

# EVENTOS DE AVALANCHAS Y REPRESAMIENTOS REITERADOS DE OCURRENCIA PREHISTÓRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VILLAVIL, SIERRA DE ACONQUIJA, ANDALGALÁ, CATAMARCA

Aldo Luis BANCHIG<sup>1</sup>, Stella Maris MOREIRAS<sup>2</sup> y Paolo Nahuel BANCHIG<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Email: abanchig@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> CONICET, IANIGLA-CCT, Mendoza. Email: moreiras@mendoza-conicet.gov.ar

## RESUMEN

Este trabajo presenta la existencia de un cuerpo sedimentario cuyos mecanismos depositacionales involucran procesos gravitacionales de gran envergadura, identificado como una avalancha de rocas ( $2,69 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), 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). Las múltiples reactivaciones de este depósito han generado reiterados represamientos en el río Villavil. La zona de estudio se emplaza en afloramientos de rocas ígneas graníticas del basamento y en proximidades de la intersección de dos grandes fallamientos regionales que, al parecer, han influido en la generación de estos eventos. Evidencias de actividad cuaternaria de los fallamientos regionales permiten deducir una posible sismogénesis asociada a estas estructuras, aunque esto no se correlaciona con la sismicidad histórica. La ocurrencia de colapsos sucesivos asociados a la oclusión reiterada del río Villavil, representa un riesgo potencial al desarrollo de la localidad de Villavil ubicada en la misma quebrada.

Palabras clave: *Aconquija, Río Villavil, Avalancha de rocas, Riesgo geológico, Neotectónica.*

**ABSTRACT:** *Avalanches and dammed valleys events of Prehistoric occurrence in the Villavil river basin, Sierra de Aconquija, Andalgalá, Catamarca.*

The study reports reactivations of an ancient rock avalanche ( $2.69 \times 10^9 \text{ m}^3$ ) generated in the eastern hillslope of Zapallar peak (3,100 m a.s.l.) in the southern sector of Sierra del Aconquija (Sierras Pampeanas). Multiple events of the original deposit have generated several natural dams in the Villavil river. The area is located in basement outcrops constituted by granites crossed by two regional faults that favored the occurrence of these events. Evidence of Quaternary activity of these regional faults suggests a seismic triggering mechanism associated with these structures even though this hypothesis is not supported by seismic historical records. The occurrence of these successive collapses related to damned paleo-lakes along the Villavil river is a potential risk for the development of Villavil village located in this gully.

Keywords: *Aconquija, Villavil river, Rock avalanche, Geological risk, Neotectonics.*

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa históricos más comunes en las sierras de Aconquija corresponden a flujos de detritos (Fauqué y González 2004, Moreiras y Coronato 2009). Lafone Quevedo (Nación 1880) reportó flujos de detritos severos encauzados en el río Andalgalá que afectaron los valles de Choya, Hoyada y Negro. El 16 de noviembre de 1913, intensas lluvias generaron flujos de detritos canalizados que impactaron sobre la villa de Andalgalá (Kühn 1915). En diciembre de 1915, flujos similares generados a partir de una precipitación de 166 mm, incremen-

taron el caudal del río Andalgalá hasta  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal medio  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), produciendo inundaciones en toda la villa de Andalgalá. Los daños más severos se registraron en casas, viñedos y campos cultivados. Estos episodios causaron, además, 12 víctimas fatales y 24 personas fueron reportadas desaparecidas (Kantor 1916).

En el borde occidental de la sierra de Aconquija, en las quebradas de Loma de la Aspereza, Zarzo y Loma Redonda a los  $27^{\circ}10'$  LS, fueron identificadas gigantescas avalanchas de rocas ( $5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 6,5 \times 10^7 \text{ m}^3$ ) (Fauqué y Strecker 1987). Estos eventos fueron asignados a una edad pleistocena media (0,6-1,2 Ma) en función del desarro-

llo de carbonato (estadio III-IV) en los depósitos y fueron asociados a los frentes orogénicos activos por lo cual se propone una génesis sísmica (Fauqué y Strecker 1988, 2007).

A pesar que estos lineamientos activos continúan hacia el sur, no habían sido descritos grandes colapsos hasta el momento en el área de estudio. Sin embargo, las particularidades topográficas y estructurales de esta región presentan un marco adecuado para la formación de procesos gravitacionales de gran envergadura. En el presente trabajo se analiza la ocurrencia de una enorme avalancha de rocas, en el sector medio del río Villavil, de-

nominada Zapallar. Los estudios geomorfológicos realizados sobre dicho evento extraordinario, son presentados enfatizando el carácter recurrente del movimiento, que ha represado sucesivamente el río Villavil. Esto representa un riesgo geológico potencial de gran impacto económico-ambiental para la zonas, de allí, la necesidad de analizar el grado de actividad de dicho evento y focalizar la investigación hacia los posibles mecanismos generadores.

Antecedentes sobre estos movimientos se pueden encontrar en los trabajos de Banchig *et al.* (2008) y Moreiras y Banchig (2008).

## AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en el distrito de Villavil, Departamento de Andalgalá, en el centro norte de la provincia de Catamarca, entre los 27° 26' 41" S a los 27° 36' 44" S y los 66° 22' 27" O a los 66° 30' 37" O (Fig. 1a). Este distrito se ubica a 10 km al este de la ciudad cabecera de Andalgalá, enclavada en el extremo sur de la sierra del Aconquija por lo cual más del 50% de su superficie está ocupada por relieve montañoso.

La localidad de Villavil está emplazada sobre la estrecha quebrada del río Villavil y su desarrollo urbano está condicionado por las particularidades morfológicas de este ambiente montañoso. Es habitada por unas 1.500 personas, que desarrollan la agricultura y ganadería como medio principal de sustento.

Asimismo, la quebrada del río Villavil es un corredor de servicios. A través de la misma corre el mineraloducto, que conduce el concentrado de mineral del yacimiento Bajo La Alumbreira a Tucumán y el tendido de alta tensión que provee de energía a las ciudades de Andalgalá, Belén y Pomán, con origen en la estación de Villa Quinteros (Tucumán) (Fig. 1c). Es vía de acceso también a la localidad de Las Estancias (Departamento Aconquija) y puestos pastoriles. En el pasado, sobre su margen izquierda corría el antiguo Camino Real (comunicación verbal arqueológica Dante Coronel).

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

El área de estudio está ubicada dentro de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales e involucra rocas del basamento cristalino, caracterizadas por oscuros esquistos biotíticos precámbricos y granitos paleozoicos con zonas adyacentes de esquistos biotíticos migmatizados (González Bonorino 1951). Estas rocas están afectadas por un fallamiento de carácter inverso y de alcance regional, que genera un diseño estructural particular de bloques elevados y basculados que conforman las sierras de Aconquija, Ambato, Ovejería y Santa Bárbara. Estos sistemas serranos tienen una distribución con forma de herradura y encierran una cuenca centrípeta con nivel de base local, para el relleno sedimentario correspondiente al bolsón de Pipanaco (Fig. 1b). Presentan también 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 Environmental Services Ltd. 2007).

La avalancha de rocas identificada se encuentra en el extremo septentrional de la sierra de Ambato, donde se interceptan dos estructuras regionales principales: a) un fallamiento N-S de carácter inverso, que levanta el bloque occidental de la sierra de Ambato, y b) una estructura transversal de rumbo NO-SE que atraviesa el complejo minero Agua Rica, alineando las quebradas del río Minas, al sur, y del río Blanco, al noroeste.

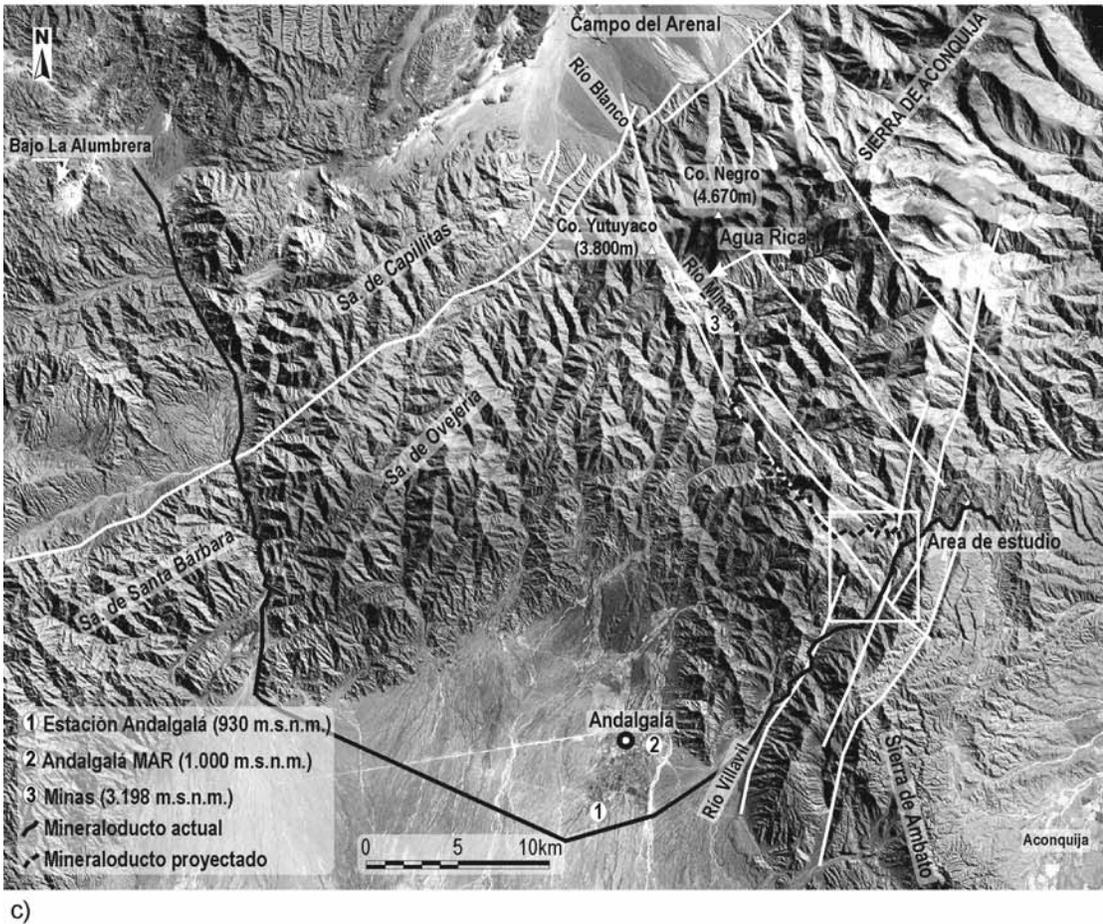
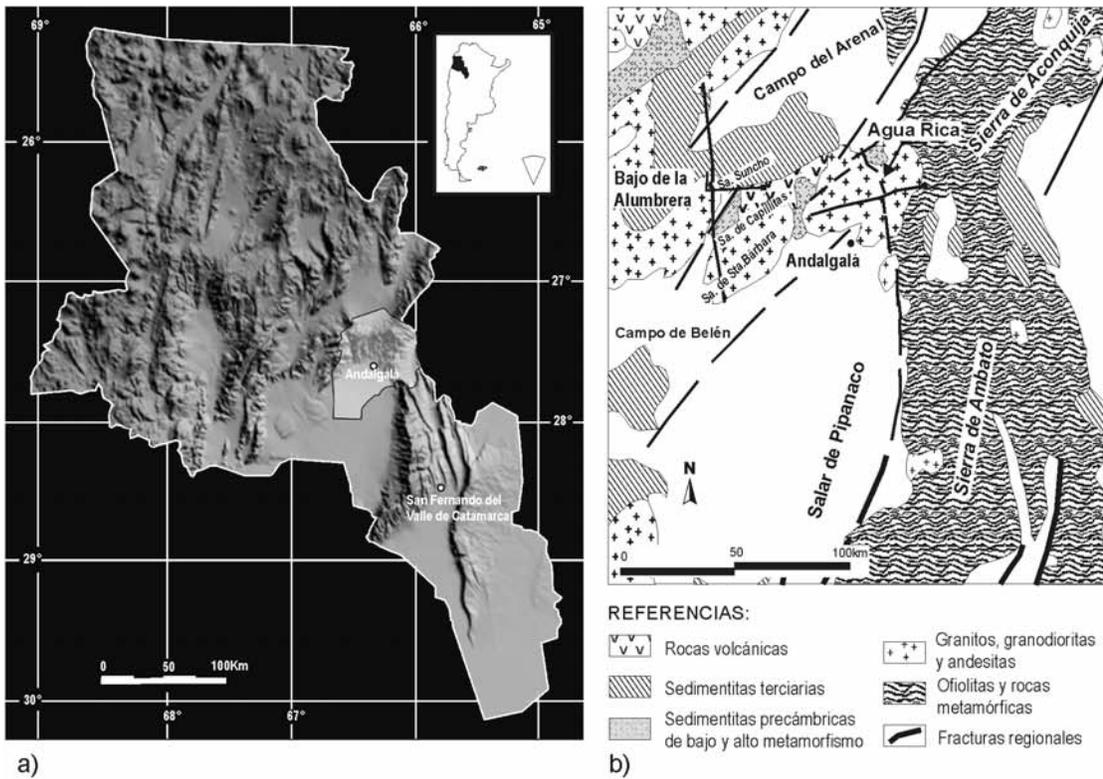
La primera estructura pone en contacto a dos unidades litológicas diferentes: en el margen oriental, rocas metamórficas y en el margen occidental, granitos. Los efectos de un intenso tectonismo se reflejan en esta estructura, en la quebrada del río Villavil. En este sector es posible observar el frente del bloque ascendido con un importante gradiente topográfico y frecuentes planos de fallas con buzamientos al este, que afectan a esquistos metamórficos. La segunda estructura presenta evidencias de desplazamiento de rumbo si-

nestral, efecto que se observa con un zigzag en la divisoria de aguas y desplazamientos en los pedimentos del borde occidental de la Sierra de Aconquija, enfrentado al Campo del Arenal (Fig. 2a). Esta estructura, tiene continuidad hacia el ESE, intersectando el sector medio de la cuenca hídrica del río Andalgalá y el sector apical de la cuenca hídrica del río Villavil, específicamente en el área donde se ubican los depósitos que se analizan en este trabajo. Produce también un desplazamiento secundario en sentido vertical con una marcada diferencia altitudinal de las cumbres del cerro Negro (4.670 m s.n.m.) en el bloque levantado y del cerro Yutuyaco (3.800 m s.n.m.) en el bloque hundido.

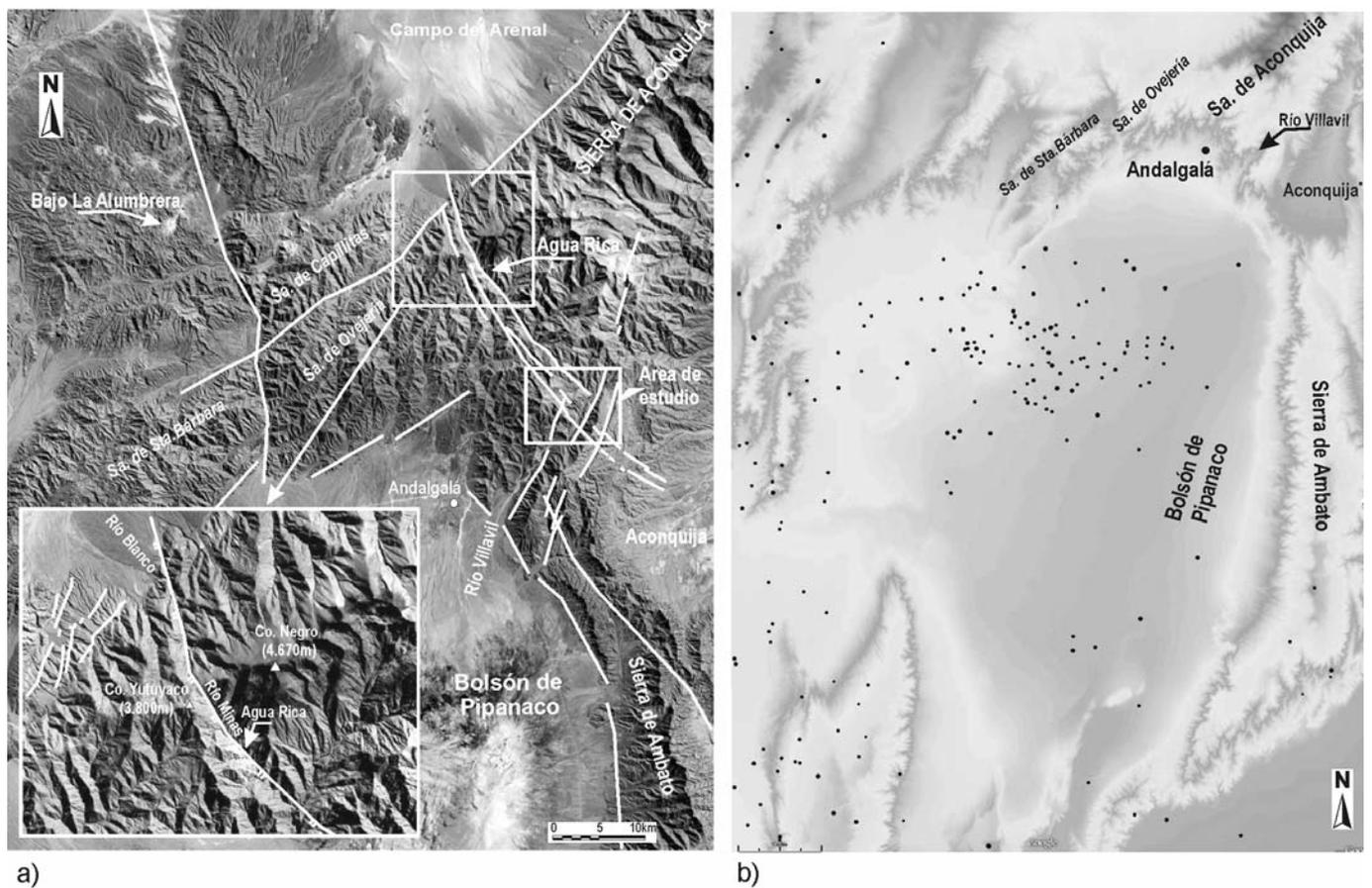
## SISMICIDAD Y NEOTECTÓNICA

En la región existen evidencias geomorfológicas de la actividad tectónica moderna. Depósitos aluviales próximos al área de las quebradas río Blanco-río Minas, sobre el cual se emplaza el yacimiento Agua Rica, se observan aterrazados y alineados con rumbo paralelo a la estructura regional NE-SO que recorre todo el flanco occidental de la sierra de Aconquija (Fig. 2a). Esto indica que estos depósitos han sido afectados por dicho fallamiento al menos durante el Cuaternario. Efectos de actividad neotectónica en el flanco occidental de la sierra de Aconquija han sido mencionados también por Fauqué y Strecker (1988 y 2007).

El registro sísmico del área de estudio es relativamente bajo. Los sismos históricos presentan hipocentros poco profundos (<70 km) y los epicentros son próximos al frente de la sierra de Ambato (Fig. 2b). Sin embargo, en los últimos cinco años, la actividad sísmica de la región parece haberse incrementado y presentan mayor frecuencia de sismos con magnitudes entre 3,5 y 6,5 grados, razón por la cual su influencia no puede ser descartada como mecanismo disparador, como lo ilustra la tabla cronológica de sismos (Cuadro 1).



**Figura 1:** a) Mapa topográfico de ubicación de la ciudad de Angalgalá, donde se encuentra el área de estudio, dentro del contexto de la provincia de Catamarca; b). Geología regional del área. Distribución de las principales unidades litológicas y estructuras principales; c) Imagen satelital del extremo sur de la sierra de Aconquija con la ubicación de estructuras regionales principales, trazado de corredores de servicio (mineraloductos y línea de alta tensión) y ubicación y distribución de estaciones meteorológicas.



**Figura 2:** a) Imagen satelital del extremo sur de la sierra de Aconquija, ubicación de las intersecciones de las principales estructuras que involucran el área de estudio y el yacimiento Agua Rica. Detalle ampliado del flanco occidental (área de Campo del Arenal), donde se marcaron escarpas modernas producidas por la neotectónica; b) Distribución geográfica de focos sísmicos en el área del bolsón de Pipanaco y áreas de influencia, en la provincia de Catamarca. Con respecto al riesgo sísmico, la densidad y frecuencia de eventos sísmicos ubica a este sector dentro de un área de intensidad moderadamente alta.

## GEOGRAFÍA Y CLIMA

La sierra de Aconquija constituye una cadena montañosa que se extiende 220 km a lo largo del sector oeste de la provincia de Tucumán, penetrando en las provincias de Catamarca y Salta, en el noroeste de Argentina. Las máximas alturas alcanzan los 5.500 m y la divisoria de aguas sobrepasa con frecuencia los 4.000 m de altura. Este notable gradiente altitudinal determina una importante variedad climática que contempla: a) condiciones subtropicales y precipitaciones muy elevadas en el piedemonte oriental (3.000 mm anuales); b) climas templados con un extenso período de lloviznas y niebla a altitud media; c) clima de alta montaña subtropical con marcados extremos térmicos en las

zonas cumbres; d) desiertos de altura en las laderas occidentales debido al efecto topográfico de sombra de lluvia (< 200 mm anuales) y e) microclimas de valles, dominados por efectos de circulación térmica local, ocasionales arribos de frentes húmedos atlánticos y precipitación anual de 300 milímetros (Grau *et al.* 2002). En función de la configuración topográfica, el gradiente de precipitaciones varía en sentido N-S a lo largo de las laderas. Los registros máximos para el período estival alcanzan valores inferiores a 80 mm en el distrito Huaco (sector sur de la ciudad de Andalgala a 930 m s.n.m.), valores superiores a 90 mm en estación climática MAR (Minera Agua Rica, sector norte de la ciudad de Andalgala a 1.000 m s.n.m.), y un poco más de 130 mm apro-

ximadamente en sectores del yacimiento Agua Rica (3.198 m s.n.m.) (Fig. 1c, Fig. 3). La circulación local de masas de aire desde el valle es favorecida por la topografía, que condensa y precipita mayormente en el frente montañoso que funciona como barrera orográfica. Las precipitaciones regionalmente siguen un régimen monzónico (veranos húmedos e inviernos secos) y son muy comunes violentas descargas pluviales durante el período estival. No obstante, las precipitaciones muestran una clara tendencia al aumento a partir de la segunda mitad del siglo XX (Villalba *et al.* 1998).

## AVALANCHAS DEL RÍO VILLAVIL Y REPRESAMIENTOS ASOCIADOS

A ambas vertientes del cerro Zapallar (3.000 m s.n.m.), ubicado en la margen derecha del río Villavil, se observan diferentes colapsos. Corresponden a tres cuerpos lobulares caracterizados por una superficie relativamente plana a sub-horizontal y un frente dominado por un talud abrupto y redondeado en forma de domo (Fig. 4). El sector de arranque de estos eventos coincide con la traza de la estructura de rumbo NO-SE que conforma la quebrada del río Minas (Fig. 2a).

### Avalancha Zapallar

El evento generado en el flanco oriental del cerro Zapallar resulta ser el más extraordinario. Corresponde a una avalancha de rocas de gran envergadura cuya superficie de arranque o cicatriz, se genera en afloramientos graníticos. Este material debió colapsar y viajar sobre el sustrato de la misma litología, generando un depósito con componentes exclusivamente graníticos.

El depósito se dispone con el eje mayor en sentido transversal al valle del río Villavil, lo cual demuestra un movimiento del material de oeste a este. En una sección longitudinal presenta una morfología caracterizada por un sector medio y apical relativamente plano y un frente con diseño en domo (Fig. 5a). Este depósito con un perímetro de 21,2 km cubre un área aproximada de 8,97 km<sup>2</sup>, por lo cual es fácilmente reconocible mediante sensores remotos. Cuatro niveles de escarpas secundarias, identificadas sobre el material desplazado, evidencian bloques descendidos en la zona de arranque.

Este movimiento complejo alcanzó un volumen estimado 2,24 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> con un espesor medio de los depósitos de 250 metros. Este gran volumen de material, a pesar de haber descendido 1.200 metros, no parece haber tenido un gran alcance (*run-out*). El material detrítico viajó cinco kilómetros hasta alcanzar el valle del río Villavil y el frente montañoso inmediato de la margen oriental (Fig. 5 a,b); la parte distal del cuerpo se encauzó aguas abajo por un corto espacio a lo largo del valle (aproximadamente 1.000 m). Probable-

**CUADRO 1:** Sismos históricos registrados en los últimos 5 años.

Fecha	Hora	Coordenadas epicentro		Prof.	Mag	Dist.
28/08/2004	06:19:52	-29° 5' 24"	-65° 42' 0"	60	3,2	187
07/09/2004	08:53:33	Sa. de Ambato		57	6,5	42
13/09/2004	11:18:55	-28° 37' 48"	-66° 9' 0"	33	4,5	131
24/09/2004	06:27:33	-28° 33' 0"	-66° 5' 60"	33	4,8	120
28/09/2004	01:19:27	-28° 30' 0"	-66° 5' 60"	33	4,4	113
01/11/2004	17:21:40	-28° 33' 0"	-65° 58' 48"	25	3,7	118
15/11/2004	05:04:30	-28° 30' 36"	-66° 8' 24"	10	4	113
14/03/2005	09:43:36	-28° 36' 36"	-65° 54' 0"	33	5,6	130
21/03/2005	04:10:06	-28° 43' 12"	-65° 34' 48"	33	4,1	151
25/03/2005	22:40:56	-28° 33' 00"	-66° 9' 0"	36	4,5	121
25/03/2005	22:08:13	-28° 41' 60"	-66° 15' 0"	15	3,7	138
25/03/2005	04:54:33	-28° 36' 36"	-66° 2' 60"	15	4	125
21/04/2005	09:19:40	-27° 24' 36"	-66° 47' 24"	33	4,2	61
14/06/2005	12:05:33	-28° 36' 00"	-66° 7' 48"	33	4,2	125
23/10/2005	20:19:45	-28° 15' 00"	-65° 17' 60"	60	4,8	122
08/02/2006	16:14:28	-27° 43' 12"	-67° 22' 12"	33	3,5	41
17/05/2006	20:40:32	-28° 6' 00"	-67° 37' 48"	48	4	163
20/11/2006	07:15:41	-27° 53' 24"	-67° 31' 48"	145	4,9	145
29/01/2007	18:42:20	-28° 6' 00"	-65° 30' 0"	33	4,4	98
08/08/2007	06:19:59	-28° 25' 12"	-66° 16' 37.2"	52	4,2	110
03/09/2007	22:48:24	-27° 32' 21.48"	-67° 29' 1.21"	107	3,7	153
11/09/2007	04:05:29	-27° 8' 49.2"	-66° 16' 48"	114	3,9	35
04/10/2007	11:32:38	-28° 38' 27.6"	-65° 55' 48"	27	3	135
15/10/2007	08:10:26	-28° 25' 8.4"	-66° 10' 15.6"	75	3	108
22/10/2007	18:17:47	-28° 17' 56.4"	-65° 52' 22.8"	31	5,1	98
31/12/2007	18:33:47	-28° 39' 50.4"	-65° 57' 7.2"	12	3,9	138
04/03/2008	10:24:50	-26° 2' 20.4"	-67° 22' 48"	33	3,6	196
05/03/2008	16:26:43	-28° 37' 44.4"	-66° 5' 2.4"	40	4,5	139
08/05/2008	06:50:04	-28° 11' 20.4"	-66° 8' 38.4"	10	3,2	89
08/09/2008	23:46:39	-28° 11' 60"	-66° 1' 22.8"	33	3,4	90
22/09/2008	13:50:08	-28° 26' 56.4"	-66° 11' 31.2"	32	3,5	116
03/10/2008	09:45:10	-28° 30' 21.6"	-65° 55' 48"	33	4,2	119
19/11/2008	13:11	-28° 35' 20.4"	-66° 19' 44.4"	24	3,7	134

(Prof.: profundidad del hipocentro en kilómetros, Mag.: magnitud, Dist.: distancia entre epicentro y área de estudio en kilómetros) (Inpres 2009).

mente el confinamiento del valle y una escasa o nula impregnación, impidió la removilización en forma de flujo aguas abajo y condicionó la generación de una facies distal fluidal típicas en las avalanchas de rocas (Hungre *et al.* 2001).

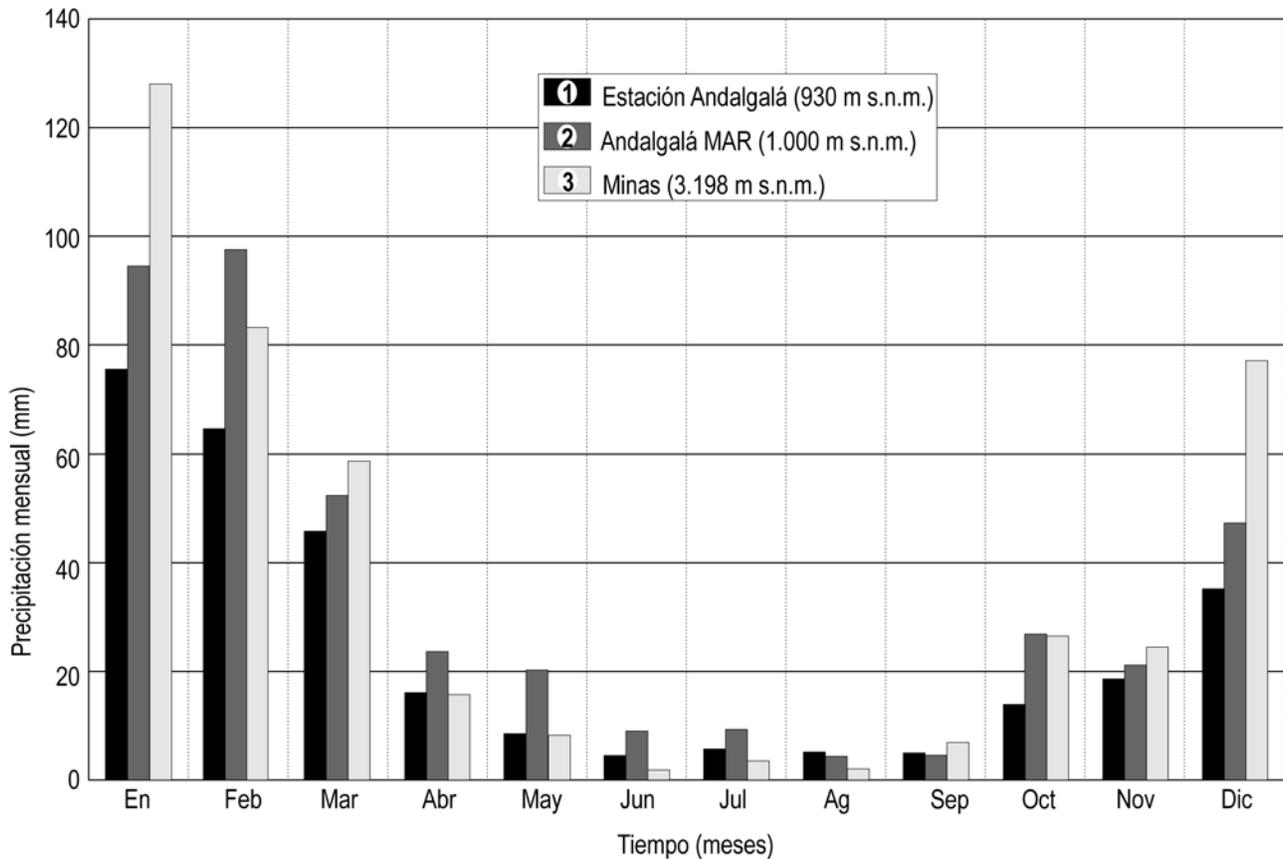
El depósito está constituido exclusivamente por bloques de composición granítica de dimensiones métricas y decamétricas en una matriz de grava, arena y limo. No existe fábrica interna, la ausencia de ordenamiento interno posiblemente se debe al corto trayecto del material detrítico y/o a las condiciones de saturación previas del material.

Actualmente el depósito presenta una abrupta incisión por donde discurre el río Villavil cortando transversalmente el pie

del mismo.

Este evento de carácter catastrófico generó el represamiento del cauce del río Villavil formando un paleolago aguas arriba, evidenciado por la presencia de depósitos relícticos limo-arcillosos de color rojizo. Actualmente, estos depósitos relícticos aparecen expuestos en la margen derecha del valle con unos 25 m de espesor. La cota máxima de este paleo-lago alcanzó 2.160 m s.n.m. (Fig. 6a).

Depósitos psefíticos aluviales infrayacen a la antigua secuencia lacustre y sobre dichos niveles planizados se hallaron empalizadas y ruinas habitacionales construidas con rocas. Además, se ha observado la existencia de morteros comunitarios en la superficie de uno de los bloques graní-



**Figura 3:** Histograma de precipitación media mensual en el valle de Andalgala. Valores comparativos correspondientes a tres estaciones meteorológicas distribuidas entre valle y montaña: estación Andalgala; estación MAR (Minera Agua Rica) y estación Mina (yacimiento).

ticos ubicados por encima del depósito del deslizamiento Zapallar y en las proximidades de la zona arranque. Las edades de esta actividad antrópica son de aproximadamente 1.000 años a.c. (comunicación verbal antropólogo Dante Coronel).

### Segundo evento: Reactivación del deslizamiento Zapallar

Un segundo movimiento de menor envergadura se interpreta a partir de la presencia de cicatrices de arranque semicirculares y parcial deslizamiento del sector medio de la avalancha del Zapallar. El sentido de movimiento fue de oeste a este; el área conservada de este cuerpo alcanza los 200 m<sup>2</sup>; es probable que el depósito haya tenido una extensión mayor, pero el extremo frontal del mismo pudo haber sido erosionado por el río Villavil. El lecho del río presenta una cota de 1.936 m y el techo del depósito 2.074 m, lo cual representa una diferencia altitudi-

nal de unos 138 metros. Estas dimensiones permiten estimar un volumen aproximado de 49.700 metros cúbicos.

En este segundo evento no se encontraron evidencias de un nuevo represamiento del río Villavil. Sin embargo, la ausencia de depósitos relícticos de paleolagos puede estar vinculada a la intensa erosión posterior al movimiento (Fig. 5b). El depósito de este evento presenta una morfología con superficies más suavizadas, vegetación un poco más densa y una probable zona frontal ya erosionada por el río; ello sugiere una relatividad temporal posterior al primer movimiento y anterior al tercero.

### Tercer evento: Reactivación del pie de la avalancha Zapallar

Un tercer movimiento, de menor envergadura, se ubica en la zona distal disectada de la antigua avalancha Zapallar, pero esta vez, se habría movilizado en sentido

inverso de este a oeste. En la margen izquierda del río Villavil, se observa una superficie cóncava, de desprendimiento, generada sobre el material relíctico de la avalancha (Fig. 5b).

Corresponde a un depósito con morfología dómica en sentido transversal al cauce del río. Presenta una superficie de unos 200 m<sup>2</sup> y una potencia de 50 metros, lo que representa un volumen aproximado de 10.000 metros cúbicos.

Como consecuencia de este evento, se formó un nuevo represamiento del río Villavil generando un paleo-lago. Este cuerpo lagunar, con una cota máxima de 1.900 m s.n.m., tuvo una importante acumulación de sedimentos psamo-pelíticos y psefíticos. Presenta una secuencia de carácter rítmico caracterizada por bancos alternantes bien definidos con arreglo interno granodecreciente de arena gruesa-muy gruesa a arena fina y limo. Esta alternancia indica un aporte con régimen de tipo estacional (Fig. 6c).

En conjunto constituyen una secuencia con arreglo grano - estrato decreciente y representan el relleno del paleolago, antes de la apertura y vaciado del mismo.

La secuencia lacustre presenta también una disminución gradual en la granulometría de los sedimentos aguas abajo. Este ordenamiento, indica además la disminución de competencia y energía de los procesos sedimentarios hacia el sector de mayor profundidad, ubicado próximo al área de cierre. El espesor de estos sedimentos fluvio-lacustres es de aproximadamente 25 metros, por lo que se estima una profundidad del represamiento mucho mayor (Fig. 6b).

La permanencia del vaso lacustre ha sido temporal y debido a las particularidades de heterogeneidad, inestabilidad del material de cerramiento y probable saturación con agua, se estima un proceso de desagote del represamiento de carácter súbito, ya sea por erosión vertical del dique o por filtración, con brusca liberación del agua acompañada con un fuerte arrastre y erosión, generando una crecida espontánea. Este mecanismo de vaciado, habría generado una rápida incisión del río, permitiendo la conservación de depósitos lacustres residuales colgados en las márgenes del cauce. Es probable, además, que este evento hubiese estado vinculado a una precipitación pluvial intensa típica de esta región. Terrazas ubicadas aguas debajo de la oclusión del valle a 1.700 m s.n.m. sugieren el vaciamiento espontáneo del este paleolago.

### CONSIDERACIONES SOBRE EL GRADO DE ACTIVIDAD

La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe aquello que se sabe con respecto a la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe en forma generalizada las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica de que

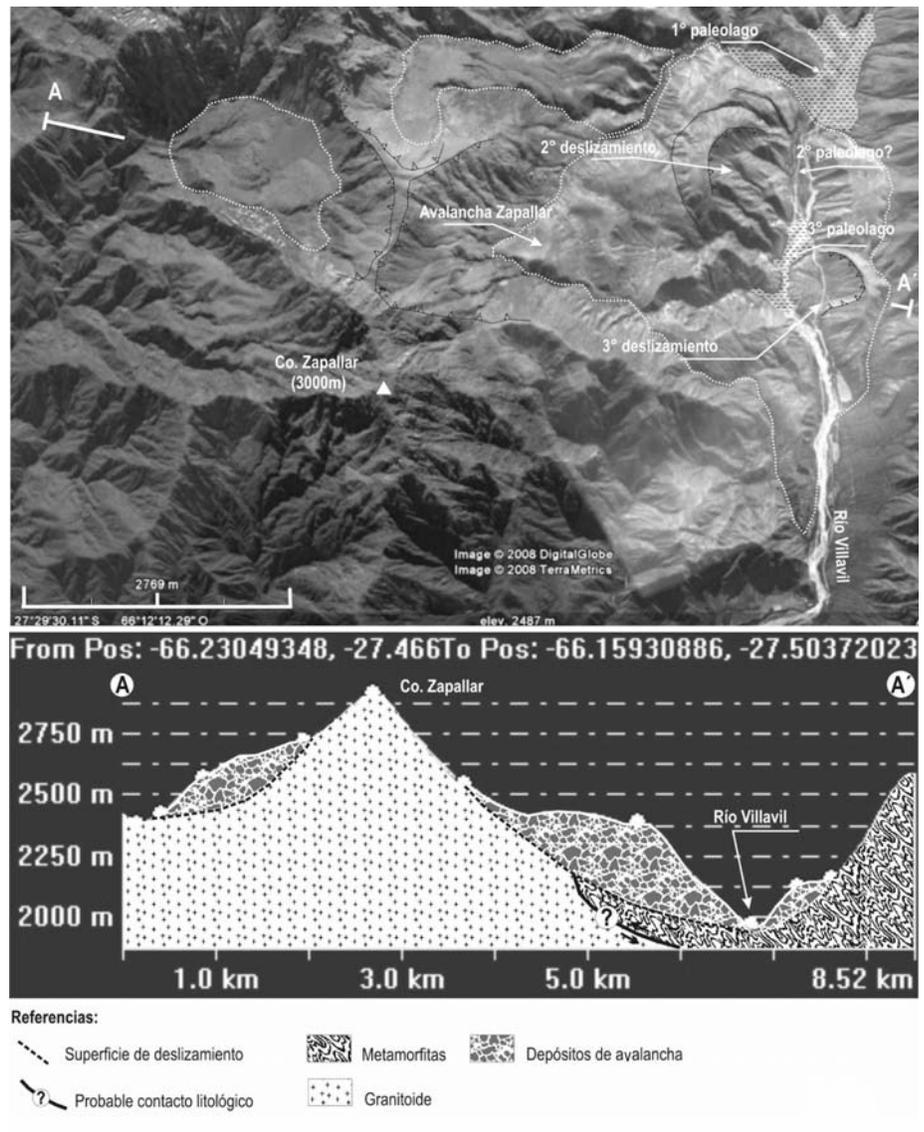


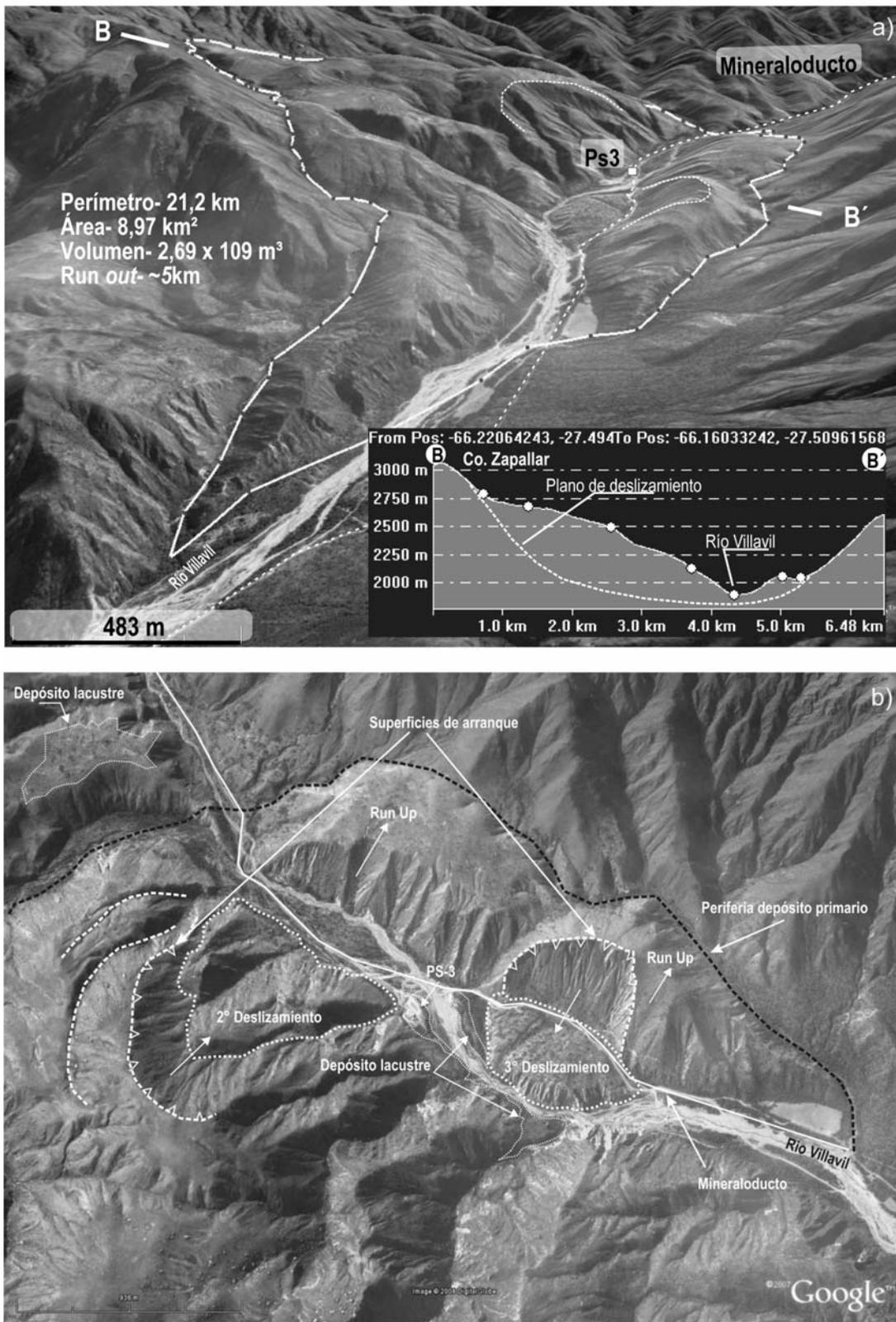
Figura 4: Imagen satelital del área de estudio (cerro Zapallar), marcando la ubicación y extensión de los diferentes cuerpos deslizados. Perfil topográfico ilustrando las morfologías y probables superficies de deslizamiento a ambos lados de la divisoria de aguas, en la transecta A-A'.

CUADRO 2: Glosario de la actividad de un movimiento en masa (WP/WLI 1993).

Estado de actividad	Distribución de la actividad	Estilo de la actividad
Activo	Retrogresivo	Complejo
Reactivado	Avanzando	Compuesto
Suspendido	Ensanchando	Múltiple
Inactivo	Confinado	Sucesivo
Latente	Creciente	Único
Abandonado	Decreciente	
Estabilizado	Móvil	
Relicto		

manera los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total (WP/WLI 1993) (Cuadro 2). Con respecto al estado del evento, éste se

estima en base a la evidencia geológica o registros históricos de la ocurrencia de un movimiento de remoción en masa. Se considera activo al movimiento en masa



**Figura 5:** a) Imagen satelital inclinada del deslizamiento Zapallar. Delimitación de las superficies de arranque secundarias. PS3: estación de bombeo del mineraloducto. Sección topográfica B-B' transversal del depósito, probable trazado de la superficie de deslizamiento; b) Imagen satelital del sector frontal del deslizamiento Zapallar (destacado en línea punteada negra), ubicación de superficies de deslizamiento y depósitos secundarios (2° y 3° deslizamiento), hacia el cauce del río Villavil. En línea llena de color blanco, trazado correspondiente al mineraloducto y camino de acceso y mantenimiento.

que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente. El estado de actividad del evento Zapallar

se considera reactivado debido a los sucesivos movimientos identificados. Cabe aclarar que el depósito de la avalancha se en-

contraba erosionado por el río Villavil, al momento de generarse los deslizamientos que lo removilizaron.

En relación a la distribución de la actividad, la avalancha Zapallar es un movimiento decreciente. Finalmente con respecto al estilo de actividad, la avalancha representa un movimiento compuesto.

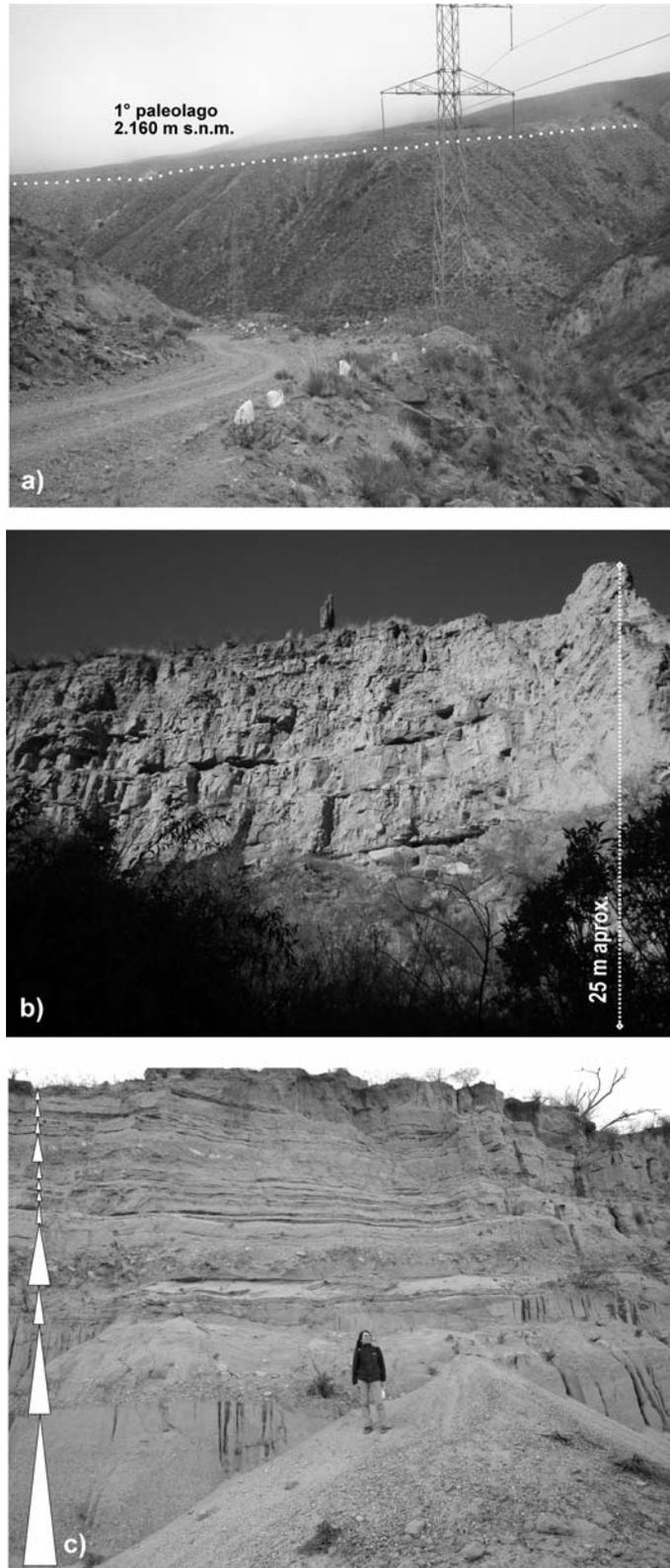
**MECANISMO GENERADOR**

El movimiento primario (avalancha Zapallar), que ha conservado bastante bien su morfología, ha tenido un desplazamiento relativamente corto, de 5 kilómetros. El depósito (caótico y masivo) no posee claras evidencias de saturación de agua, lo que hubiera permitido generar la fluidificación del material movilizado, al menos en el sector distal del movimiento aumentando su movilidad. De esto se deduce que las lluvias habrían sido poco importantes como evento disparador.

Por otro lado, la actividad sísmica moderada del área sugiere que algún sismo de magnitud, fue probablemente el disparador del movimiento principal (avalancha Zapallar). Justamente los sismos superficiales, como los registrados históricamente en la región, son los principales disparadores de este tipo de procesos gravitacionales.

Evidencias de neotectónica observadas en algunos sectores vinculados a la estructura principal, que alinea los depósitos de remoción en masa con el yacimiento Agua Rica, indicarían una actividad reciente del sistema de fracturación. Éste podría haber actuado como estructura sismogénica, desencadenando los movimientos y/o generando una zona inestable susceptible a colapsar debido a la intensa trituración. La inestabilidad de las laderas, también estuvo favorecida por la formación de pendientes escarpadas, debido a la incisión del curso fluvial. La falta de un soporte en la base, podría haber generado inestabilidad. Los movimientos más modernos, mencionados como segundo y tercer evento, podrían deberse a esta causa. De este modo, entre los disparadores de estos movimientos menores podrían excluirse los eventos sísmicos.

El clima posiblemente podría haber jugado un rol preponderante en el relleno y



**Figura 6:** a) Vista panorámica hacia el oeste de los depósitos limo-arcillosos correspondientes al relleno del primer paleo-lago (2.160 m s.n.m.). En línea punteada se destaca el contacto con fanglomerados aluviales; b) Detalle de los depósitos distales correspondiente al relleno del 3º paleo-lago. Componen unos 25 m de espesor aproximados, constituidos por niveles tabulares limo-arenosos finos; c) Fotografía de los depósitos fluvio-lacustres, psefíticos-psamíticos correspondiente al área proximal del relleno del 3º paleo-lago. Los bancos están normalmente gradados y componen una sucesión marcadamente cíclica con un arreglo general grano y estrato decreciente.

posterior ruptura de los lagos originados, ya que en épocas estivales el aporte fluvial pudo contribuir al rebase del dique,

ruptura y erosión desencadenando un vaciado espontáneo con la consecuente formación de aluviones de caracteres excep-

cionales.

Otros factores condicionantes han contribuido también a la removilización de grandes masas de material en el primer movimiento. El cerro Zapallar se encuentra en crucero de estructuras de carácter regional con generación de fuerte fracturación y milonitización en un marco morfológico con fuerte gradiente topográfico.

## CONCLUSIONES

La avalancha del cerro Zapallar se ha generado en una zona de intersección de estructuras regionales asociadas a una fuerte fracturación y milonitización. Estas condiciones debieron favorecer la inestabilidad de los afloramientos graníticos ante un posible disparador de carácter sísmico, que permitió la movilización de potentes volúmenes rocosos obstruyendo el cauce del río Villavil.

Evidencias de neotectónica indican una actividad moderna del sistema de fracturación de la sierra de Aconquija aunque los sismos históricos registrados se encuentran asociados principalmente al sector del salar de Pipanaco. En ese sentido, el área presenta situaciones de potencial riesgo ante la reiteración de deslizamientos, que serían posibles de acuerdo a las condiciones morfoestructurales, relieve, clima y sismicidad de la zona.

La recurrencia de procesos de remoción en masa súbitos, constituye un riesgo potencial para la región y su zona urbana adyacente. Esta problemática, vinculada al aprovechamiento de esta quebrada como corredor de servicios (tendido eléctrico de alta tensión, mineraloducto, ruta de mantenimiento y acceso), debe ser tenida en cuenta para disminuir un futuro impacto económico en al región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar el agradecimiento al IANIGLA por facilitar los medios de transporte al área de estudio. Al Dr. Emilio F. González Díaz y al Dr. Luis Fauqué, por las valiosas observaciones, correcciones y sugerencias, contribuyendo

al mejoramiento sustancial del manuscrito.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Banchig, A.L., Moreiras, S.M. y Banchig, P.N. 2008. Eventos de deslizamientos - endicamientos reiterados de ocurrencia histórica. Cuenca del Río Villavil, Sierra de Aconquija, Andalgala, Catamarca. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 257-258, San Salvador de Jujuy.
- Fauqué, L. y González, M.A. 2004. ¿Qué características presentan los movimientos actuales con antecedentes históricos en las Sierras Pampeanas? En González, M.A. y Bejerman, N.J. (eds.) Peligrosidad geológica en Argentina. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Publicación Especial 4: 408-410, Buenos Aires.
- Fauqué, L. y Strecker, M.R. 1987. Rasgos de la neotectónica y avalanchas de roca producidas por terremotos en la vertiente occidental de los Nevados del Aconquija, provincia de Catamarca, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 219-222, San Miguel de Tucumán.
- Fauqué, L. y Strecker, M.R. 1988. Large rock avalanche deposits (Struzstroms, Struzstroms) at Sierra Aconquija, Northern Sierra Pampeanas, Argentina. *Eclogae Geologiae Helveticae* 81: 579-592.
- Fauqué, L. y Strecker, M.R. 2007. Avalanchas de rocas del Campo del Arenal, Catamarca, Argentina. En *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Proyecto Multinacional Andino, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional 4: 313-319.
- González Bonorino, F. 1951. Descripción Geológica de la Hoja 12 c, Aconquija provincias de Catamarca-Tucumán). Dirección Nacional de Minería, Boletín 75: 1-50, Buenos Aires.
- Grau, A., Grau, H.R. y Brown, A.D. 2002. Situación actual y bases para una estrategia de manejo conservacionista en las sierras del Aconquija, Noroeste de Argentina. Multiconferencia Transcontinental High Summit, Acta de Resúmenes: 73, Mendoza.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M. y Hutchinson, J.N. 2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geosciences* 7: 22-238.
- Inpres, 2009. Instituto nacional de prevención sísmica. Base de datos de sismos. página web: [www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)
- Kantor, M. 1916. El problema de las inundaciones en Andalgalá (provincia de Catamarca). *Revista del Museo de la Plata* 23 (segunda serie 10): 257-269.
- Kühn, T. 1915. Informe sobre un viaje de estudios en la prov. de Catamarca y parte de Tucumán. *Boletín de Informaciones Petroleras* 15: 50-51, Buenos Aires.
- Lafone Quevedo, S.A. 1880. Inundación de Andalgalá. *Diario La Nación*, Buenos Aires.
- Moreiras, S.M. y Banchig, A.L. 2008. Grandes deslizamientos en el Río Villavil (Dpto. de Andalgalá, Catamarca). 12° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 118, Buenos Aires.
- Moreiras, S.M. y Coronato, A. 2009. Landslide processes in Argentina. En Shroder, J.F. (ed.) *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters In Latin-America, Developments in Earth surface processes*, Elsevier (en prensa).
- Rescan Environmental Services Ltd. 2007. Informe de impacto ambiental de Minería Agua Rica, (inédito), I (12), 354 p., Catamarca.
- Villalba, R., Grau, H.R., Boninsegna, J.A., Jacoby, G.C. y Ripalta, A. 1998. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. *International Journal of Climatology* 18: 1463-1478.
- WP/WLI 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of engineering Geology* 47: 53-57.

Recibido: 4 de junio, 2009

Aceptado: 27 de octubre, 2009