to 8 m, had changed the hydraulic performance of the river, from torrential to quiet. There was a real risk of overflowing over the embankment that close the oldest riverbed.

A proposed solution was to adequate the riverbed geometries to be compatible with a safer hydraulic flow associated with safer levels to protect the original closure embankment that could also let any overflow pass without risk.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Andalgalá, ubicada 111km en línea recta al noroeste de la capital de la provincia de Catamarca, sufrió una grave inundación en el mes de enero del año 1915, cuando el desborde del río homónimo avanzó violentamente con una masa de agua, lodo, piedras y árboles sobre un sector de la planta urbana y tierras agrícolas. Fallecieron 67 personas sobre un poblado que en esa fecha tenía 4000 hab.

Como solución para evitar acontecimientos similares se propuso desviar el río, unos 3600m agua arriba de la plaza principal, hacia el A° La Cañada. Este cauce que se ubica en forma paralela al río Andalgalá, desemboca en este último 2760m agua abajo desde la plaza principal. La obra se concretó entre los años 1921 y 1927.

Las dificultades que encontraron durante la excavación, (se realizó con dinamita, picos,

barretas y palas y el transporte con carretillas y carros tirados con bueyes), incidieron en que la pendiente adoptada en el sector de la garganta sea menor que la natural del río agua arriba del desvío: 3,9% a 1,6%. El proyectista, Ing. J. Dietsch, sostenía que “el agua realizaría un trabajo de zapa, cuando se presentaran la grandes crecientes”, cosa que de hecho sucedió. Desde su construcción al año 2008 transcurrieron 81 años en los que el fondo del cauce descendió no menos de 15m con respecto al nivel de base original, alcanzando una nueva pendiente de equilibrio asociada al nivel de fondo del cauce natural del A° La Cañada.

En el descenso en la garganta, el flujo del río erosionó alternativamente los pies de ambas laderas de constitución aluvional susceptibles a la erosión. En consecuencia se desestabilizaron gran parte de las mismas, generando en tramos del recorrido, farallones verticales de más de 30m con una muy alta probabilidad de deslizamiento sobre el cauce.

Asociado a este problema del descenso del cauce, se conformó sobre el mismo entallado en en cuña muy estrecho en relación al ancho medio del río agua arriba (50m) y además en zigzag. En el tramo de la garganta el ancho medio llegaba a los 8m. La reducción de sección y el cambio de pendiente incidieron en el tipo de escurrimiento hidráulico del río induciéndolo pasar de un régimen netamente torrencial a un régimen tranquilo con una longitud de influencia hacia aguas arriba del estrechamiento de unos 350m. Esto generaba una sobreelevación del nivel de agua del río tal que en el año 1984 se produjeron desbordes por sobre el terraplén de cierre en el antiguo cauce del Río Andalgalá, con el riesgo que ello representa. El borde superior del terraplén se ubica 20m en el inicio del desvío y a 12m en el inicio del terraplén.

OBJETIVO

Minimizar los niveles de riesgo a inundaciones y a aluviones de la ciudad de Andalgalá a valores compatibles con la población y la infraestructura ubicada agua abajo sobre el antiguo cauce del río homónimo.



Figura 1 – Situación de la excavación original 1927



Figura 2 - Situación actual, año 2005

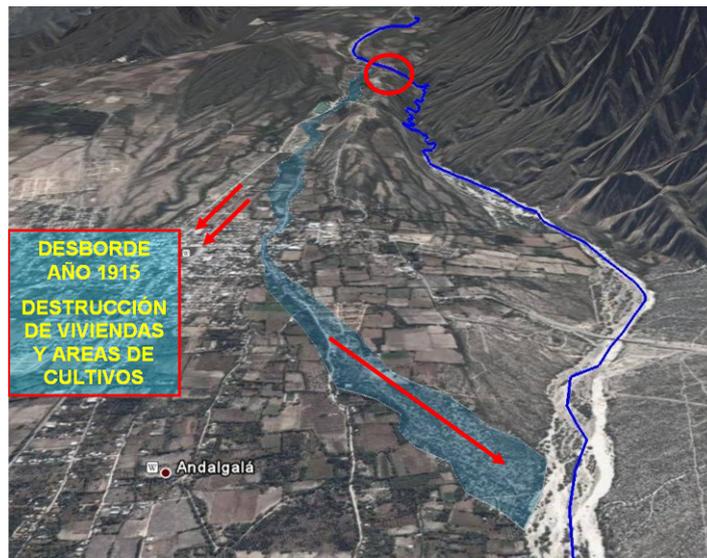


Figura 3 – Ubicación de la obra de desvío (imagen Google)

MEDIDAS ESTRUCTURALES PROPUESTAS

Como solución al problema puntualizado se planteo una adecuación del cauce, tanto en el sector anterior al ingreso a la garganta como en ella misma a geometrías compatibles a un escurrimiento hidráulico más seguro asociado a los niveles de resguardo del terraplén de cierre original, y que además permita el tránsito de posibles aluviones característicos del entorno natural. El proyecto planteo la descarga de laderas a valores compatibles de seguridad al deslizamiento, la protección del pie de ambas barrancas del nuevo cauce, como así también de barreras transversales permeables en arco que orienten hacia el centro del cauce el flujo principal, ambas constituidas con grandes piedras, material que abunda en el lugar.

CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO - RÍO ANDALGALÁ

La cuenca del río Andalgalá posee una superficie de 237,4 km² hasta el cruce con la Ruta N° 48. Su red hidrográfica nace a 5.450msnm en el Cerro Nevado del Candado, recibiendo por margen derecha río Minas, con nacientes en el Cerro Negro a 4.660msnm. A los 1920msnm se

produce la confluencia de los dos ríos Candado y el Blanco. Los cauces mencionados descienden 3.530 metros en 20 km de longitud, con pendiente media del orden de 17,65%. A cota 1.388 msnm se ubica la toma en parrilla. A cota 1.200msnm se ubica el desvío del río Andalgalá al A° La Cañada, mientras que la ciudad de Andalgalá con 16000hab de población actual se ubica a cota 1.073msnm.

En las faldas montañosas de fuerte pendiente del faldeo sur del Nevado del Candado, la gravedad es el principal accionador de suelo hacia las zonas bajas y el agua es el principal *lubricante* y *vehículo* para que ello ocurra. Los sectores de fuerte pendiente incididos por la meteorización de sus laderas irán *desgastándose y descendiendo siempre*. Esta hipótesis se puede asumir como válida mientras no ocurran nuevos fenómenos de movimientos de tectónica de placas que alteren la estabilidad actual. Este enunciado se cumplirá inexorablemente en un río como el que estamos analizando, con una importante energía potencial disponible, laderas disponibles para alimentar de material a transportar, con muy fuertes pendientes y caudales de pico de crecida de hasta 2000m³/s.

Asociado a esta realidad física se pueden esperar importantes volúmenes de suelo movilizados durante las crecientes extraordinarias, mientras que el deslizamiento de una ladera puede incorporar al cauce volúmenes superiores a los 50.000m³ en un solo evento. De allí otra razón de peso de dejar libre de obstáculos la sección de pasaje de la garganta. Cuando el río sale de la zona encajonada conformada por barrancas altas, este llega a la zona de cono de deyección donde las barrancas empiezan paulatinamente a perder entidad y el río se desvía por múltiples cauce, con tirantes mucho menores que los que traía agua arriba. Al producirse este fenómeno disminuye su capacidad de transporte y por lo tanto va disminuyendo el tamaño de los rodados transportados. En todo este sector se produce una gran deposición de sedimentos, que se pueden advertir muy marcadamente en el puente ferroviario ubicado unos 10km agua debajo de la garganta donde el espacio entre el fondo de superestructura y lecho apenas alcanza 1m en algunos tramos.

PRECIPITACIONES

La precipitación media anual para Andalgalá de 306.6mm. El análisis estadístico de precipitaciones máximas diarias se realizó con la Estación Belén CT, que se ubica aproximadamente a unos 85km al oeste de la salida de la cuenca del Río Andalgalá, y que posee características climáticas similares y que además posee un registro más extendido de mediciones de lluvias: Precipitación máxima diaria (mm) - recurrencia (años) Tabla 1

Tabla 1

| ESTACION | 50 AÑOS | 100 AÑOS | 200 AÑOS |
|----------|---------|----------|----------|
| BELEN | 145 mm | 163 mm | 180 mm |

CALIBRACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO DE 87MM (25 Y 26 DICIEMBRE 1996).

Durante los días 25 y 26 de Diciembre de 1996 se registró una importante creciente, originada por una tormenta en la cuenca que fue registrada por la Estación Meteorológica Campamento del Proyecto Agua Rica en la Quebrada Minas. El monto total del evento fue de 86,78mm distribuidos en dos tormentas espaciadas en 1 hora y media, de 47 (duración 3,5hs) y 40mm

(duración 7,5hs) cada una. La intensidad máxima registrada en los primeros 47mm fue de 97mm/hora. Al ser este el único dato medido de una lluvia que se registró a más de 3300msnm fue importante para calibrar el modelo. Esta creciente esta próxima a una tormenta de 10años de recurrencia.

A continuación se expone una secuencia de la creciente de diciembre de 1996, con fotografía obtenidas por el Geólogo Gabriel López Vázquez, quien en esa oportunidad trabajaba en la empresa Agua Rica, quien las facilitó.

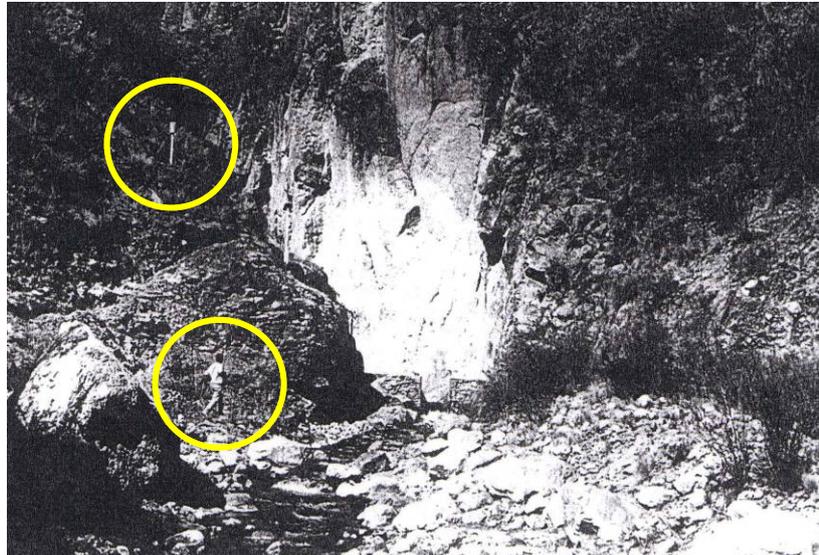


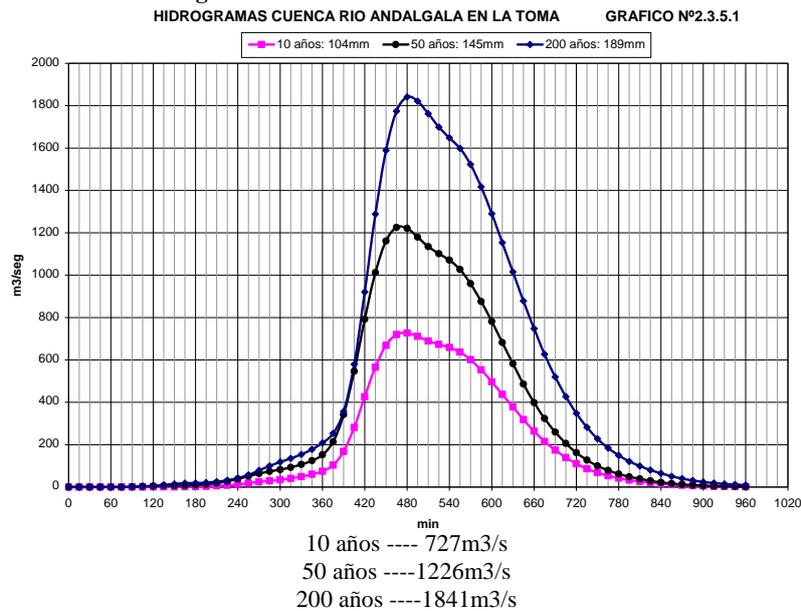
Figura 4 – Octubre de 1995. Vista de la quebrada del río Candado agua arriba de la confluencia con el río Minas. Están indicados con círculos amarillos la ubicación del pluviometro y una persona en promedio 1.75m para tener una idea de la altura que alcanzó el agua



Figura 5 – Enero de 1997. Estado en el que quedó el Pluviómetro después de ser alcanzado por la creciente

CRECIENTES DEL RÍO ANDALGALÁ ASOCIADAS A UNA RECURRENCIA

Asociado a este estudio de precipitaciones obtuvo el siguiente orden de magnitud de los caudales pico de creciente: Ver grafico 1



ANTECEDENTES DE CRECIENTES

1915: La crecienta que más daño causó en Andalgalá ocurrió en el año 1915. Se corroboraron estos datos en los estudios del proyecto de desvío del río Andalgalá a La Cañada elaborado por el Ing. J. Dietsch en noviembre de 1921. Después de aquel suceso, que llegó a cobrar inclusive vidas humanas, se decidió cambiar el curso del río, mediante un terraplén de desvío y un corte en la ladera de un cerro.

Tras analizar seis variantes se optó por el desvío que existe actualmente. El caudal de la crecienta de 1915 fue estimado por algunos observadores superior a 1000m³/s mientras que el Ing. Dietsch lo estimó en aproximadamente 700 m³/s.



Figura 6 – Antiguo cauce del río Andalgalá. Hoy calle central con el antiguo puente que lo atravesaba .

1984: Durante el mes de Febrero de 1984 ocurrió una crecida del río de características

extraordinarias que durante unos 20min estuvo sobrepando agua sobre el terraplen y que de haber durado unas horas más hubiera puesto en riesgo a esa estructura y hubiera ingresado a la ciudad. Según el relevamiento realizado (sección y pendiente longitudinal) el pico de crecida podría haber superado los 2000m³/seg.

Constatando con los niveles de agua observados en el dique derivador cuando alcanza los 2,5m de los estribos estarían pasando los 700m³/seg y un pico de 2.000m³/seg, considerando un tirante de 4metros sobre coronamiento del muro del dique como ocurrió en el año 1984.

1996: Durante los días 25 y 26 de Diciembre de 1996 se registró una importante creciente, originada por una tormenta en la cuenca que fue registrada por la Estación Meteorológica Campamento del Proyecto Agua Rica en la Quebrada Minas. El monto total del evento fue de 86,78mm distribuidos en dos tormentas espaciadas en 1 hora y media, de 47 (duración 3,5hs) y 40mm (duración 7,5hs) cada una. La intensidad máxima registrada en los primeros 47mm fue de 97mm/hora.

Esta creciente se concentró en el río Candado y ocasionó la rotura de la toma de agua sobre el río Andalgalá, además de proveer un gran volumen de sólidos en suspensión, originados probablemente en un “volcán”.

Según antecedentes fotográficos de las consecuencias y rastros dejados por la creciente, el pico de crecida podría haber alcanzado los 400m³/seg antes de la confluencia con el río Minas, lo que arroja un caudal específico de 10m³/seg.km². Ver Fotos comparativas.



Figura 7 – Enero de 1996 agua debajo de la confluencia de los ríos Candado y Blanco



Figura 8 - Enero de 1997 agua debajo de la confluencia de los ríos Candado y Blanco

Situación actual: Antes de que el flujo ingrese a la zona de la garganta, el N° de Froude es de 0.18, con una velocidad media de 2.7 m/s y un tirante de 24.77 m sobre el fondo. A medida que el agua ingresa a la garganta el N° de Froude va creciendo hasta llegar 2.5 (régimen supercrítico), mientras la velocidad media se va incrementado gradualmente hasta los 22.31 m/s y el tirante disminuyendo hasta la salida de la garganta

A continuación se muestran los parámetros hidráulicos en la zona de la garganta y un planta demarcando los perfiles en la zona de la garganta.

Tabla 2

| Perfil | Cota min. | Cota Agua | Línea Energía | Pend. | Vel (m/s) | Área (m ²) | Froude |
|--------|-----------|-----------|---------------|--------|-----------|------------------------|--------|
| 2 | 1197.64 | 1215.06 | 1215.46 | 0.0007 | 3.13 | 823.3 | 0.24 |
| 1 | 1197.11 | 1214.96 | 1215.39 | 0.0012 | 3.52 | 746.33 | 0.27 |
| 0 | 1192.94 | 1215.03 | 1215.21 | 0.0004 | 3.46 | 1468.39 | 0.24 |
| -1 | 1190.21 | 1214.98 | 1215.19 | 0.0002 | 2.7 | 1516.5 | 0.18 |
| -2 | 1188.25 | 1210.77 | 1214.78 | 0.0155 | 9.59 | 260.97 | 0.65 |
| -3 | 1186.44 | 1204.74 | 1213.69 | 0.0596 | 13.26 | 150.83 | 1 |
| -4 | 1184.13 | 1200.84 | 1210.74 | 0.0336 | 13.94 | 144.18 | 1.11 |
| -5 | 1176.98 | 1185.42 | 1206.88 | 0.0543 | 22.31 | 129.56 | 2.5 |
| -6 | 1174.16 | 1178.37 | 1198.63 | 0.2191 | 24.22 | 134.26 | 4.25 |
| -7 | 1172.69 | 1177.08 | 1191.54 | 0.1661 | 21.89 | 148.26 | 3.71 |
| -8 | 1169.47 | 1179.69 | 1183.49 | 0.0100 | 10.76 | 317.69 | 1.1 |



Figura 11.- Realizando trabajos de excavación. Las máquinas dan la escala

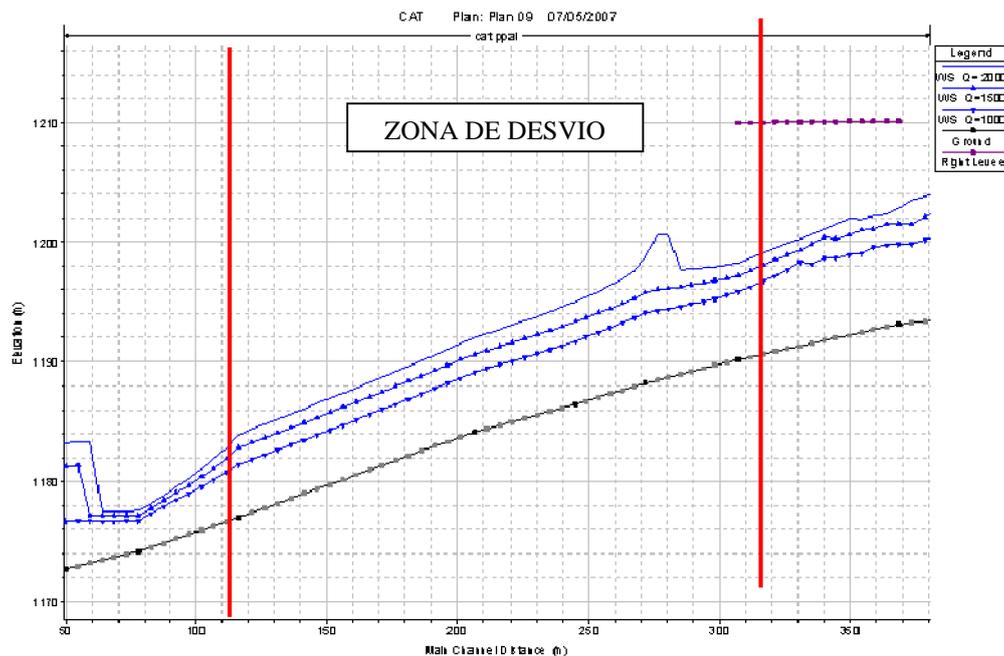


Figura 12.- Obra concluída en la situación actual con detalle de defensa longitudinal y arcos de piedras transversales

Situación con la modelización de la obra propuesta

Tabla 3

| Perfil | Cota Min | Cota Agua | Línea Energía | Pend. | Vel. (m/s) | Area (m ²) | Froude |
|--------|----------|-----------|---------------|--------|------------|------------------------|--------|
| 1 | 1194.92 | 1205.6 | 1207.08 | 0.0033 | 5.55 | 425.87 | 0.59 |
| 0 | 1193.15 | 1202.84 | 1205.92 | 0.0108 | 7.77 | 257.55 | 1.00 |
| -1 | 1190.17 | 1198.24 | 1204.01 | 0.0205 | 10.83 | 204.8 | 1.37 |
| -2 | 1188.25 | 1198.76 | 1202.59 | 0.0095 | 9.07 | 265.58 | 0.94 |
| -3 | 1186.44 | 1194.98 | 1201.83 | 0.0224 | 11.91 | 192.74 | 1.38 |
| -4 | 1184.13 | 1192.02 | 1200.62 | 0.0312 | 13.25 | 169.57 | 1.61 |
| -5 | 1176.98 | 1183.93 | 1196.32 | 0.0536 | 15.73 | 136.84 | 2.06 |
| -6 | 1174.16 | 1177.55 | 1191.63 | 0.1788 | 16.62 | 120.32 | 3.71 |
| -7 | 1172.69 | 1183.24 | 1184.06 | 0.0019 | 4.15 | 534.82 | 0.44 |
| -8 | 1169.47 | 1179.73 | 1183.56 | 0.0091 | 10.8 | 319.51 | 1.10 |



CONCLUSIONES

Conceptualmente el caso particular de la obra de desvío del río Andalgalá al cauce del A° La Cañada es una medida estructural activa que fue correctamente planteada, ya que mitigó y mitiga el riesgo de ingreso de aluviones a la planta urbana de una ciudad ubicada en un cono aluvional, desviándolos hacia otro cauce natural que no compromete a la infraestructura existente y finalmente los vuelve a depositar en el mismo cauce del río Andalgalá.

El caudal de diseño original de 1000m³/s para la obra de desvío, fue superado en dos oportunidades, donde en la creciente de 1984 el caudal fue superior a los 2000m³/s.

Si bien el río mismo generó un trabajo de excavación adicional por erosión retrograda de más 15m con respecto al fondo de la excavación original, esta se generó en forma meandrante y de cuña en V, geometría que incidía muy fuertemente en el funcionamiento hidráulico del río agua arriba de la garganta. Al generarse un cambio a régimen de escurrimiento subcrítico en los 300m agua arriba del cierre, incidía a que se produzca una deposición temporaria de los tamaños más importantes de rodado, modificando fuertemente las secciones de transversales.

El tránsito presentaba una alta inestabilidad por los cambios de las variables geométricas durante los picos de crecientes.

Se adecuó la sección para que transiten con eficiencia los caudales esperables para recurrencias de 200 años. Además se contempló una protección longitudinal sobre ambos márgenes de escollera y la conformación de arcos de piedras sobre el cauce, a modo de umbrales permeables de control vertical, que mantengan el flujo sobre el centro y que eviten una erosión mayor. Estas obras se realizaron con piedras del lugar, que abundan en sector de la obra, razón por la cual los costos de mantenimiento, frente a alguna reparación es accesible.

Si bien no se cuenta con un plano de zonas de riesgo de deslizamiento de la cuenca y sería recomendable que se realice uno, en recorridos a la cuenca alta se reconoció muchos sectores con cicatrices de deslizamiento, algunos recientes. Además sobre la cuenca alta existen altas probabilidades que se desarrollen algunos emprendimientos mineros.

El manejo de cauces en conos aluvionales es de compleja solución y por lo tanto esta fuera de los alcances de este trabajo. La solución adoptada en 1921 y adecuada en el 2008 resulta ser con el análisis realizado la más adecuada para el caso de estudio.

Agradecimiento. A la Municipalidad de Andalgalá por haber apoyado la gestión de esta obra, a Minera Alumbra por haber financiado los estudios, y a Minera Agua Rica por haber facilitado los datos de Lluvias por ellos registrados en la cuenca superior.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lenzi M. A., D'agostino, V. Sonda D. (2001) Reconstrucción Morfológica y Recuperación Ambiental de los torrentes. Traducido por el CEIHMA en el 2003 e impreso en Febrero del 2009. Editorial Magna

Vide Juan P. Martín (2003). Ingeniería de Ríos.

Lenzi M. A., Comiti F., Mao L., Andreoli A., Pecorari E., Rigon E. (2006) El Control de detritos leñosos y el manejo de la vegetación en el cauce - Guía Técnica.

Bravo Claudio F. (2006). Plan Director de los Usos del Agua, Municipalidad de Andalgalá. Impreso 2008. Editorial Magna

Bravo Claudio F. (2000). Convivencia entre ríos de montaña y fincas agrícolas. Regional Norte - Comité Argentino de Presas.