

# UNIDADES GRAVITACIONALES EN LOS ALREDEDORES DE ESQUEL: CLASIFICACION, ORIGEN Y EDAD

Oscar Alfredo MARTINEZ

<sup>1</sup> Universidad Nacional de la Patagonia S.J.B., Esquel, Chubut. E-mail: oscarm@unpata.edu.ar

## RESUMEN

Se estudiaron las principales unidades gravitacionales ubicadas en las laderas del valle de Esquel y en el valle del río Percey (noroeste de la provincia de Chubut, Argentina) las cuales incluyen avalanchas de detrito y deslizamientos rotacionales. Los materiales movilizados son sedimentitas terciarias y sedimentos glaciogénicos del Pleistoceno. Las unidades que yacen en el valle de Esquel se originaron luego del derretimiento de los glaciares de la Última Glaciación y se puede confirmar que algunas de ellas fueron contemporáneas al desarrollo de la cuenca glacialacustre resultante. A las unidades ubicadas en el valle del río Percey se las considera más jóvenes pues se ubican al oeste, aguas arriba de los restos de un *drift* post-Última Glaciación. Se proponen como factores condicionantes principales la alta porosidad y la baja cohesión de las rocas sedimentarias. El factor desencadenante principal habría sido la relajación de las laderas luego del retiro de los glaciares aunque, en algunos casos, la incisión fluvial puede haber jugado un rol importante. Si bien la mayoría de estas unidades gravitacionales pueden considerarse fosilizadas y se presentan total o parcialmente urbanizadas, el desarrollo reciente de redes viales ha reactivado algunos de estos depósitos con el consiguiente riesgo para bienes y vidas humanas.

**Palabras clave:** *remoción en masa, post-glacial, glacialacustre, Chubut*

## ABSTRACT

*Relict and reactivated landslide units around Esquel: classification, genesis and age*

The main landslide units located on the slopes of the Esquel and the Percey river valleys (northwest of Chubut province, Argentina) have been studied. The mass wasting processes include, essentially, debris flows and rotational slides. They mobilized Tertiary sedimentary rocks and Pleistocene glaciogenic deposits. The landslides units that lie in the Esquel valley were originated after the withdrawal of the glaciers at the end of the Last Glaciation and, at least some of them, were coeval with the glaciolacustrine basin generated during the glacier melting. The units located in the Percey river valley are younger, since they are placed to the west of remains of a post-Last Glaciation drift. The main conditioning factors favoring these landslides have been the high porosity and low cohesion of the sedimentary rocks cropping out. The main triggering factor would have been the relaxation of the slopes after the melting of the glaciers. However, in some cases, the fluvial incision may have played a significant role. More than half of the studied units are totally or partially urbanized or affected by the construction of roads and, even though all these features are considered as non-active landforms, some of these human interventions are already reactivating these landslides and thus putting property and people at risk.

**Keywords:** *mass wasting, post-glacial, glaciolacustrine, Chubut*

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Esquel (42°55'S y 71°20'O), que cuenta con más de 35 mil habitantes permanentes, se halla en un ambiente de ecotono entre la estepa y la cordillera, recibe precipitaciones medias anuales que rondan los 600 mm (Fig. 1) y las urbanizaciones ocupan tanto el fondo del valle como sus laderas. Estas últimas se caracterizan por pendientes moderadas a fuertes (valores medios de 11°/12°) y sobre ellas se destaca un número significativo de formas gravitacionales inactivas, fosilizadas, algunas de las cuales soportan los

barrios más densamente poblados.

En las laderas del cercano valle del río Percey, ubicado a pocos kilómetros al oeste, otro conjunto de formas gravitacionales, generadas sobre similares litologías a las del valle de Esquel, constituyen uno de los principales rasgos geomorfológicos del sector. En la actualidad, las mismas están siendo reactivadas por la acción humana, situación que constituyó una de las principales motivaciones para llevar adelante el presente estudio. Se propone ampliar el conocimiento que existe sobre estas formas de remoción en masa tanto en lo que refiere a los proce-

sos que las originaron como al momento específico en el cual ocurrieron. Por otro lado, se ha procedido a aplicar un criterio de clasificación de las mismas que resulta de la combinación del concepto de *landslide units* de Pasuto y Soldati (1999), “unidades gravitacionales” en este trabajo, con las categorías propuestas por Cruden y Varnes (1996), lo que ha facilitado la descripción de los rasgos presentes en el área de estudio.

Para su análisis, a cada una de las unidades estudiadas se les ha asignado una denominación que las relaciona con los elementos urbanísticos o geográficos aso-

ciados (Fig. 1). Así, las unidades del valle de Esquel son referidas como BA (Barrio Arco), RG (Regimiento), BC (Barrio Ceferino) y PAE (Puente Arroyo Esquel). De la misma manera, las unidades ubicadas sobre el margen izquierdo del valle del río Percey son indicadas como RP y el número correspondiente.

## ANTECEDENTES

Martínez (2002) presenta las primeras conclusiones sobre la génesis y la edad de los principales depósitos de remoción en masa localizados entre Esquel (43°S) y el Lago Vinterr (44°S). Andrada de Palomeira (2002) brinda una caracterización general de algunas de las unidades gravitacionales del valle de Esquel concluyendo que se corresponden con deslizamientos rotacionales que afectaron rocas de la Serie Andesítica, de la Formación Ñirihua y materiales glaciarios, indicando que algunas cuentan con evidencias de actividad reciente asociada a las fuertes pendientes. En la cartografía geomorfológica, escala 1:250.000, elaborada por Tejedo y Pereyra (2009) están representados algunos movimientos de ladera que coinciden parcialmente con las unidades aquí estudiadas. Tejedo *et al.* (2009) analizan la peligrosidad geológica del sector, con énfasis en los procesos actuales, abarcando un abanico de fenómenos gravitacionales más amplio que el desplegado en el presente trabajo. Lizuaín y Viera (2010) se refieren, en términos muy generales, a los depósitos de remoción en masa en los valles de Esquel y del río Percey sin profundizar en la edad o en la génesis de los mismos. Martínez (1998) describe los depósitos gravitacionales pleistocénicos que yacen en el faldeo occidental de la Sierra Colorada que, por su proximidad (unos 150 km al sur de Esquel) y por las similitudes del contexto geológico con el área de estudio, constituyen una referencia para la presente contribución. Un resumen de las principales características de las unidades aquí consideradas fue elaborado por Martínez (2014) constituyendo el presente trabajo una ampliación de dicha contribución.

## CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES GRAVITACIONALES

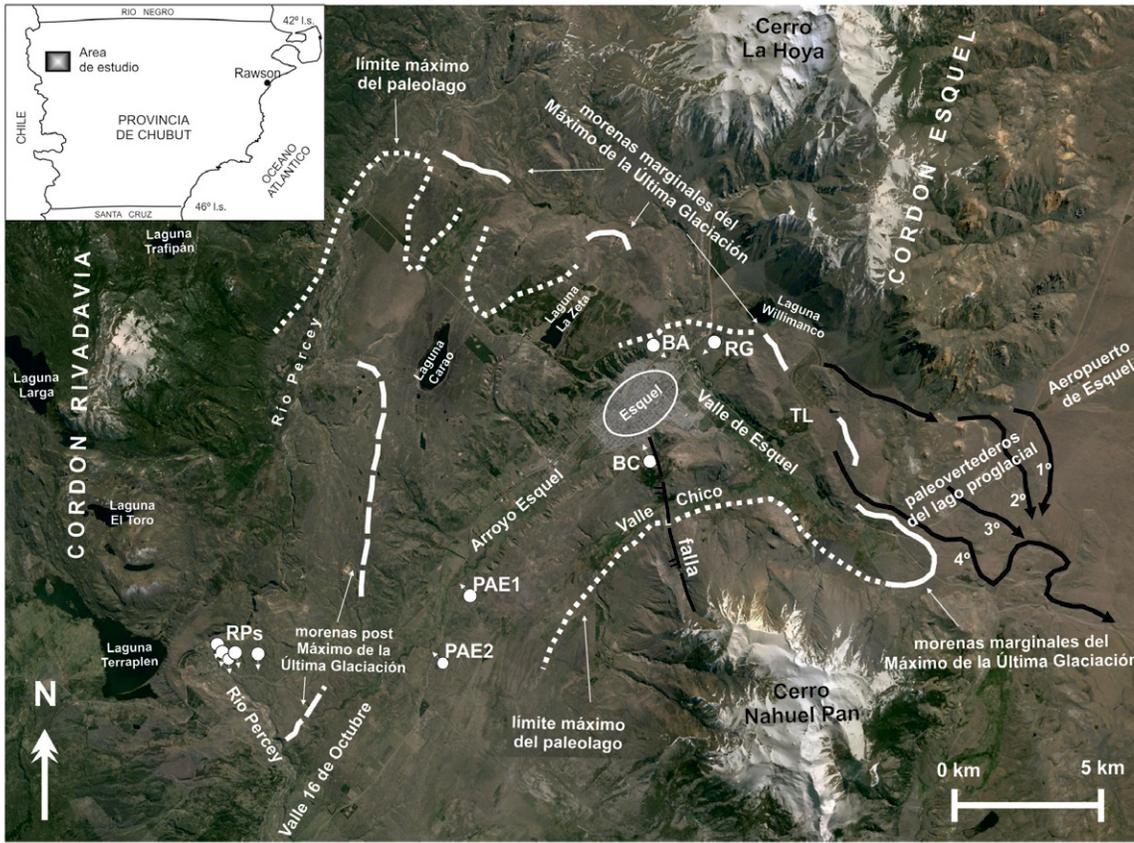
Las rocas afectadas por los fenómenos gravitacionales estudiados se corresponden con las sedimentitas continentales de la Formación Ñorquínico (Oligoceno) las que están usualmente cubiertas de sedimentos glaciales de amplia distribución en la región. Estas rocas se caracterizan, en el área de estudio, por la alternancia de bancos poco cohesivos, de espesor variable (raramente superan el metro), compuestos de areniscas, areniscas conglomerádicas, conglomerados y pelitas de tonalidades pardas y ocre y estratificación horizontal a subhorizontal, modificada donde existen pliegues de arrastre en los contactos de falla con las unidades geológicas subyacentes, volcánicas mesozoicas muy cohesivas de la Formación Lago La Plata de composición mesosilícica.

Los sedimentos glaciarios consisten mayoritariamente en *till* de litología variada con bloques que pueden superar 1,5 m de diámetro, inmersos en una matriz arenosa. El espesor de esta cubierta raramente supera el metro.

La metodología del presente trabajo incluye un primer nivel de análisis geomorfológico en el cual las formas estudiadas son definidas como -unidades gravitacionales-, categoría que se inspira en las *landslide units* de Pasuto y Soldati (1999). Mediante la aplicación de este concepto se delimitan sectores del terreno cuya morfogénesis ha sido controlada, esencialmente, por procesos gravitacionales que pueden haber involucrado más de una masa de sedimento o roca y que no implica establecer los tipos de movimientos involucrados o la edad y cronología de los mismos. Dentro de estas unidades se incluyen, además, otros elementos no gravitacionales vinculados genética y espacialmente como, por ejemplo, los depósitos lénticos asociados a los endicamientos de la red fluvial, los depósitos y formas fluviales más jóvenes, entre otros. En un segundo nivel de análisis, las uni-

dades gravitacionales han sido clasificadas en simples y no-simples. Una unidad gravitacional simple se corresponde con un cuerpo independiente y monolítico generado por un evento único mientras que las unidades no-simples, integradas por dos o más subunidades, se ajustarán a las categorías compuesta, compleja, sucesiva o múltiple propuestas por Cruden y Varnes (1996) para definir el -estilo de la actividad- gravitacional. En esta etapa se procedió a reconocer los tipos de movimientos involucrados (deslizamientos y flujos) que caracterizan a cada unidad o subunidad identificadas las que, eventualmente, han sido clasificados, también, según su estilo de actividad.

Las principales características, parámetros y las categorías asignadas a las distintas unidades gravitacionales son presentadas en el Cuadro 1. La unidad Barrio Arco (BA, Fig. 2) es compleja, constituida por dos subunidades. Una compleja, de mayores dimensiones, y otra simple. La primera comienza con una escarpa de arranque, labrada sobre sedimentitas poco cohesivas, que supera los 300 m de altura y los 400 m de ancho. En la franja de contacto entre la escarpa y los depósitos movilizados (en el sector urbanizado indicado en la Fig. 2) aparecen restos de rocas friables, tenuemente deformadas, cuya estratificación inclina aguas arriba. Las mismas son interpretadas como relictos de un deslizamiento rotacional que gradualmente evolucionó a facies distales deformadas y voluminosas de una avalancha de detritos. Este depósito es un diamictón que, por su grado de litificación, puede ser considerado una verdadera diamictita (Fig. 3a). Estos materiales presentan una cohesión superior a la de las rocas parentales, producto de una mayor oxidación de la matriz arenosa, lo que estaría indicando la presencia de agua durante la litificación. Estas características internas del depósito, la ausencia de evidencias geomorfológicas que indiquen movimientos secundarios y una pendiente promedio que alcanza el 20% constituyen argumentos que permiten proponer que, efectivamente, el movimiento de los materiales de esta subunidad fue rápi-



**Figura 1:** Imagen satelital del área de estudio donde se indica la ubicación y la paleodirección principal del movimiento de las unidades gravitacionales (círculos blancos), la posición de las morenas marginales del Máximo de la Última Glaciación (MUG), los límites del paleoalago (cota aproximada 750 m s.n.m.) correspondiente a la terminación del MUG (Modificado de Caldenius 1932) y la ubicación de relictos de terrazas lacustres (TL), los cuatro desagües de las sucesivas estabilizaciones de dicho espejo de agua (Martínez 2002), la posición de las crestas de till asignables al Tardiglacial (Post-Finglacial de Caldenius 1932) y el trazado de la falla supuesta (Lizuaín y Viera 2010) que limita parcialmente a la unidad BC.

do y, por ello, asignable a una avalancha (Cruden y Varnes 1996). Inmediatamente al norte, en contacto con la ya descrita, aunque a mayor altitud que esta, se observa otra subunidad que se corresponde con un deslizamiento rotacional simple (Fig. 2). Los materiales movilizados son pelitas y areniscas finas bien estratificadas y cohesivas (Fig. 3b) y serían el producto de un desprendimiento de una sección superior de la columna sedimentaria de la Formación Ñorquinco, cuya escarpa de arranque aparece totalmente cubierta por el *drift* glacial o por suelo.

La unidad gravitacional Regimiento (RG) es la más extensas de todas las estudiadas (1,7 km de longitud), es compleja y se caracteriza por presentar una topografía degradada (Fig. 4). Se inicia con una escarpa que tiene un ancho de 900 metros, se extiende más de 350 metros en el sentido del paleomovimiento y cuenta con un importante desarrollo del sistema suelo/vegetación que impide la observación directa del sustrato. La unidad continúa hacia abajo con los depósitos de un des-

lizamiento múltiple constituido por dos bloques desplazados, posiblemente rotados, cubiertos de *till* removilizado, sin cortes en los cuales observar sus características internas. El sector más distal de la unidad, el que soporta la urbanización militar, se caracteriza por una topografía apenas ondulada, con pendiente muy suave hacia el fondo del valle, y es interpretado como un flujo de detrito, aparentemente simple. La ausencia de cortes naturales o artificiales en la superficie de esta unidad no ha permitido confirmar la naturaleza de los materiales movilizados aunque se presume que los mismos se corresponden con sedimentitas de la Formación Ñorquinco las cuales, en este sector, se apoyarían sobre el sustrato volcánico.

Quizás la más notable de las unidades gravitacionales del valle de Esquel es la que soporta a la urbanización del Barrio Ceferino (BC, Fig. 5). Su ubicación coincide con el contacto de falla normal entre rocas volcánicas mesozoicas al norte y las sedimentitas de la Formación Ñorquinco

al sur (Lizuaín y Viera 2010). Es una unidad simple con una escarpa de arranque de más de 300 metros de extensión vertical que, en la actualidad, continúa extendiéndose por erosión aguas arriba. El depósito, una avalancha de detritos simple, termina en la ribera del arroyo Esquel y presenta una topografía suavemente ondulada. No se han hallado cortes artificiales o naturales que permitan observar las características internas del depósito y sólo se ha podido verificar la presencia de un suelo muy bien desarrollado que suele superar el metro de espesor.

Las unidades Puente Arroyo Esquel 1 y 2 (PAE1 y PAE2) se hallan sobre la margen izquierda de ese curso de agua (Fig. 6), a pocos kilómetros del casco urbano de la ciudad de Esquel (Fig. 1). A pesar de su proximidad y de que poseen características primarias similares (litología, exposición, pendiente original, altitud) los tipos de remoción en masa en uno y otro caso fueron muy diferentes. Por un lado, PAE1 se caracteriza por ser una unidad compleja, que consta de tres subunidades

**CUADRO 1:** Clasificación y principales parámetros de las unidades gravitacionales.

Unidad Gravitacional		RG compleja cj	BC simple sp	BA compleja cj sp		PAE1 compleja cj		PAE2 múltiple mp	RP1 compleja cj	RP4 compleja cj	RP5 compleja cj	RP6 compleja cj	RP7 simple sp	
Tipo y estilo del movimiento	Movim. 1 (proxim.)	Deslizam. Rotacional multiple DR mp	Avalancha de Detrito ¿simple?	DR sp?	DR sp	DR mp	AD sp	Deslizam. Rotacional multiple	Deslizam. Rotacional ¿simple? DR ¿sp?	Deslizam. Rotacional ¿simple? DR ¿sp?	Deslizam. Rotacional multiple DR mp	Deslizam. Rotacional ¿simple? DR ¿sp?	Avalancha de Detrito simple AD sp	
	Movim. 2 (distal)	Flujo de Detrito ¿simple?	AD ¿sp?	AD sp				DR mp	Avalancha de Detrito múltiple	Avalancha de Detrito múltiple		Avalancha de Detrito múltiple		
		FD ¿sp?							AD mp	AD mp		AD mp		
Estado		Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica	Inactiva relictica / reactivada		Inactiva relictica	Inactiva relictica	
Altitud media (m s.n.m.)		680	675	685	590	555	525	535	510	515	530			
Longitud total (km)		1,70	1,05	0,80	1,30	1,40	0,80	1,30	0,75	0,50	0,80			
Ancho máximo (km)		1,10	0,50	0,65	0,55	1,56	0,28	0,24	0,30	0,13	0,30			
Pendiente total		7° ≈ 13%	11° ≈ 20%	11° ≈ 20%	8° ≈ 13%	6° ≈ 10%	6° ≈ 10%	6° ≈ 10%	8° ≈ 14,5%	10° ≈ 18%	8° ≈ 14%			
Area total (km²)		1,40	0,34	0,45	0,65	1,50	0,13	0,40	0,20	0,06	0,12			
Area masa desplaz. (km²)		0,75	0,30	0,30	0,55	1,35	0,09	0,30	0,14	< 0,06	< 0,12			
Direcc. desplazamiento		SW	NNW	SE	NW	NW	S	S	S	S	S			
Materiales desplazados	Sedimentitas continentales (Fm Ñorquinco) + drift glacial indiferenciado													
Edad	Inmediatamente posterior al desglazamiento del valle y coetánea al desarrollo de los lagos proglaciales (terminación de la Ult. Glaciac.)						Pre-Holoceno, posterior al retiro de los glaciares del Tardiglacial o del Holoceno.							
Factores condicionantes	Alta porosidad y escasa cohesión de las rocas y los sedimentos afectados.													
Factores desencadenantes	Factor principal: relajamiento post-glacial de las laderas e incisión fluvial. Factor probable/secundario: mayor presión de poro por contacto con las aguas glacialacustres e incremento de las pendientes por erosión glacial.													
Consideraciones sobre el riesgo geológico	Aparente amenaza sobre vidas y bienes		Amenaza s/ vidas y bienes		Sin amenaza evidente sobre vidas o bienes			Amenaza s/ vidas y bienes		Afectando, en la actualidad, la red vial			Amenaza s/ vidas y bienes	

Las unidades gravitacionales fueron definidas siguiendo la propuesta de Pasuto y Soldati (1999). El tipo de movimiento y el estilo de la actividad gravitacional (Cruden y Varnes 1996) fueron determinados para cada una de las unidades, y para las subunidades que las componen, según la siguiente nomenclatura: DR (deslizamiento rotacional), AD (avalancha de detritos), sp (simple), cp (complejo) y mp (múltiple).

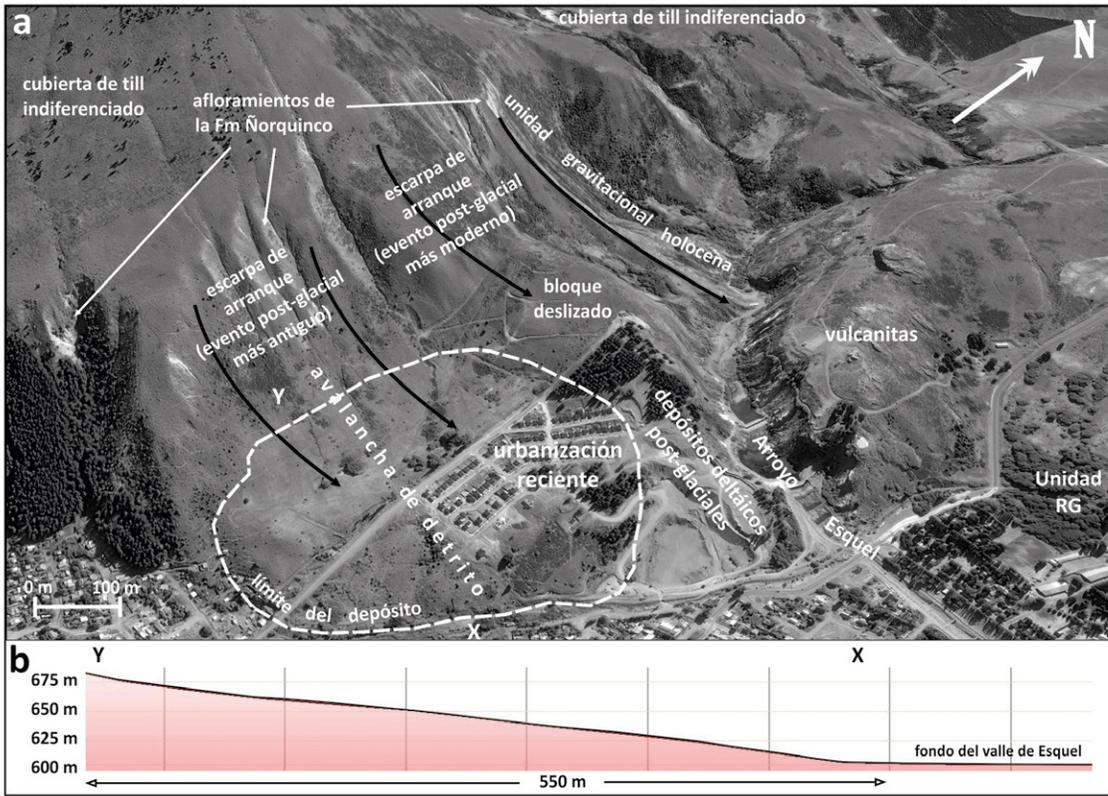
(aunque sólo dos de ellas, las de mayores dimensiones y mejor definición, han sido consideradas en el Cuadro 1): un deslizamiento rotacional múltiple, una avalancha de detritos simple y un deslizamiento rotacional simple de menores dimensiones. Por otro lado, PAE2 es una unidad gravitacional que se corresponde con un deslizamiento rotacional múltiple que consta de tres bloques rotados, que tienen una extensión lateral superior al kilómetro, que en su parte superior han generado terrazas que ejercen un marcado control sobre el drenaje de la ladera (Fig. 6).

Sobre la ladera norte del valle del río Percy, donde el curso de agua abandona el encajonamiento e ingresa a su planicie aluvial (Figs. 1 y 7a) se observa un conjun-

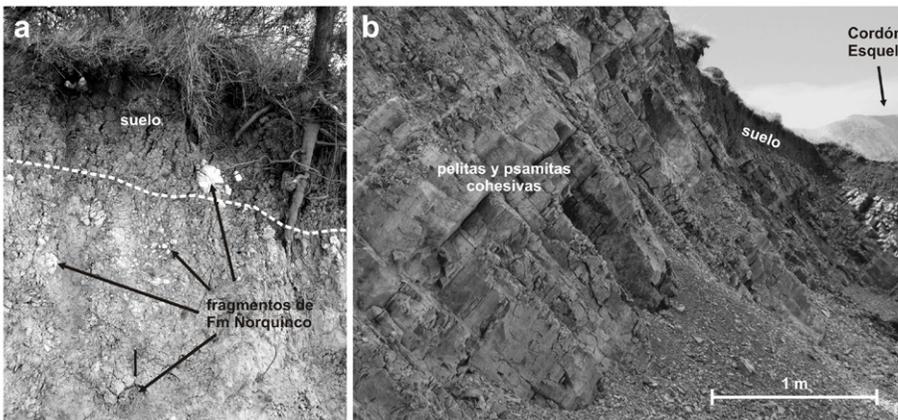
to de formas de remoción en masa cuyos límites individuales no son de fácil determinación debido al difuso contacto lateral entre ellas. Siete han sido identificadas con certeza aunque sólo cinco, Río Percy 1, 4, 5, 6 y 7 (RP1, RP4, RP5, RP6 y RP7), fueron objeto de observaciones de detalle e incorporadas al Cuadro 1. RP1, RP4, RP5 y RP6 son unidades complejas cuyos sectores proximales se caracterizan por la presencia de deslizamientos rotacionales en contacto con la escarpa de arranque y que evolucionan aguas abajo a avalanchas de detritos. RP4 es la de mayor longitud (1,3 km) y la presencia de abundantes escarpas menores y numerosas ondulaciones en casi toda su superficie (Fig. 7a) se condice con un estilo de la actividad múltiple. La unidad RP7 puede clasificarse

como una avalancha de detritos simple en la cual los materiales se encauzaron a través de un canal de ancho no inferior a 70 m. Esta morfología se ajusta a un tipo de remoción rápida o muy rápida.

Los cortes transversales del trazado de una carretera (Ruta Provincial N° 72) sobre estos depósitos (Fig. 7a) permiten observar excelentes perfiles geológicos (Fig. 7b). En estos se aprecia el aspecto grueso, caótico y brechoso de los materiales transportados que incluyen abundantes bloques de las sedimentitas oligocenas y sedimentos glaciares gruesos a muy gruesos. El depósito se presenta muy similar al descrito en la unidad BA, en el valle de Esquel.



**Figura 2:** a) Imagen satelital (gentileza Google Earth) sobre la cual se indican los principales elementos de la unidad gravitacional BA. El depósito de la avalancha de detritos se pone en contacto lateral con depósitos deltaicos post Máximo de la Última Glaciación. Al norte, un bloque deslizado se apoya sobre los mismos depósitos deltaicos; b) Perfil topográfico longitudinal de la avalancha de detritos.



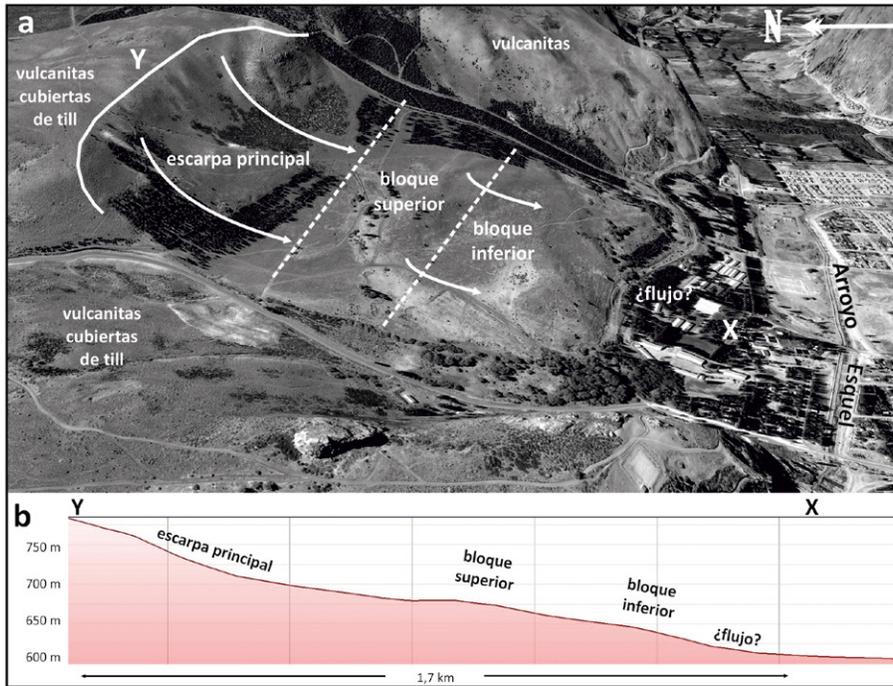
**Figura 3:** a) Corte artificial en la facies distal de la diamictita que compone la avalancha de detritos de la unidad gravitacional BA (Fig. 2). Se observan los bloques subangulosos, de pelitas y areniscas de la Formación Norquínco en una matriz arenosa intensamente oxidada y cohesiva; b) Deslizamiento rotacional de la unidad BA (Fig. 2), aledaño a la avalancha principal que inclina al NW y está constituido por pelitas y areniscas finas cohesivas, estratificadas, cubiertas por 30-40 cm de suelo bien desarrollado.

### EDAD Y GÉNESIS DE LAS UNIDADES GRAVITACIONALES

La ubicación temporal de los procesos de ladera estudiados se deduce de la relación espacial entre las correspondientes unidades gravitacionales y la secuencia glaciogénica del área. El esquema glaciestra-

tigráfico del Pleistoceno adoptado en este trabajo surge de las propuestas de Martínez (2002, 2005a y b), Haller *et al.* (2010) y Martínez *et al.* (2011) las cuales constituyen modificaciones de aquellas de Caldenius (1932) y Flint y Fidalgo (1968). Para el glaciar que ocupó reiteradamente el valle de Esquel se ha propuesto un esquema (Martínez 2005b, Cuadro 2) de cinco

glaciaciones de las cuales la más antigua (Pleistoceno temprano) se corresponde con la Gran Glaciación Patagónica (Mercer 1976). De las once morenas marginales construidas por las estabilizaciones de los glaciares durante estos eventos climáticos, las dos crestas más internas y occidentales fueron correlacionadas, utilizando argumentos geomorfológicos y métodos semicuantitativos, con la Última Glaciación. Estas morenas, que coinciden con las que Caldenius (1932) asignó al Finiglacial, cierran el valle de Esquel por el este y el norte (Fig. 1) y han jugado un rol relevante en la posterior evolución morfológica del valle por cuanto su presencia permitió el desarrollo de la fase glacialacustre durante la terminación glacial, y la posterior inversión del sentido de flujo de las redes fluviales. Tal como lo indican Caldenius (1932) y Feruglio (1950), el mencionado lago proglacial, encerrado entre las morenas en el este y el frente glacial en retroceso en el oeste, tuvo un desarrollo complejo que incluyó varias etapas (dos etapas principales según Caldenius 1932) en las cua-



**Figura 4:** a) Imagen satelital (gentileza Google Earth) de la unidad gravitacional RG compuesta de un deslizamiento rotacional múltiple y, en su sector distal, materiales de escasa expresión topográfica (urbanizados) que son interpretados como un flujo. La ausencia de perfiles expuesto no permite verificar las litologías movilizadas aunque, probablemente, se correspondan con sedimentitas terciarias (Formación Ñorquinco) que, en este sector, se apoyan sobre el sustrato volcánico; b) Perfil topográfico longitudinal.

les el nivel del agua se estabilizó en posiciones sucesivamente más bajas con las correspondientes reducciones del espejo de agua.

La presencia de restos de tres cordones litorales (y un potencial cuarto cordón), escalonados, separados por pocos metros y ubicados a una altitud aproximada de 750 m s.n.m. sobre la ladera norte del valle de Esquel (TL en la Fig. 1) indica diferentes estabilizaciones durante el vaciamiento de este antiguo lago. Los cuatro paleocauces, perfectamente conservados, que funcionaron como desagües (Fig. 1), identificados por Martínez (2002) a la salida del valle de Esquel, se ubican a distintas alturas: el primero y más antiguo a 805 m s.n.m., el segundo a 800 m s.n.m., el tercero a 765 m s.n.m. y el cuarto y más moderno a 750 m s.n.m. (Fig. 1), entendiéndose que, posiblemente, los más altos y antiguos se correlacionen con vertederos anteriores al Máximo de la Última Glaciación.

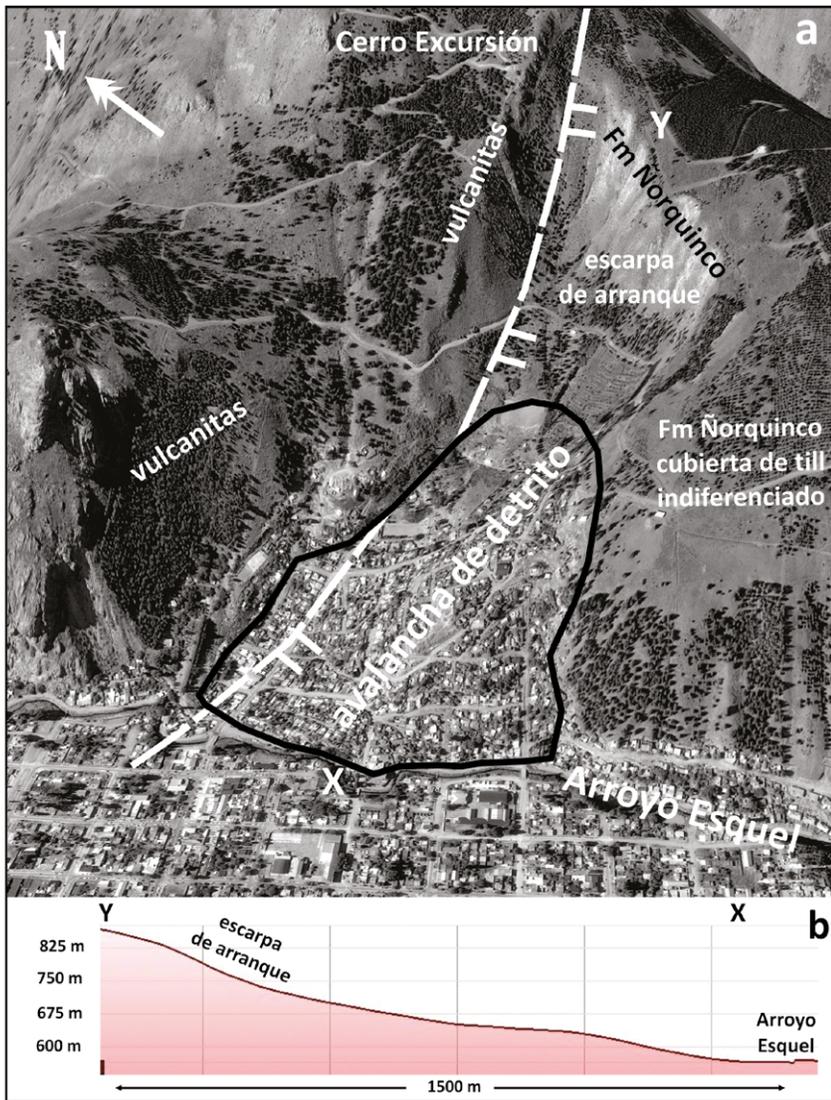
Las unidades gravitacionales estudiadas se ubican dentro de los valles a altitudes

medias inferiores a los 750 m s.n.m. (Fig. 1, Cuadro 1), cota que representa, como se ha dicho, la posición más restringida del paleolago. En el valle de Esquel, la unidad BA se pone en contacto lateral con una voluminosa secuencia deltáica (Figs. 2 y 8) que fue depositada por un curso de agua proveniente del norte (cuyo trazado coincidiría con el tramo alto del actual arroyo Esquel) que desembocaba en el mencionado lago proglacial. Evidencias de campo y el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas confirman que, efectivamente, la avalancha de detritos de BA se habría producido en algún momento durante la acumulación de estos sedimentos deltáicos lo que implica que la masa gravitacional ingresó al espejo de agua. La proximidad, el similar grado de erosión morfológica y un desarrollo equivalente de suelo hacen verosímil la idea de que el resto de las unidades que yacen en el valle de Esquel (con más probabilidades, RG y BC) se habrían depositado, también, en este ambiente subbácico, supuesto que debería confirmar-

se con futuros estudios. La edad de las unidades gravitacionales del valle de Esquel queda así acotada a un lapso inmediatamente posterior a la desaparición del lóbulo de descarga glacial del Máximo de la Última Glaciación.

El hecho de que el trazado del arroyo Esquel coincida con los límites distales (toes) de las unidades BC y PAE1 podría deberse al ajuste del curso de agua a la topografía definida por estas unidades gravitacionales, sin que deban descartarse eventuales reactivaciones de estas geoformas por la incisión fluvial (presumiblemente durante el Holoceno).

Las unidades gravitacionales que yacen en el valle del río Percey se ubican muy próximas y al poniente de unas crestas morénicas bien definidas que, a su vez, se hallan a más de 12 km, hacia el sudoeste de las morenas correlacionadas con la Última Glaciación (Fig. 1). Estas formas glaciales más modernas fueron asignadas por Caldenius (1932) al avance post-Finiglacial y, aunque este autor no correlaciona la terminación de este evento con una fase glacialacustre, la reconstrucción paleogeográfica para ese lapso favorece la idea del desarrollo de un lago (seguramente más somero y efímero que el precedente) endicado por estas formas glaciales. Los procesos gravitacionales ocurridos en las laderas del valle del río Percey se ubican en tiempos posteriores al mencionado post-Finiglacial. Tentativamente, se correlaciona a este evento glacial con el Tardiglacial acaecido en tiempos pre-holocenos, luego de los 15 k.y. (Clapperton 1993, Rabassa 2008) y cuya influencia geomorfológica en el valle de Esquel ya fue propuesta por Martínez *et al.* (2005). Análogamente a lo que ocurre en las márgenes del arroyo Esquel, los extremos distales de algunas de las unidades gravitacionales del valle del río Percey se ponen en contacto con la planicie aluvial o con las terrazas fluviales de este curso de agua (Fig. 7). La incisión fluvial podría haber actuado, entonces, como factor desencadenante original de la remoción en masa. Sin embargo, la presencia cercana de otras unidades gravitacionales ubicadas al este (incluyendo la RP1, Cuadro 1), cu-



**Figura 5:** a) Imagen satelital (gentileza Google Earth) de la unidad gravitacional BC. Se observa una avalancha de detritos sobre la cual se ha desarrollado una de las urbanizaciones más antiguas y populosas de la ciudad de Esquel. El límite noreste de la unidad coincide con el trazado de una falla (Lizuaín y Viera 2010) mediante la cual se ponen en contacto las rocas volcánicas jurásicas (Fm Lago La Plata) con las sedimentitas oligocenas de la Fm Norquingo; b) Perfil topográfico longitudinal.

yos sectores distales se ubican a más de 50 m por encima de las terrazas fluviales más altas del mencionado río, tienden a fortalecer la idea de que estas unidades se generaron por otras causas. La propuesta de que el relajamiento post-glacial de las laderas constituyó el factor desencadenante principal en la ocurrencia de estos fenómenos es abonada por las observaciones de Martínez (1998, 2003) en zonas muy cercanas ubicadas al sudeste (sierra Colorada y cordón La Grasa) que confirman la presencia de grandes depósitos de remoción en masa, ocurridos en tiempos

post-Última Glaciación, en sectores de valle que se habrían descomprimido luego del retiro de los glaciares.

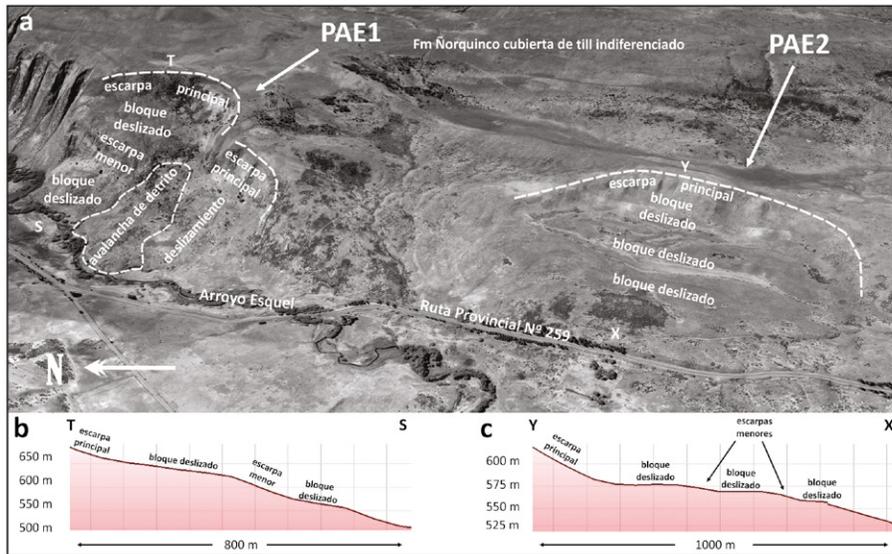
No se descarta que eventos pluviales puedan haber colaborado en la desestabilización de las laderas estudiadas, sin embargo, la ausencia de registros o evidencias paleoclimáticas que indiquen la ocurrencia de estos fenómenos para el lapso post-Última Glaciación / Pre-Holoceno en la región obligan a relativizar su posible influencia.

La coincidencia espacial entre la unidad BC con el trazado de una falla normal y la

aparente continuidad de este lineamiento en la otra ladera del valle, coincidiendo con los límites de la unidad BA (Figs. 2 y 5) hace necesario considerar la posibilidad de que algún evento sísmico haya desencadenado uno o ambos procesos de ladera. Sin embargo y hasta tanto no se cuente con evidencias más confiables, este origen es propuesto sólo a nivel de hipótesis.

### COMENTARIOS SOBRE EL RIESGO GEOLÓGICO VINCULADO A LOS PROCESOS GRAVITACIONALES

Se entiende por riesgo geológico al producto entre una determinada peligrosidad o amenaza geológica (probabilidad de ocurrencia de un proceso geológico de determinada magnitud) y la vulnerabilidad (valor del daño) de la sociedad en relación a esa amenaza (Scandone 1981, Verstappen 1992). El siguiente análisis del riesgo vinculado a las unidades gravitacionales consideradas en este trabajo no es exhaustivo y sólo pretende brindar una idea, simplificada, del estado actual de las variables que componen dicha ecuación. Sin desconocer que existen sectores del valle de Esquel sometidos a procesos de remoción en masa muy recientes o actuales (Andrada de Palomera 2002, Tejedo *et al.* 2009), hay suficientes evidencias (principalmente las geomorfológicas y el importante desarrollo del sistema suelo/vegetación) para considerar que todas las unidades de remoción en masa aquí estudiadas deben considerarse fosilizadas es decir que los factores que las originaron no actúan en el presente o se han modificado significativamente (Cruden y Varnes 1996). El desarrollo histórico (desde mediados del siglo 20) de una de las principales urbanizaciones de la ciudad de Esquel (barrio Ceferino Namuncura) sobre el depósito de la unidad BC no ha generado, hasta la fecha, modificaciones en dichos terrenos que puedan vincularse a fenómenos de remoción en masa, mucho menos a una escala equivalente a la de aquellos procesos que generaron esta



**Figura 6:** a) Imagen satelital (gentileza Google Earth) donde se observan las unidades PAE1 y PAE2 en el valle de Esquel. La unidad PAE1 es compleja y está integrada, de norte a sur, por un deslizamiento rotacional múltiple, una avalancha de detritos, aparentemente simple, y un bloque de sedimentitas deslizado, parcialmente deformado. La traza de la avalancha modificó el diseño del arroyo Esquel. La unidad PAE2 se corresponde con un deslizamiento rotacional múltiple cuyos bloques superan el kilómetro de ancho; b) y c) Perfiles topográficos longitudinales de ambas unidades gravitacionales.

**CUADRO 2:** Correlación de las distintas propuesta glacioestratigráficas para el Pleistoceno en el área de estudio (modificado de Martínez 2005b).

Edad	A los 43° LS - Esquel, Chubut			
	Caldenius (1932)	Flint y Fidalgo (1968)	García Díaz y Andrada de Palomera (1996)	Martínez (2002)
Pleistoceno tardío	Finiglacial			8° PostEPV Drift V: 7° PostEPV Lago Vinterr
		Drift		6° PostEPV
Pleistoceno medio	Gotiglacial	El Condor		5° PostEPV Drift IV: Súnica 4° PostEPV
	Daniglacial	Drift Pichileufu	Daniglacial	3° PostEPV Drift III: Lag. Esquel 2° PostEPV Drift II: 1° PostEPV Tres Lagunas
			Evento de Profundización de los Valles (EPV)	
Pleistoceno temprano			Inicioglacial	3° PreEPV Drift I: 2° PreEPV Cueva del León 1° PreEPV

EPV: evento de profundización de los valles (Rabassa y Clapperton 1990).

unidad durante el Pleistoceno. Esto fortalece la idea de asignar condiciones de estabilidad para esta acumulación y sus equivalentes, especialmente para la cercana unidad BA.

Se puede concluir que, si bien la vulnerabilidad relacionada con estos procesos de ladera es muy alta (muy alto valor en vidas y bienes), el valor de la amenaza debería considerarse bajo y, por lo tanto, el riesgo geológico también.

Distinta es la situación en las laderas del

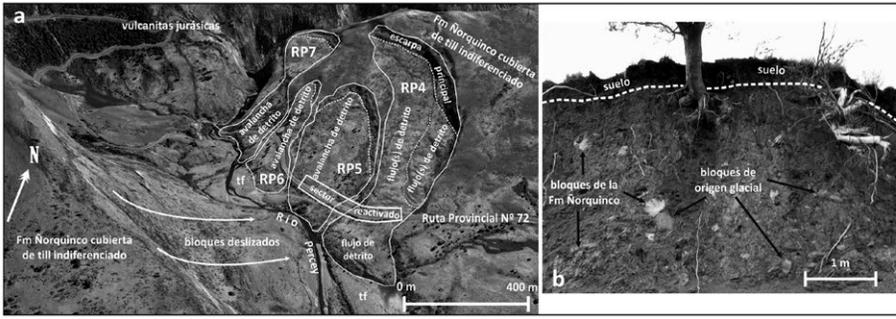
valle del río Percy. Allí, las obras de pavimentación (esencialmente la expansión de las banquetas) de la Ruta Provincial N° 72, iniciadas en el año 2005, afectan los segmentos medios a inferiores de todas las unidades gravitacionales consideradas en este trabajo (Cuadro 1, Fig. 7a) desestabilizando los taludes y provocando, en la actualidad y especialmente en las unidades RP4 y RP5, reactivaciones tanto aguas arriba como aguas abajo de dicha carretera (Figs. 9 y 10). Estos mo-

vimientos se corresponden con flujos de granulometría variable aunque con predominancia de sedimentos finos por lo que deberían ser considerados flujos de tierra. La mayor presencia de tamaños limo-arcillosos en estos depósitos actuales se explica porque los materiales están enriquecidos por los niveles de suelo que cubren los flujos de detrito fosilizados, cuyos espesores suelen superar el metro. El desplazamiento de estos sedimentos es lento a muy lento y, esencialmente, del tipo retrogresivo pues se proyecta gradualmente, año a año, aguas arriba (Fig. 9a).

Los efectos de esta removilización también se hacen evidentes hacia abajo del corredor vial (hacia la planicie aluvial del río Percy) y se manifiestan, fundamentalmente, a través de la deformación y rotura del pavimento, generando una casi permanente erogación de recursos públicos en el mantenimiento de la obra (Fig. 10b).

Dada su reducida probabilidad de ocurrencia, se estima que el valor de la amenaza es bajo a muy bajo para eventos similares a los que generaron a las unidades gravitacionales fosilizadas. Y será alto a muy alto si lo que se considera es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de remoción en masa de menor magnitud, equivalente a aquellos que están activos en la actualidad. En cualquier caso, la vulnerabilidad asociada a estas unidades puede considerarse baja a moderada fundamentalmente porque los potenciales daños provocados tienen pocas posibilidades de afectar vidas humanas. El valor del riesgo relacionado a las RPs, entonces, resulta bajo para procesos de ladera de gran magnitud pero, al menos, moderado para fenómenos de menor magnitud.

Determinadas intervenciones humanas pueden reactivar estos depósitos fosilizados hecho que, considerando las significativas similitudes (litologías involucradas, tipos de movimientos, condiciones climáticas, altitud, edad, tipo de cobertura vegetal, génesis) que existen entre las unidades del valle de Esquel y las del valle del río Percy, debe constituir una señal de alerta para los planificadores del uso



**Figura 7:** a) Imagen satelital (gentileza Google Earth) del valle del río Percey, donde se observan cuatro de las cinco unidades gravitacionales estudiadas en ese sector. Se puede apreciar el escalonamiento del flujo de detrito correspondiente a RP4 evidenciado por las numerosas escarpas menores (similares en aspecto a grietas) que se interpretan como el producto de reactivaciones, posiblemente durante el Holoceno. Los relictos de terrazas fluviales (tf) se observan parcialmente cubiertas por las facies distales de los flujos. Se ha indicado con un polígono el sector reactivado en la actualidad por las obras viales; b) Primer plano del corte de la ruta en la diamicrita de RP6. Las características internas de estos materiales son muy similares a aquellos expuestos de la unidad BA (Fig. 3a).



**Figura 8:** Facies frontal (foreset) de los depósitos deltaicos post-Última Glaciación en contacto lateral con la avalancha de detritos de la unidad gravitacional BA (Fig. 2). Estos bancos grises, de arena gruesa y conglomerática, inclinan hacia el centro del valle de Esquel (SE).

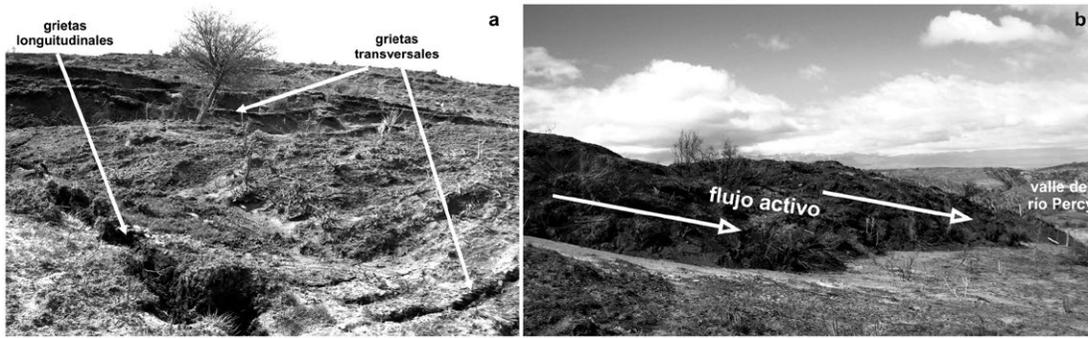
del suelo, tanto en las unidades ya urbanizadas (BA, RG y BC) como en aquellas que potencialmente lo son (PAE1 y 2). Citando a otros autores, por ejemplo Brabb (1978) o Hauser (1993), los depósitos de remoción en masa, inclusive aquellos profundamente modificados e inactivos, pueden activarse nuevamente si su estado de equilibrio es afectado por la actividad humana.

**CONCLUSIONES**

En dos valles de la precordillera del noroeste de Chubut, cercanos e interconec-

tados, se destaca una decena de unidades gravitacionales fosilizadas, con morfología bien conservada. Se corresponden con flujos de detrito y deslizamientos rotacionales y los materiales afectados son sedimentitas continentales terciarias y el manto de *drift* glacial pleistocénico que recubre a estos afloramientos en el área. La alta porosidad y la escasa cohesión de estas litologías fueron los factores condicionantes que propiciaron estos procesos de ladera. Independientemente de la tipología de la remoción en masa involucrada, existen notables similitudes (topográficas, sedimentológicas, geomorfológicas,

glacioestratigráficas y edáficas) para reconocer una historia común entre ellas, la que incluye una coincidencia en el lapso de la paleoactividad (sin asumir que las mismas hayan sido sincrónicas) y el mismo conjunto de causas desencadenantes. En este sentido, la descompresión y relajación de las laderas luego del retiro hacia el oeste de los lóbulos glaciares de la Última Glaciación, en el caso del valle de Esquel, y de la posterior glaciación del Tardiglacial, en el valle del río Percey, habrían jugado un rol central en la etapa inicial de estos procesos. Por otro lado, la conexión lateral de uno de estos depósitos con sedimentos deltáicos glacialacustres permite concluir que esa y probablemente otras unidades del valle de Esquel se generaron en contacto con las aguas del gran lago proglacial que ocupó el área durante la recesión del hielo, ambiente de depositación subáqueo que no ha podido ser confirmado con otras evidencias, más allá de las geomorfológicas. Asociado a esta etapa glacialacustre, no debe descartarse como otro factor desencadenante, complementario, el incremento en la presión de poro de las rocas debido al contacto con las aguas del mencionado lago. Un aumento de las precipitaciones tendría un efecto similar en las condiciones internas de las rocas pero la ocurrencia de este tipo de fenómenos climáticos para el lapso considerado no ha sido constatada. El hecho de que los extremos distales de algunas de las unidades gravitacionales de ambos valles se pongan en contacto con las actuales planicies aluviales o con las terrazas fluviales de los respectivos cursos de agua indicaría que estas unidades se generaron o reactivaron durante el Holoceno, como producto de la incisión fluvial. La presencia de suelo bien desarrollado con espesores que superan el metro, el desarrollo de redes fluviales modernas (holocenas) y la ausencia de evidencias de actividad en tiempos históricos indican que todas las unidades están fosilizadas. Sin embargo, aquellas ubicadas en el valle del río Percey han sido reactivadas, durante la última década, por la pavimentación de una carretera. Este hecho



**Figura 9:** Sector distal de la unidad RP5, en inmediaciones del corte de la ruta provincial N° 72 (Fig. 7). a) Fracturas transversales y longitudinales generadas recientemente sobre los depósitos fosilizados mediante una dinámica retrogresiva; b) Flujo de tierra desprendido del depósito original fosilizado, con el característico abultamiento.



**Figura 10:** Corte de la ruta provincial N° 72 sobre el sector distal de las unidades RP4 y RP5 (Fig. 7). a) Tramo de dicha carretera cuyo pavimento es deformado y fracturado desde el inicio de las obras (año 2005) y evidencia la continuidad del movimiento aguas abajo de la carretera; b) Gaviones diseñados para contener los materiales y para facilitar el escurrimiento del agua.

introduce un factor de incertidumbre sobre la dinámica y la evolución futura de todo el conjunto de depósitos estudiados, situación que debería ser atendida desde un enfoque preventivo, a la brevedad posible, por las autoridades y los organismos pertinentes.

La presente contribución incluye un intento de clasificar las formas y depósitos de remoción en masa utilizando el concepto de unidad gravitacional (Pasuto y Soldati 1999) combinado con algunas de las categorías propuestas por Cruden y Varnes (1996). Esta metodología, que define tres niveles de análisis geomorfológico, ha resultado eficiente, al menos para los casos considerados en este trabajo.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los editores de esta revista, al Dr. Víctor García y a otro revisor anónimo por las valiosas y pertinentes correcciones y sugerencias realizadas a la versión original de este trabajo.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Andrada de Palomera, R.P. 2002. Geomorfología del valle de Esquel y alrededores de las lagunas Willimanco, Zeta y Carao, noroeste del Chubut. XV Congreso Geológico Argentino, Actas CD: artículo 52, El Calafate.
- Brabb, E.E. 1978. The World Landslide Problem. Episodes 14: 52-61.
- Caldenius, C. 1932. Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. Dirección General de Minas y Geología, Ministerio de Agricultura de la Nación 95, 150 p., Buenos Aires.
- Clapperton, C. 1993. Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, 779 p., Amsterdam.
- Cruden, D. y Varnes, D. 1996. Landslide types and processes. Landslides. Investigation and Mitigation. Special Report 24: 36-75.
- Feruglio, F. 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales 3, 342 p., Buenos Aires.
- Flint, R. y Fidalgo, F. 1968. *Drift* Glacial al Este de los Andes entre Bariloche y Esquel. Instituto Nacional de Geología y Minería. Boletín 119, 19 p., Buenos Aires.
- González Díaz, E. F. y Andrada de Palomera, R. P. 1996. Nueva propuesta genética y evolutiva geomórfica de la "pampa" de Gualjaina, NO del Chubut extrandino. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 221-230.
- Haller, M.J. R.R. Lech, O. Martínez, C.M. Meister, S. Poma y R. Viera, 2010. Hoja Geológica 4373-III/IV, Trevelin, provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 322, 86 p. Buenos Aires.
- Hauser, A. 1993. Remociones en Masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín 45, 73 p., Santiago de Chile.
- Lizuain, A. y Viera, R. 2010. Hoja Geológica 4372 I y II, Esquel, provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 369, 72 p., Buenos Aires.
- Martínez, O. 1998. Depósitos y geoformas cuaternarias en Sierra Colorada y Lago Rosario, Noroeste del Chubut, Argentina. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica 1: 334-339, Buenos Aires.
- Martínez, O. 2002. Geomorfología y geología de los depósitos glaciares y periglaciares de la región comprendida entre los 43° y 44° lat.sur

- y 70°30' y 72° long. oeste, Chubut, República Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia (Inédito), 216 p., Comodoro Rivadavia.
- Martínez, O. 2003. Geomorfología y Geología del Cuaternario en el noroeste de la Provincia de Chubut. II Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 301-312, San Miguel de Tucumán.
- Martínez, O. 2005a. Geomorfología y geología de los depósitos glaciares y periglaciares de la región comprendida entre los 43° y 44° lat. sur y 70°30' y 72° long. oeste, Chubut, República Argentina. *Naturalia Patagónica* 1: 108-112.
- Martínez, O. 2005b. Incisión fluvial y glaciaciones durante el Pleistoceno a los 43° l.s., noroeste de la Provincia de Chubut. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 135-140, La Plata.
- Martínez, O. 2014. Edad y génesis de las principales Unidades Gravitacionales en los alrededores de Esquel. XIX Congreso Geológico Argentino, Actas CD: S19-10, Córdoba.
- Martínez, O., Argel, F. y Humai, A. 2005. Taludes estratificados relícticos en las márgenes del Arroyo Esquel. Su significado paleoambiental. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 109-114, La Plata.
- Martínez O., Coronato, A. y Rabassa, J. 2011. Pleistocene glaciations in northern Patagonia, Argentina: an updated review. En: Ehlers, J., Gibbard, P.L. y Hughes. P.D. (eds.), *Quaternary glaciations – extent and chronology, Part IV – a closer look*. Elsevier, *Developments in Quaternary Science* 15, 729-734, Amsterdam.
- Mercer, H. 1976. Glacial History of southernmost South America. *Quaternary Research* 6: 125-166.
- Pasuto, A. y Soldati, M. 1999. The use of landslide units in geomorphological mapping: an example in the Italian Dolomites. *Geomorphology* 30: 53-64.
- Rabassa, J. 2008. Late Cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. En: Rabassa, J. (ed.), *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*. Elsevier, *Developments in Quaternary Sciences* 11: 151-204, Amsterdam.
- Rabassa, J. y Clapperton, C.M. 1990. Quaternary Glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Sciences Reviews* 9: 153-154.
- Scandone, R. 1981. Models of volcanic processes: a review and some new ideas. *Bulletin of Volcanology* 44: 257-267.
- Tejedo, A. y Pereyra, F. 2009. Carta Geomorfológica. Carta de Peligrosidad Geológica, Esquel, 4372-II y I. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Tejedo, A., Chávez, R. y Tello, N. 2009. Carta de Peligrosidad Geológica 4372-II, Esquel, Provincia de Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 389, 127 p., Buenos Aires.
- Verstappen, H.Th. 1992. Requerimientos de la información temática en la concientización de amenazas naturales y la mitigación de riesgos. 1° Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica para el estudio de los Riesgos Naturales, Memoria: 389-409, Santa Fé de Bogotá.

Recibido: 9 de febrero de 2015

Aceptado: 15 de mayo de 2016