

**Geomorfología y procesos de vertiente. Cuenca alta del río Sauce Grande
(Buenos Aires, Argentina)**

*Geomorphology and slope processes. Upper basin of Sauce Grande river
(Buenos Aires, Argentina)*

Gil, V.⁽¹⁾; Campo, A.M.⁽¹⁾

(1) Departamento de Geografía y Turismo, UNS / CONICET, 12 de octubre 1198 - 4º, B8000CTX Bahía Blanca, Argentina.

Resumen

El área de estudio se localiza en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Allí se producen procesos de vertientes y crecidas intensas de los arroyos provocadas por lluvias torrenciales de baja frecuencia. La ordenación del territorio es incipiente y la documentación de base para la toma de decisiones es escasa. Por ello, el objetivo de este trabajo es determinar las características geomorfológicas y analizar los procesos de vertiente que se generan en la cuenca alta del río Sauce Grande. La cartografía geomorfológica se elaboró siguiendo la metodología propuesta por Peña Monné (1997). Se realizó una cartografía geomorfológica y se analizaron 17 perfiles topográficos para la caracterización morfométrica y fisiográfica, y su relación con procesos característicos y de dinámica de vertientes. Los primeros resultados evidenciaron que donde aflora el macizo antiguo se generan deslizamientos, flujos de detritos y caídas de roca y sobre las formas condicionadas por el clima, reptación, arroyada en manto e incisión fluvial.

Palabras Claves: Geomorfología, procesos de vertiente, Sauce Grande, Argentina, perfiles topográficos.

Abstract

Study area is located in the southwestern of de Buenos Aires province, Argentina. Flash floods and slope processes that occur in this zone are caused by intense low frequency rains. Spatial planning is just beginning and support documentation for decision-making is insufficient. Therefore, the aim of this study is to determine the geomorphological characteristics and analyze the slope processes that are generated in the



upper basin of the Sauce Grande river. A geomorphological map was developed. 17 topographic profiles were analyzed for morphometric and physiographic characterization. Relationships with active processes and slope dynamics were proposed. The first results showed that the landslides, debris flows and rock falls are associated with the Ventania System outcrops. Creeping and rill erosion are related to climatic-conditioned forms.

Keywords: geomorphology, slope processes, Sauce Grande, Argentina, topographic profiles.

1. Introducción

La geomorfología de un área juega un papel fundamental en los estudios hidrológicos debido a su influencia en las características y dinámica de una cuenca hidrográfica. Existen numerosos estudios sobre aspectos morfológicos y morfodinámicos de una cuenca realizados tanto en Europa como en América. Entre ellos se pueden citar autores como Gregory y Wallings, 1973; Knighton, 1984; Morisawa, 1985; Baker *et al.*, 1988; Leopold *et al.*, 1995; Schumm *et al.*, 1996; Barbieri y Marchetti, 2003; Sánchez del Corral Jiménez, 2007; Esper Angillieri, 2007. Por otra parte y considerando que el medio físico es el sostenedor y sustentador de las actividades humanas, el análisis geomorfológico permite definir si el medio natural es capaz de acoger diferentes actividades. Asimismo, la mayoría de los sistemas fluviales no están en una situación "natural" sino que están modificados por las actividades humanas desde largo tiempo, lo cual produce mayor complejidad en las interrelaciones, en su interpretación y en su síntesis (Castro y Brignardello, 2005).

Los mapas geomorfológicos son importantes para la planificación del espacio, contienen una información directamente aplicable a numerosos aspectos de la actividad humana sobre el medio físico y a nivel práctico constituyen un documento básico que puede ser reelaborado en determinados aspectos y en función de necesidades concretas de aplicación (mapa hidrogeomorfológico, de inestabilidad, entre otros). Se trata de una

interpretación subjetiva del paisaje y representa de forma sintética las formas de relieve de una región (Peña Monné, 1997). Uno de los aspectos relevantes del mapa geomorfológico es que permite la reelaboración de cartografía existente y la homogeneización de datos para sectores donde se carece de información.

En la cuenca alta del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina, la combinación de los factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica fluvial y de vertientes. Se producen remoción en masa y crecidas intensas de los arroyos provocadas por lluvias torrenciales de baja frecuencia. En los últimos 15 años se ha intensificado la frecuencia de lluvias torrenciales en el sector. Esto tiene como consecuencia una activación de los procesos de laderas que hasta el momento no han sido estudiados en todo el área. Sólo se destaca el trabajo de Figueroa (1968) donde se explica la existencia de acumulaciones de bloques producidas por movimientos de masas de material meteorizado. Por otra parte, los trabajos desde una perspectiva geomorfológica son escasos y a escala regional. La ordenación del territorio es incipiente y la documentación de base para la toma de decisiones es escasa y en algunos casos, nula. Por todo ello, el objetivo de este trabajo es determinar las características geomorfológicas e identificar los procesos de vertiente que se generan en la cuenca alta del río Sauce Grande.

2. Área de estudio

La cuenca alta del río Sauce Grande se encuentra localizada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La misma nace en el cordón de Ventana, drena las laderas de la vertiente Este y recibe en su trayecto varios afluentes del cordón de las Tunas y Pillahuincó por su margen izquierda y del cordón de Sierra de la Ventana por la margen derecha (Fig. 1). Esta zona se distingue por estar en una área templada de transición donde las precipitaciones se concentran en otoño y primavera con una alta variabilidad interanual. El valor medio anual es, para la

cuenca de análisis, de 739 mm con una dispersión de 40 mm. Es de destacar la amplitud entre los valores medios máximos y mínimos, la cual llega a 1.010 mm (Gil, 2009).

3. Materiales y métodos

Se utilizaron las cartas topográficas a escala 1:50.000 elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), la carta geológica Sierra de la Ventana a escala 1:200.000 y fotografías aéreas del año 1981 a escala 1:20.000 como documentos básicos. Estos documentos son los únicos existentes para el sector. Para el levanta-

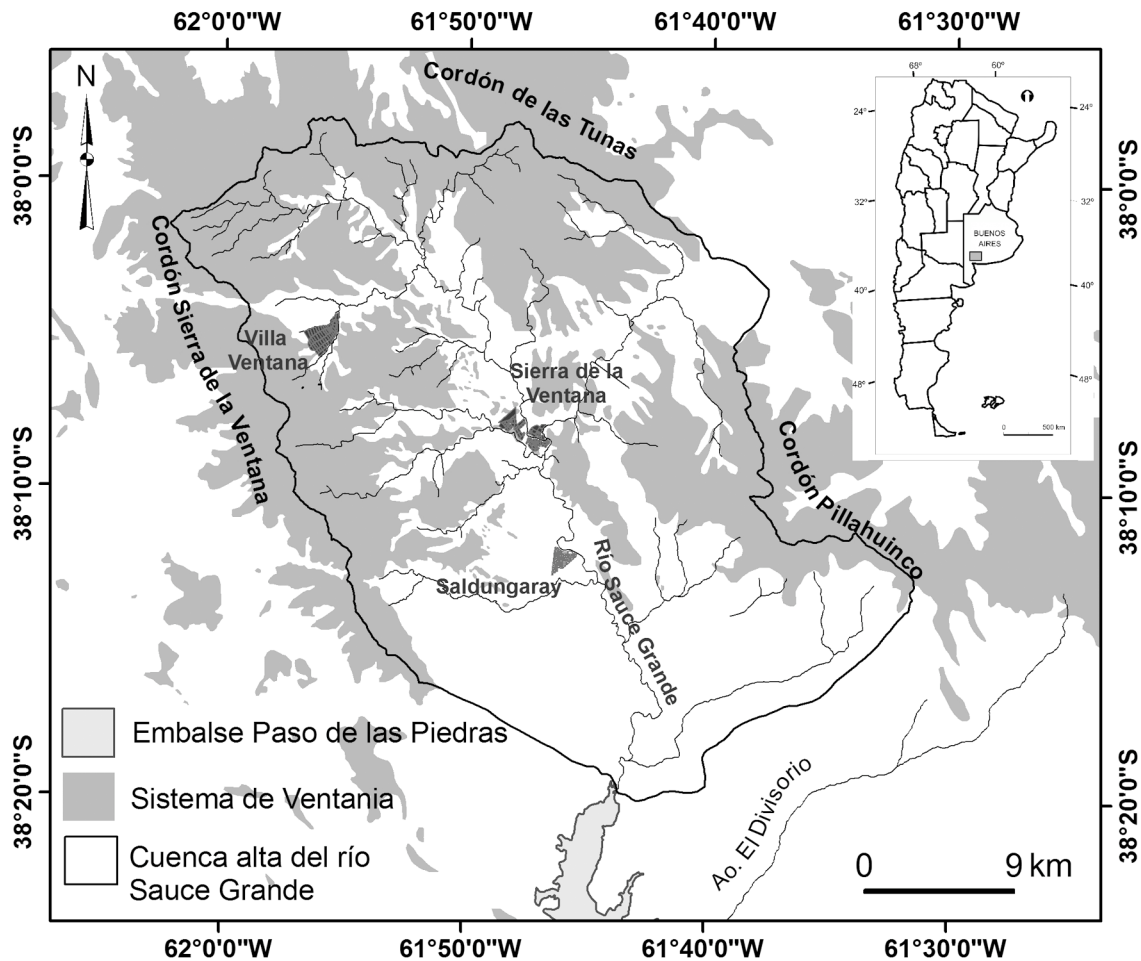


Figura 1. Área de estudio.
Figure 1. Location map.

tamiento geomorfológico se utilizó como base las fotografías aéreas y la cartografía se elaboró siguiendo la metodología propuesta por Peña Monné (1997). Se realizaron campañas sobre el terreno para comprobación de datos y cartografía detallada de algunos sectores.

Para analizar las vertientes, su trazado y desarrollo y correlacionarlas posteriormente con los procesos que las afectan es necesario conocer aspectos morfométricos, fisiográficos y dinámicos. Para ello se siguió la propuesta metodológica de Pedraza Gilsanz (1996) y se realizaron 30 perfiles topográficos a lo largo de toda la cuenca. En este trabajo se analizan 17 que corresponden a sectores significativos y explicativos de ambas vertientes. En los mismos se definen las variaciones en la pendiente (cambios y rupturas) y los segmentos que las componen (horizontales, rectilíneos, cóncavos y convexos). La identificación y análisis de procesos de vertientes se basó en el grado de inclinación de la pendiente general y de los segmentos en particular, la orientación de la ladera y la posición respecto a elementos antropogénicos y a las subcuencas más importantes del área de estudio. El reconocimiento de campo fue fundamental para la identificación y comprobación de los procesos que actúan en las mismas.

4. Resultados y discusión

4.1. Geomorfología

La cuenca alta del río Sauce Grande presenta morfologías propias de un relieve plegado donde la terminología empleada en este caso hace referencia al modelado fluvial pero condicionado por la estructura que, hasta cierto punto, dirige la morfogénesis (Fig. 2). Las rocas metamórficas que componen el macizo antiguo actúan ante los agentes de modelado como rocas cristalinas, por lo cual muchas de las geoformas encontradas son descritas por diferentes autores para rocas ígneas princi-

palmente (Pedraza Gilsanz, 1996; Vidal Romaní y Twidale, 1998; Gutiérrez Elorza, 2002).

4.1.1. Formas estructurales

El macizo antiguo plegado es la unidad geomorfológica de mayor extensión en la zona de estudio. En el sector oeste de la cuenca afloran rocas pertenecientes al Grupo Ventana o Il Ciclo sedimentario (Andreis *et al.*, 1989), las cuales integran la Sierra de la Ventana. En los sectores que superan los 500 m (± 30 m) afloran las areniscas cuarcíticas de la Formación Providencia y Napostá. Por debajo de esta altura aflora la Formación Lolén (Devónico), que constituye el sustrato erosionado en el sector de piedemonte occidental al norte-centro de la cuenca, mientras que en la parte sur es cubierta por depósitos aluviales. En el sector oriental de la cuenca aflora el Grupo Pillahuincó ó III Ciclo sedimentario (Andreis *et al.*, 1989), afectado también por plegamiento y compuesto por diamictitas, conglomerados, pelitas, esquistos, pizarras y areniscas según la formación que se considere.

Von Gosen *et al.* (1991) considera al sistema como una faja plegada y corrida con importantes fallas inversas subaflorantes paralelas al rumbo de las sierras. Las estructuras que predominan son los pliegues (de varios órdenes), los cuales poseen características diferentes según el grupo estratigráfico que se considere. Así, se encuentran fallas de pequeño salto y roturas de charnela ligadas al plegamiento, ejes anticlinales y sinclinales, fracturas y una red de diaclasas.

La formación de hogbacks, cuestas y crestas está relacionada con el ángulo de inclinación de los bancos que forman los flancos de los pliegues y con la erosión diferencial de los mismos. Estos elementos del relieve tienen valor morfológico ya que están ligados a relieves plegados (Fernández García, 2006). En el caso de la Formación Providencia, que aflora en los sectores más altos del cordón de Sierra de la Ventana, el ángulo medio de inclinación de los estratos es de 30°. Para la For-

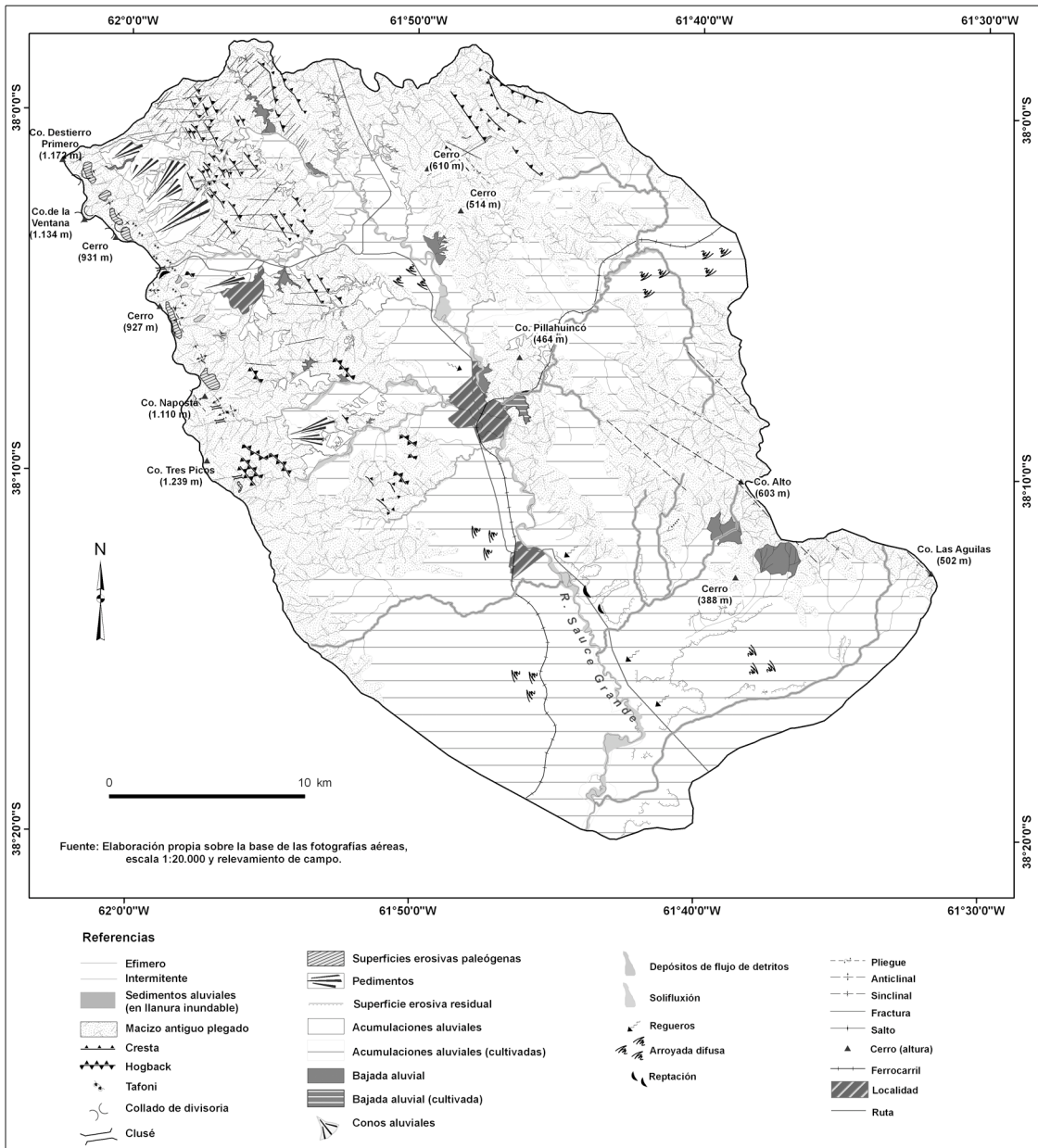


Figura 2. Mapa geomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande. A grandes rasgos se distinguen dos unidades de mayor extensión areal, el macizo antiguo plegado y la zona de acumulaciones aluviales.

Figure 2. Geomorphological map of the upper basin of Sauce Grande river. Two units, with mayor area, were distinguished: Paleozoic folding ranges and alluvial deposits.

mación Lolén, que aflora a alturas menores, el ángulo medio es de 18° (Tomezzoli y Cristalini, 2004). Así quedan configurados los

hogback, cuestas y crestas en el sector oeste del área de estudio (Fig. 3).

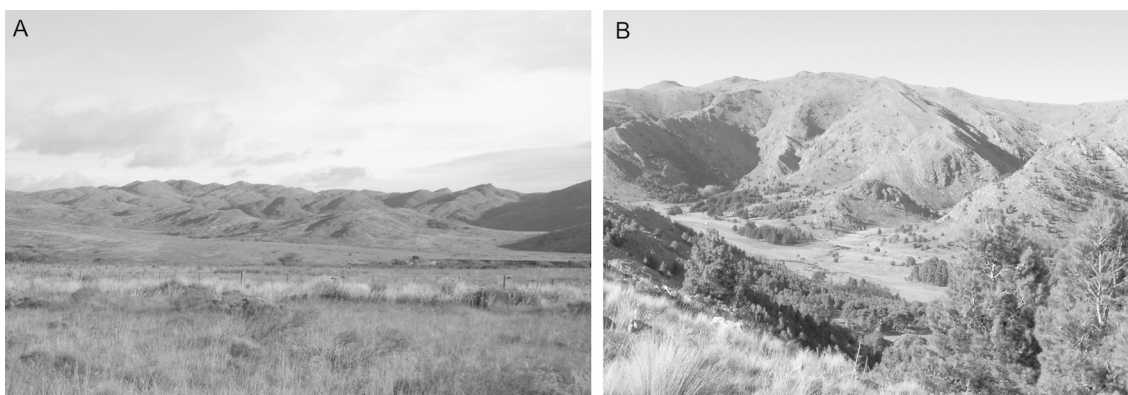


Figura 3. A) Sucesión de cuestas y crestas que caracterizan los afloramientos de la Formación Lolén. B) Hogbacks característicos de la Formación Providencia.

Figure 3. A) Cuestas and crestas in the Lolen Formation. B) Hogbacks in the Providencia Formation.

Asimismo, algunos sectores de las sierras se encuentran disectadas por valles transversales a la estructura plegada que morfológicamente corresponden a cluses. Un ejemplo es el valle correspondiente al arroyo del Oro, en el sector noroeste sobre el cordón de Sierra de la Ventana.

4.1.2 Paleoformas heredadas

Sobre el macizo antiguo se distinguen superficies erosivas paleógenas a diferentes niveles. Las más representativas son las que se encuentran entre los 800 y 950 m, aproximadamente. Presentan una pendiente baja respecto a las circundantes, con valores entre los 2° y los 5°. Demoulin *et al.* (2005) vincula la posición actual de estas superficies con diferentes procesos de levantamiento tectónico de las sierras que se produjeron desde el Jurásico-Cretácico hasta el Holoceno.

Los pedimentos conectan con la parte baja de un escarpe o ladera mediante un cambio de pendiente (*knick* del pedimento). Los pedimentos varían su superficie, los perfiles longitudinales oscilan entre cóncavos y rectos y la pendiente (entre 0,5° - 11°) disminuye hacia zonas bajas (Gutiérrez Elorza, 2002; Goudie, 2004). Los pedimentos cubiertos que

se encuentran en la cuenca alta del río Sauce Grande, son superficies erosivas heredadas. Estas superficies fueron asignadas a una edad Plioceno (Demoulin *et al.*, 2005) y se desarrollan entre 500 - 400 m, aproximadamente (Fig. 4). En la actualidad se encuentran disectadas por los cursos de agua que desde el Pleistoceno temprano se desarrollan en el área, lo cual ha favorecido el arrastre y transporte de gran parte de la cobertura de los mismos.

La unión con el piedemonte se ve favorecida por el cambio de formación estratigráfica e incluso por un cambio de pendiente. Aquí aparecen formas de alteración (tañoni principalmente), mientras que en los sectores distales se observan acumulaciones aluviales que en la actualidad son zonas de cultivo mayoritariamente.

En el sector sureste destacan superficies horizontales residuales que se encuentran sobre elevadas topográficamente y presentan escarpes de erosión. El techo de estos escarpes está compuesto por una capa de tosca (caliche o costra calcárea) que en ocasiones llega a los 3 m de espesor. La amplia distribución de esta capa de tosca y su notable singularidad le otorgan el valor de horizonte guía (González Uriarte, 1984) asignable al Plio-



Figura 4. Diferentes vistas de los pedimentos cubiertos que se desarrollaron durante el Plioceno en el sector noroeste del área de estudio, incididos por la red de drenaje actual.

Figure 4. Different views of pediments that were developed during the Pliocene, incised by modern drainage network.

Pleistoceno (~2.5 m.a.A.P.). Donde la acción del agua desmanteló la capa de tosca se encuentran depresiones que están siendo incididas por la red de drenaje actual.

4.1.3 Microformas

Los tafoni son formas de meteorización desarrolladas en paredes verticales de afloramientos rocosos cristalinos. Estos huecos esféricos o elipsoidales son de escala variable (centimétrica a métrica) y presentan secciones arqueadas, con paredes internas cóncavas y visera superior extraplomada (Cooke *et al.*, 1993; Vidal Romaní y Twidale, 1998; Sancho *et al.*, 2004). El desarrollo de estas formas de alteración es atribuido a varios procesos y/o mecanismos. El comienzo de la

mayoría de los tafoni está favorecido por la presencia de una fractura, diaclasa o plano de estratificación. Allí comienza la meteorización química/mecánica, los fragmentos de granos a medida que se altera el sustrato caen sobre la superficie de discontinuidad hasta que son limpiados por el agua o el viento. La continua exposición de la nueva superficie a la alteración produce el agrandamiento de estas cavidades (Vidal Romaní y Twidale, 1998).

En el área de estudio los tafoni se encuentran en diferentes sectores y sobre las paredes con mayor pendiente de la Formación Lolén (Fig. 5) y también se observaron más reducidos y dispersos en altura (entre los 700 m y los 900 m) en la Formación Providencia. En cualquiera de los casos su origen está asociado a planos de estratificación y diaclasas.

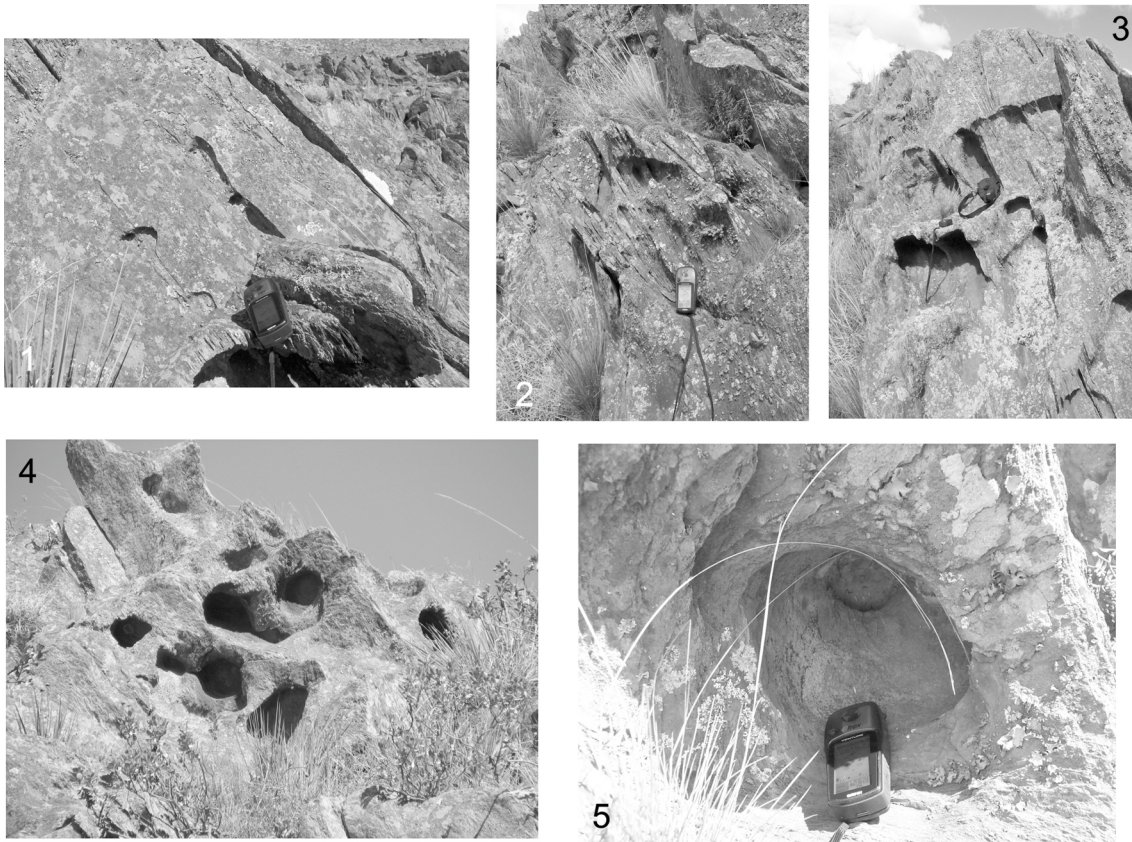


Figura 5. Tafoni en la Formación Lolén, cordón Sierra de la Ventana. 1,2 y 3) Diferentes estadios de alteración siguiendo los plano de debilidad. 4 y 5) Forma alveolar de alteración.

Figure 5. Tafoni in Lolén Formation, Sierra de la Ventana chain. 1, 2, 3) Different stages of tafoni following the weakness plane. 4, 5) Alveolar forms.

4.1.4. Formas fluviales

Los abanicos aluviales se construyen fundamentalmente en relación con precipitaciones de alta intensidad (Gutiérrez Elorza, 2002). Las lluvias intensas en la actualidad son de baja frecuencia por lo cual la superficie del abanico está sometida a procesos secundarios (escorrentía superficial y subterránea, meteorización, etc.) que modifican su morfología. La mayoría de los abanicos o conos aluviales identificados están estabilizados y se encuentran vegetados. Se reducen a sectores donde los cursos de agua de orden 2 ó 3 (Strahler, 1964) desembocan en otro mayor, con el consiguiente cambio de pendiente que

determina el depósito del material sedimentario. En algunos casos están disectados por un nuevo curso de agua formando éstos, a su vez, nuevos abanicos dentro de la llanura inundable de cauces mayores.

Las bajadas aluviales se localizan en sectores cercanos a las sierras. Se distinguen de las acumulaciones aluviales principalmente por su pendiente y posición. En la cuenca de estudio se encuentran sectores donde las bajadas se cultivan con prácticas de control de la escorrentía a partir de sistemas de curvas de nivel vegetadas que frenan la acción del escurrimiento en el lavado del suelo.

En el caso de las acumulaciones aluviales presentes en la cuenca, su origen se debe a que los valles a lo largo de la historia geológica de la cuenca se comportaron como zonas geomorfológicamente deprimidas en los largos períodos secos. En estos períodos de ausencia de actividad fluvial del sistema principal, estas zonas deprimidas fueron rellenas por

acumulaciones fluviales efímeras y eólicas, con desarrollo de suelos (Zabala y Quattrocchio, 2001), lo que constituye la segunda unidad geomorfológica de importancia, por su superficie, dentro de la cuenca y su mayor desarrollo es en el sector sur. El uso del suelo presente en las mismas es agrícola-ganadero.

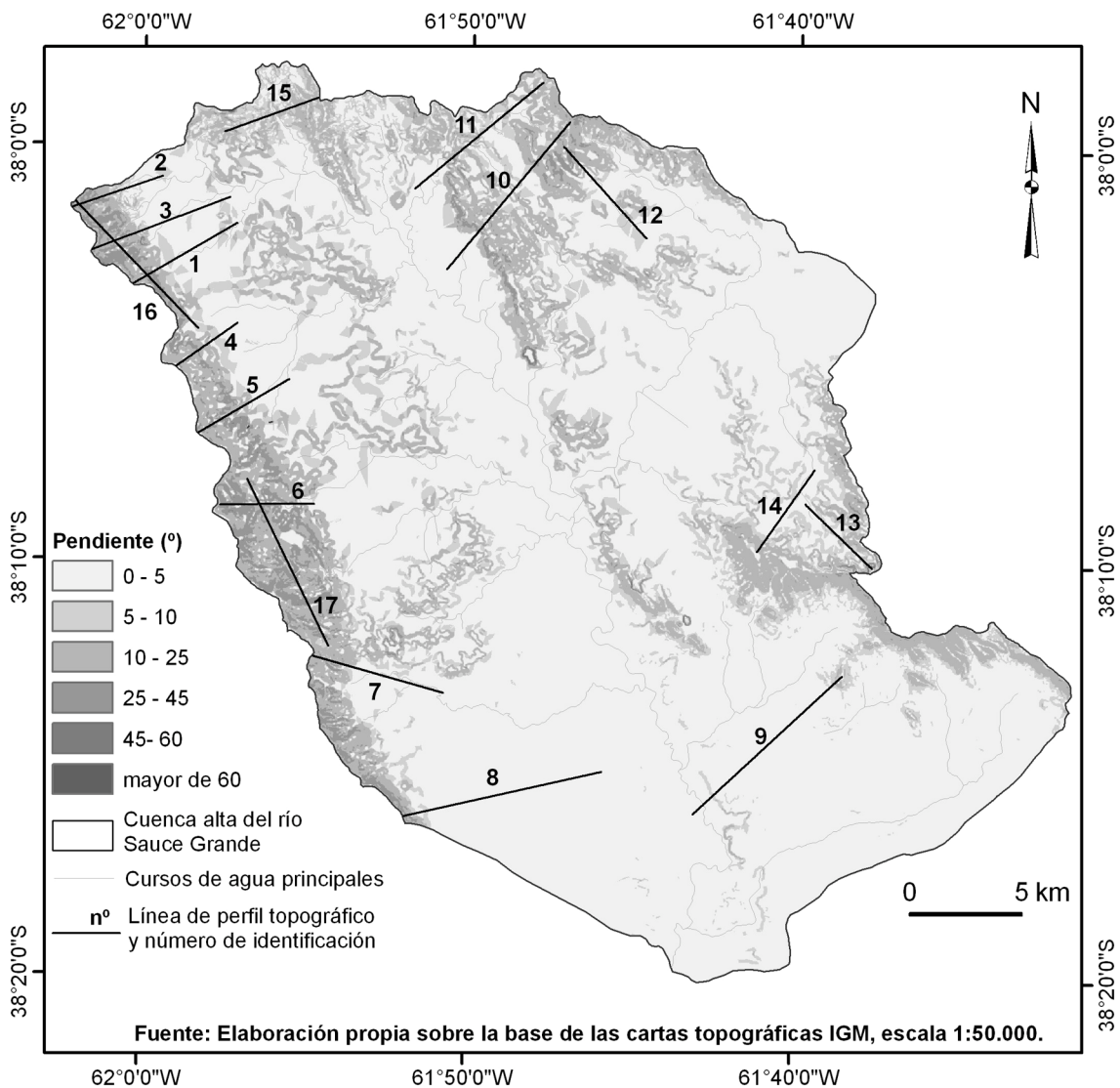


Figura 6. Mapa de pendientes (°) y posición de los 17 perfiles topográficos más representativos del área de estudio donde se identificaron diferentes procesos de vertientes.

Figure 6. Slope (°) map. It shows the position of 17 topographic profiles which best exemplify the different slope processes.

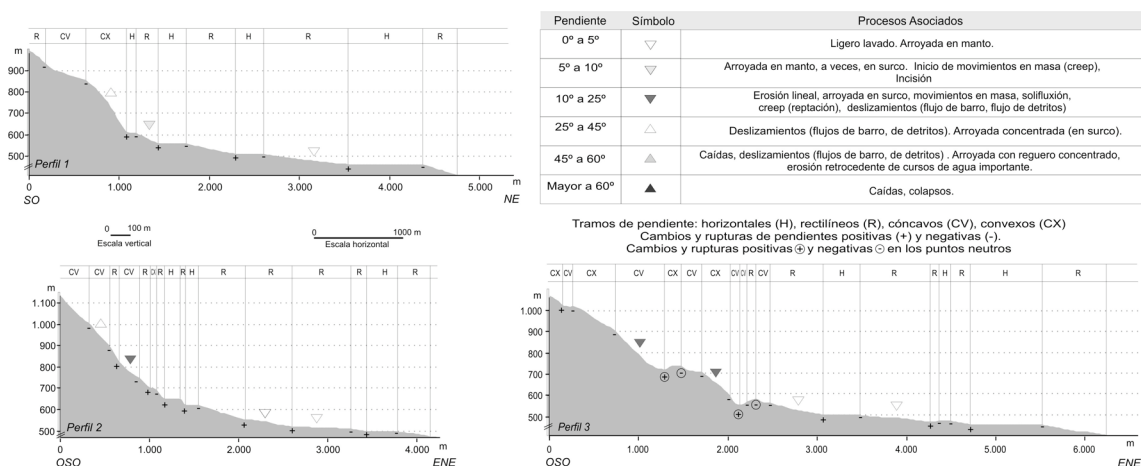


Figura 7. Perfiles topográficos 1, 2 y 3. Sector noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande.
 Figure 7. Topographic profiles 1, 2 and 3. Northwest of the upper basin of Sauce Grande river.

4.1.5. Dinámica de vertientes

Se distinguen en diferentes sectores de la cuenca deslizamientos, flujos, derrubios por gravedad, erosión lineal y arroyada difusa. La generación de los mismos se ve afectada por el tipo de material, el grado de inclinación de la pendiente y la presencia de agua. Las características y procesos de las laderas están relacionadas con factores estructurales, litológicos y climáticos predominantes en el área y este último es el que le imprime un sello distintivo a su modelado. A partir de aquí, se realizaron los primeros avances en la identificación de diferentes movimientos observados en trabajos de campo. Estos se evidencian principalmente por la estructura de los depósitos, las cicatrices de despegue, la deformación de los troncos de los árboles y líneas de alambrado, entre otros. Estas observaciones se complementaron con estudios morfométricos de vertientes.

La forma de cualquier vertiente está determinada por la relación entre el grado de meteorización de la roca aflorante o no y el grado de movilización de este material rocoso a través de la misma o a través de cada segmento que la compone (Leopold *et al.*, 1995). Desde el punto de vista fisiográfico se pueden

distinguir las laderas de umbrías de las de solanas por la insolación que reciben, la presencia de vegetación y la diferencia de temperatura y humedad del aire. Estas condiciones se manifiestan en diferencias en el tipo y cantidad de vegetación. Para el área de estudio, Kristensen y Frangi (1995) explican que ante una máxima insolación en verano y primavera, la capacidad evaporante del aire es elevada y las oscilaciones térmicas diarias y anuales son marcadas. La flora principalmente herbácea se caracteriza por soportar bien el calor y la sequía y su cobertura es casi del 100 %, en tanto que la vegetación arbórea no cubre el 10 %. La ladera de umbría recibe sol de dos a cinco horas al día en primavera y verano mientras que la mayor parte del año permanece sombría; aquí se observa un porcentaje alto (70-80 %) de vegetación arbórea.

Esta diferenciación fisonómica permite inferir tipos de procesos de meteorización física que afectan a la roca en las sierras. La poca insolación que reciben algunas laderas acentúa la intensidad de las heladas, mientras que la exposición al sol y las oscilaciones térmicas (principalmente en zonas altas) acentúan los procesos de termoclastismo. Sumada a éstos se encuentra la vegetación, que actúa como

Tabla 1. Tipos de segmento, cambios y rupturas para cada perfil morfométrico. Cóncavo (CV), Convexo (CX), Recto (R) y Horizontal (H).

Table 1. Segment types, changes and breaks for each morphometric profile. Concave (CV), Convex (CX), Right (R) and Horizontal (H).

N°	N° segmentos			N° de cambios y rupturas			N°	N° segmentos			N° de cambios y rupturas				
Perfil 1	C						Perfil 10	C							
	X	1	R	5	+	4		+	0	X	2	R	16	+	11
Perfil 2	C						Perfil 11	C							
	V	1	H	4	-	6		-	0	V	7	H	9	-	13
Perfil 3	C						Perfil 12	C							
	X	1	R	9	+	7		+	0	X	3	R	8	+	8
Perfil 4	C						Perfil 13	C							
	V	3	H	3	-	6		-	0	V	5	H	8	-	12
Perfil 5	C						Perfil 14	C							
	X	4	R	6	+	4		+	2	X	2	R	4	+	5
Perfil 6	C						Perfil 15	C							
	V	1	H	3	-	10		-	2	V	2	H	5	-	6
Perfil 7	C						Perfil 16	C							
	X	0	R	4	+	3		+	0	X	4	R	5	+	5
Perfil 8	C						Perfil 17	C							
	V	1	H	4	-	5		-	0	V	4	H	4	-	8
Perfil 9	C						Perfil 18	C							
	X	2	R	4	+	3		+	1	X	0	R	2	+	2
Perfil 10	C						Perfil 19	C							
	V	2	H	3	-	5		-	1	V	3	H	2	-	4
Perfil 11	C						Perfil 20	C							
	X	3	R	3	+	6		+	1	X	3	R	4	+	3
Perfil 12	C						Perfil 21	C							
	V	4	H	5	-	5		-	2	V	6	H	4	-	10
Perfil 13	C						Perfil 22	C							
	X	1	R	7	+	3		+	2	X	11	R	15	+	7
Perfil 14	C						Perfil 23	C							
	V	5	H	3	-	8		-	2	V	7	H	4	-	13
Perfil 15	C						Perfil 24	C							
	X	0	R	4	+	3		+	0	X	6	R	15	+	6
Perfil 16	C						Perfil 25	C							
	V	1	H	1	-	2		-	0	V	12	H	3	-	18
Perfil 17	C						Perfil 26	C							
	X	1	R	4	+	2		+	0	X		R			
Perfil 18	C						Perfil 27	C							
	V	0	H	1	-	4		-	0	V		H			

agente de meteorización ya que se desarrolla entre las diaclasas de las rocas lo cual influye en la separación de los bloques. El continuo accionar de la meteorización deja disponible el material rocoso para que luego por gravedad o por flujos de agua generados por precipitación, sean movilizados pen-

diente abajo, hasta incorporarse en los cursos de agua.

4.1.6. Red de drenaje actual

Los límites de la cuenca son claros en el sector más alto del cordón entre los valores de

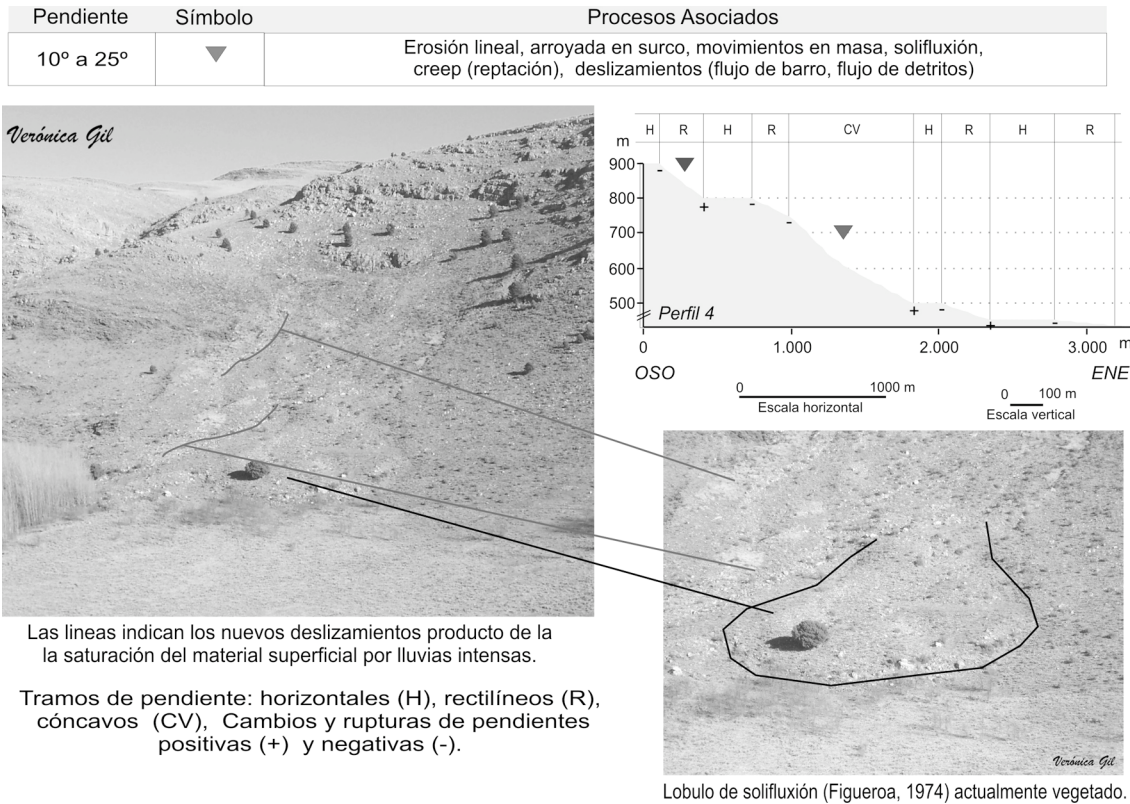


Figura 8. Perfil longitudinal a las líneas de drenaje del arroyo del Oro.
 Figure 8. Longitudinal profile along the drainage lines of Oro stream.

1.000 a 900 m, mientras que en los sectores más bajos (300-200 m), sobre la zona de acumulaciones aluviales en el sur de la cuenca, las divisorias de agua se hacen más difusas. En el límite oeste de la divisoria se encuentran collados que indican una superficie de separación entre dos cuencas de recepción que drenan sus aguas en sentido opuesto. Esta superficie es estrecha y su evolución, por erosión remontante de los cursos de agua, puede conducir en este caso a capturas fluviales entre cuencas. En general se observa una red de drenaje bien integrada, la mayoría son cursos de agua efímeros y sólo los principales (coincidentes con los órdenes 4, 5 y 6) mantienen caudales. Los rápidos y saltos de agua son frecuentes en aquellos sitios donde aflora roca de base.

En los valles menores (órdenes 1 a 2) las lla-

nuras de inundación son generalmente muy reducidas. Su morfología presenta una sección en "V" en los sectores serranos para pasar a secciones de pendientes abruptas y fondo casi plano, donde los valles aumentan de orden llegando en este caso a 6. La profundización del cauce deja al descubierto depósitos aluviales conglomeráticos y arenosos finos de edad Pleistoceno superior - Holoceno medio. Estos depósitos componen la Secuencia Agua Blanca propuesta por Zabala y Quattrocchio (2001). La dinámica de los cursos es torrencial correspondiendo con los períodos de lluvia. Se distinguen en algunas subcuencas de orden 1 y 2 la zona de aporte con una morfología cóncava que actúan como cuenca de recepción. También se reconoce otra zona de transporte, que permite el tránsito de los sedimentos hacia un curso de orden mayor.

4.1.7. Elementos de origen antropogénico

Entre los elementos antropogénicos que generan modificaciones en el paisaje cabe destacar los núcleos poblacionales de Villa Ventana, Sierra de la Ventana y Saldungaray (Fig. 1). También se encuentra el Parque Provincial Ernesto Tornquist, que es un área natural protegida en donde sólo se permiten aquellas actividades compatibles con los objetivos de conservación y protección, la investigación científica y el turismo. Las zonas de acumulaciones aluviales están mayormente destinadas a actividades agrícola-ganaderas.

4.2. Identificación de procesos de vertientes

En cuanto a las características morfométricas el mapa de pendientes (Fig. 6) permite distinguir la predominancia de pendientes menores a $6,6^\circ$, que caracterizan la zona del piedemonte donde se desarrollan los campos de cultivo y los sectores urbanos-recreativos. Las pendientes de más de $12,5^\circ$ se ubican a alturas mayores de 500 m en el sector oeste

de la cuenca y coinciden con el sector de afloramiento de rocas mayormente cuarcíticas. En el sector este afloran las areniscas silicificadas, esquistos y pizarras, posee menor altura y las mayores pendientes ($> 12,5^\circ$) se encuentran entre 400-600 m.

En la Figura 6 se observan segmentos que representan la posición de los 17 perfiles. En ellos se identifican rupturas y cambios de pendiente o inflexiones suaves. Cada tramo fue clasificado según el tipo (recto, horizontal, cóncavo, convexo). Asimismo, se indican en relación con el grado de pendiente los procesos asociados que tienen un origen gravitatorio y fluvial.

Los perfiles 1, 2 y 3 (Fig. 7) son longitudinales a los cursos de agua que componen las subcuencas del arroyo Destierro Primero, Horqueta del Sauce y de los Remansos. Son los que alcanzan mayores alturas, predominando los tramos rectos y horizontales en el sector bajo (600-450 m) y los cóncavos y convexos en los tramos más altos (más de 600) (Tabla 1). Se observan contrastes marcados entre la parte alta de los perfiles, donde la energía del

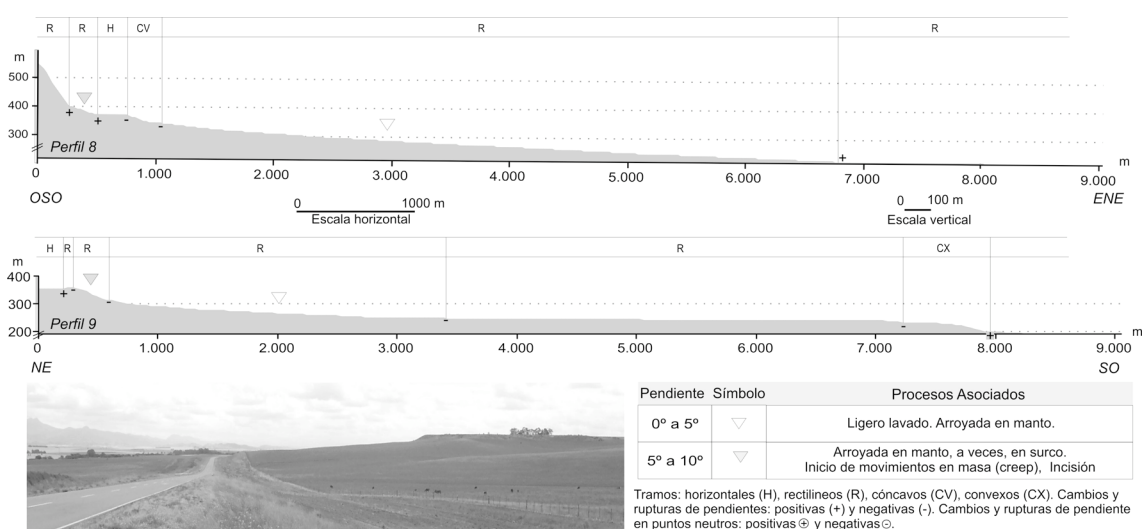
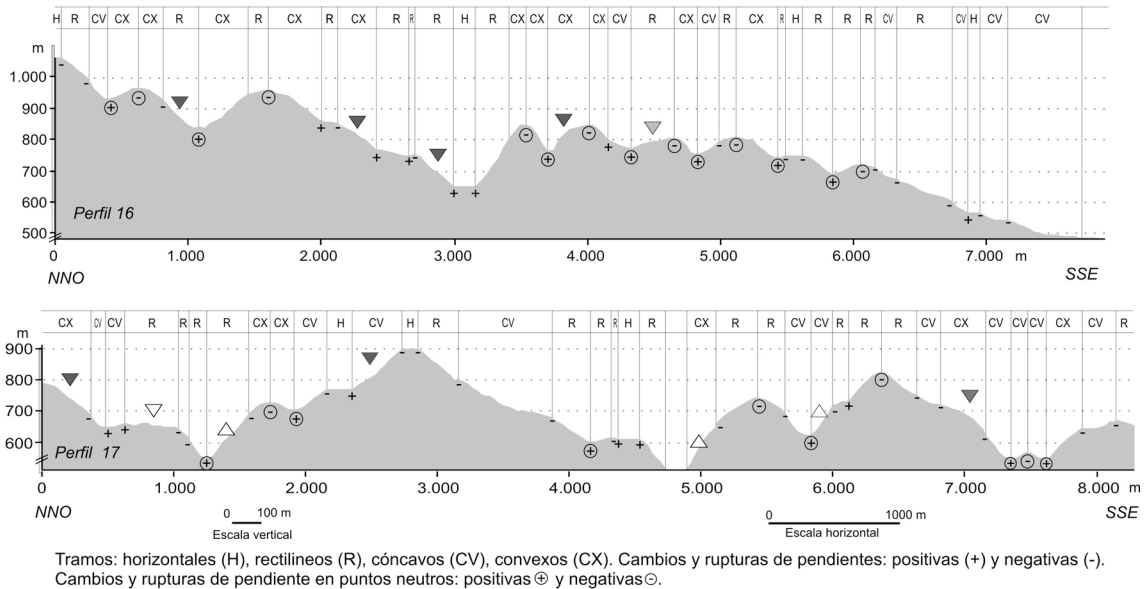


Figura 9. Perfiles 8 y 9. Sector sur de la cuenca alta del río Sauce Grande. A la derecha de la fotografía se observa una superficie plana que corresponde a las superficies horizontales residuales.
 Figura 9. Profiles 8 and 9. South of the upper basin of Sauce Grande river. On the right, the picture shows a horizontal surface belonging to the residual horizontal surfaces.



Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado. Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Incisión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflucción, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	△	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada concentrada (en surco).

Figura 10. Perfiles topográficos (15,16 y 17). Ladera Este del cordón Sierra de la Ventana.
 Figura 10. Topographic profiles (15, 16 and 17). Eastern slope of Sierra de la Ventana range.

relieve es mayor, y la parte más baja, donde la diferencia entre cotas en los segmentos es menor. El perfil 4 (Fig. 8) presenta pendientes horizontales y rectas (entre 10° y 25°) y un segmento cóncavo. La proporción de tierras que superan la cota de 500 m es mayor.

Los perfiles 5, 6 y 7 analizados son también longitudinales a cursos de agua, en este caso a los arroyos del Oro, San Bernardo y Rivera. Presentan entre una y dos rupturas de pendientes negativas y positivas en puntos neutros debido a que el perfil corta tributarios a los cursos de agua anteriormente mencionados (positivas) y las negativas coinciden con divisorias de agua menores correspondientes a los tributarios. En estos perfiles se encuen-

tran mayor cantidad de pendientes cóncavas y convexas (Tabla 1) y siguen predominando los segmentos rectos y horizontales. En los perfiles 5 y 6 a los 600 m existe una coincidencia de segmentos horizontales, que corresponden a niveles de superficies erosivas que también se encuentran en otros sectores de las sierras a diferentes alturas.

Los perfiles 8 y 9 pertenecen al sector sur de la cuenca alta del río Sauce Grande y se realizaron en laderas opuestas, el perfil 8 sobre el cordón Sierra de la Ventana y el 9 sobre el cordón Pillahuincó. Como se observa en la figura 9, en ellos predominan pendientes con valores menores a 10° y se encuentran comprendidos entre los 550 y 250 m. Los perfiles

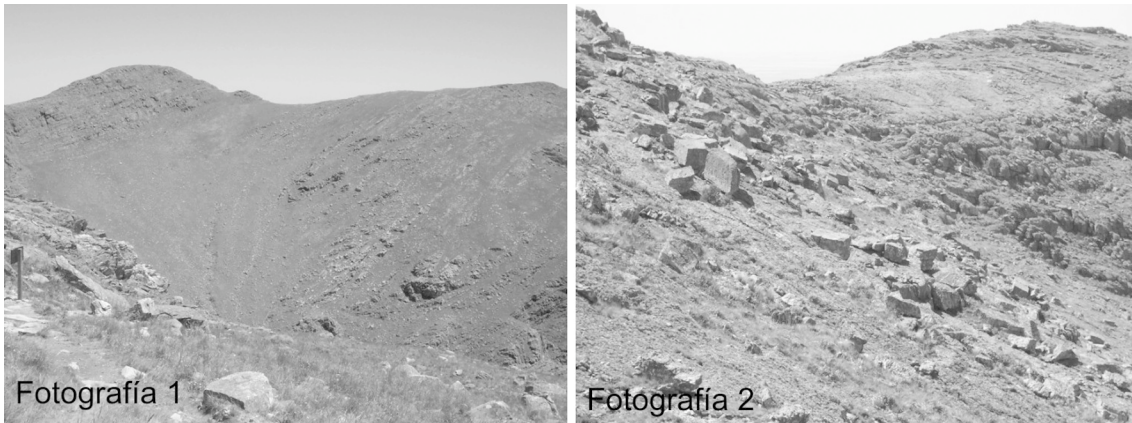


Figura 11. Fotografía 1) Pendiente cóncava con erosión en surco donde se genera la incisión de los cursos de orden 1. Fotografía 2) Pendiente recta en roca aflorante y fragmentos de material suelto.

Figura 11. Picture 1) Concave slope with rill erosion, where order 1 streams are generated. Picture 2) Straight slopes upon outcropping rock, showing rock fragments.

10 y 11 pertenecen también al cordón Pillahuicó en el sector norte de la cuenca alta del río Sauce Grande. Poseen rupturas de pendiente (negativas y positivas) en puntos neutros. El perfil 10 posee 4 rupturas negativas y 5 positivas coincidiendo con cursos de agua tributarios del arroyo El Atravesado.

En los perfiles 12, 13 y 14, que pertenecen a sectores del cordón de Pillahuicó, en la cuenca del arroyo El Negro, las alturas son menores y están comprendidas entre los 400 y 700 m. Las rupturas positivas de pendiente del perfil 13 coinciden con cursos tributarios. En ellos la cantidad según el tipo de segmento son semejantes, sin predominio mayoritario de uno de ellos. Sólo en el perfil 14 no se identifican segmentos convexos.

Por último, los perfiles 15, 16 y 17 representan sectores transversales del cordón Sierra de la Ventana. De ellos, el 15 se localiza en el sector norte cercano a la divisoria de agua y las pendientes oscilan entre 5° y 15°. El perfil 16 posee 11 segmentos convexos, 15 rectos y 13 cambios de pendientes. En el sector sureste se observan entre 500-600 m pendientes que oscilan entre los 8° y los 25°. El perfil 17 se ubica en el centro-este de la

cuenca alta del río Sauce Grande. Posee la mayor cantidad de cambios de pendientes negativos (18) y la mayor cantidad de segmentos cóncavos (12). Aquí se identificaron pendientes en el rango de los 25° a 45° (Fig. 10).

Para cada figura referida a los perfiles topográficos se indican, con la simbología correspondiente, los procesos asociados según el grado de inclinación de la pendiente. En las pendientes rectas con poco ángulo de inclinación (0°- 5°) predomina la arroyada en manto. A medida que las pendientes sobrepasan los 5° comienzan a producirse surcos, los cuales evolucionan luego en regueros que se estabilizan formando los cursos de orden 1. Cuando el ángulo de inclinación aumenta (10°- 25) se generan, ante lluvias torrenciales, flujos de barro y detritos. En algunos sectores, con alturas mayores a los 800 m y roca expuesta, los procesos de meteorización actúan siguiendo las líneas de debilidad o según el diaclasado presente en la roca. Esto dispone material suelto para ser arrastrado ladera abajo (Fig. 11, Fotografía 1).

Las pendientes cóncavas, en los sectores de cabeceras de cursos de agua y en las partes altas de los perfiles, se asocian a pendientes

de lavado concentradoras de agua. En general las pendientes entre 10° y 25° son las que presentan signos de mayor dinámica. En ellas se observa erosión lineal, depósitos de detritos y bloques, producto de flujos concentrados, que se disponen de manera lineal (Fig. 11, Fotografía 2). En el caso del perfil 4 (Fig. 8) destaca la existencia de movimientos en masa antiguos denominados por Figueroa (1968) lóbulos de soliflucción. Actualmente, su superficie está vegetada y es reactivada y modelada por los procesos actuales (desprendimientos, flujos de detritos y barro) que sobreimprimen una morfología distinta a la heredada.

Las pendientes convexas se sitúan en general por encima de los 600 metros. Las que presentan procesos de vertientes (heredados o activos) poseen una inclinación entre 5° y 25° y coinciden con sectores que posee una cubierta de regolito. El proceso dominante es la reptación. Cuando la inclinación aumenta se observaron en algunos sectores la caída libre de bloques rocosos y profundización de la erosión remontante en los cursos de primer orden. En ocasiones, la convexidad de los segmentos coincide con los flancos de pliegues erosionados que quedan expuestos, sin cobertura, a la acción de los agentes erosivos.

5. Consideraciones finales

En la cuenca alta del río Sauce Grande la combinación de los factores geomorfológicos e hidrometeorológicos es la principal causa generadora de la dinámica de vertientes. Las geoformas más relevantes del área de estudio son las relacionadas con la estructura del macizo antiguo plegado, las paleoformas heredadas y las formas fluviales. Se sobreimpone a éstas la red de drenaje actual.

Se realizó una primera identificación de procesos y se los relacionó en este trabajo con parámetros morfométricos de las vertientes. De esta manera se pudo establecer en general que en las pendientes cóncavas con incli-

nación entre 5° y 25°, los procesos dominantes son deslizamientos, flujos de barro y de detritos, principalmente. En los sectores donde predominan las pendientes rectas y convexas con grados de inclinación de 0° a 20° se evidencian procesos de reptación sobre el macizo antiguo y arroyada en manto e incisión fluvial sobre el piedemonte. La generación de la mayoría de los depósitos de vertiente corresponderían al Holoceno temprano teniendo en cuenta su correlación relativa con los depósitos de cabecera de esta cuenca y la del río Sauce Chico estudiados por Rabassa (1989); Zavala y Quattrocchio (2001); Bidart, (1995, 1996); Deschamps (2003); Gil y Campo de Ferreras, (2006).

La elaboración del mapa geomorfológico a escala de cuenca es de suma importancia ya que proporciona información básica que hasta la actualidad no se disponía para el área de estudio. Asimismo, la identificación de procesos de vertiente a esta escala genera las bases para futuras zonificaciones donde se puedan establecer grados de inestabilidad de vertientes. Para ello es necesario considerar aspectos que superaron los objetivos de este trabajo, entre ellos la cobertura vegetal o la cobertura de suelo o regolito.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación "La Geografía Física del Sur de la provincia de Buenos Aires. Relaciones entre el hombre y el medio natural", 24/G054, financiado por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Sur, Argentina y el proyecto "Dinámica hidrogeomorfológica aplicada al estudio del peligro hidrometeorológico en cuencas serranas", PIP. 114-20100-00226, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Bibliografía

Andreis, R.; Iñiguez, A.; Lluch, J.; Rodríguez, S. (1989). Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires En: *Cuencas Sedimentarias Argentinas* (G. Chebli; Spalletti, eds.). Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Na-

- cional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, 265-298.
- Barbieri, M.; Marchetti, M. (2003). Morphometric analysis of the drainage network in the Modena and Reggio Emilia Apennines (Northern Italy). *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 26, 87-99.
- Baker, V.R.; Craig Kochel, R.; Patton, P.C. (1988). *Flood Geomorphology*. USA. Wiley - Interscience publication. 503 pp.
- Bidart, S. M. (1995). Características sedimentológicas de depósitos cuaternarios en el curso medio del río Sauce Chico, provincia de Buenos Aires. Parte I: rasgos texturales y estratigráficos. *Actas de las IV Jornadas Geológicas y Geofísicas bonaerenses*, Bahía Blanca 315-328.
- Bidart, S.M. (1996). Sedimentological study of aeolian soil parent material in the Río Sauce Grande basin, Buenos Aires province, Argentina. *Catena*, 27, 191–207.
- Castro, C.; Brignardello, L. (2005). Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos. Orientaciones para la protección, usos y aprovechamiento sustentables del sector de Los Choros, Comuna de la Higuera, IV Región. *Revista de Geografía, Norte Grande*, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, 033, 33-57.
- Cooke, R.; Warren, A.; Goudie, A. (1993). *Desert geomorphology*. UCL Press, 526 pp.
- Demoulin, A.; Zarate, M.; Rabassa, J. (2005). Long-term landscape development: a perspective from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 19, 193-204.
- Deschamps, C.M. (2003). *Estratigrafía y paleoambientes del Cenozoico en el Sur de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. 294 pp.
- Esper Angillieri, M.Y. (2007). El aluvión del 13 de febrero de 1944 en la quebrada del Carrizal, departamento Iglesia, provincial de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62 (2), 283-288.
- Fernández García, J. (2006). *Geomorfología estructural*. Ed. Ariel, Madrid, 644 pp.
- Figueroa, L. (1968). Informe preliminar sobre algunas acumulaciones de bloques en el área del Abra de la Ventana (Provincia de Buenos Aires). *Terceras Jornadas Geológicas Argentinas*. Actas II Buenos Aires, pp. 43-66.
- Gil, V.; Campo de Ferreras, A. M. (2006). Procesos de Vertientes en el área del Abra de la Ventana. Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires. *VI Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Unidad Académica Río Gallegos. Río Gallegos, 59-65.
- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas*. Tesis Doctoral Inédita. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional de Sur, Bahía Blanca, 262 pp.
- González Uriarte, M. (1984). Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. *Actas 9º Congreso Argentino de Geología*, Bariloche, Argentina, pp. 556–576.
- Goudie, A.S. (2004). *Encyclopedia of geomorphology*. Vol. 2. Routledge, 1156 pp.
- Gregory, K.J.; Walling, D.E. (1973). *Drainage basin. form and process: a geomorphological approach*. London, Edward Arnold. 458 pp.
- Gutiérrez Elorza, M. (2002). *Geomorfología climática*. Ed. Omega. Madrid, 642 pp.
- King, L.C. (1967). *The morphology of the Earth. A study and synthesis of world scenery*. 2 ed. Oliver & Boyd, Edinburgh, 726 pp.
- Knighton, D. (1984). *Fluvial forms and processes*. Edward Arnold Publishers, London, 216 pp.
- Kristensen, M.; Frangi, J. (1995). La Sierra de la Ventana. Una isla de biodiversidad. *Revista de Divulgación Científica y tecnológica*, 30, Ciencia Hoy, 25–34.
- Leopold, L.B.; Gordon Wolman, M.; Miller, J.P. (1995). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publication, 522 pp.
- Morisawa, M.E. (1985). *Rivers, form and processes*. Longman, London, 222 pp.
- Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda. Madrid, 414 pp.
- Peña Monné, J. L. (1997). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Geoforma Ed., Logroño, 226 pp.
- Rabassa, J. (1989). Geología de los depósitos del Pleistoceno Superior y Holoceno en las cabeceras del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. *Actas 1º Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Buenos Aires, pp. 765-790.
- Sánchez del Corral Jiménez, A. (2007). Geomorfología del dominio fluvial del Duero en el sector de Toro (Zamora). Evolución reciente de la llanura de inundación. *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 21 (1-2), 103-122.
- Sancho, C.; Peña, J.L.; Belmnote, A.; Souza, V.; Fort, R.; Longares, L.A.; Sopena, M.C. (2004). Modelado en areniscas de los torrollones de gabarda (Monegros, Huesca). Pp. 329-343. En: *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (J.L. Peña Monné; L.A. Longares Alarden; M. Sánchez Fabre, eds). Universidad de Zaragoza, 343 pp.
- Schumm, S.A.; Erskine, W. D.; Tilleard, J.W. (1996). Morphology, hydrology, and evolution of the anastomosing Owens and King Rivers, Victoria, Australia. *Geological Society of America Bulletin*, 108 (10), 1212-1224.
- Strahler, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: *Handbook of applied hidrology* (V.T. Chow, ed.). McGraw Hill, New York, 39-76.
- Tomezzoli, R.N.; Cristalini, E. O. (2004). Secciones estructurales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: repetición de las secuencias es-

- tratigráficas a partir de fallas inversas. *RAGA*, 59 (2), 330-340.
- Troeh, F.R. (1965). Landform equations fitted to contour maps. *American Journal of Science*, 263, 616-627.
- Vidal Romani, J.R.; Twidale, C.R. (1998). *Formas y paisajes graníticos*. Universidade da Coruña. Servicio de Publicaciones, 407 pp.
- Von Gosen, W.; Buggisch, W.; Krumm, S. (1991). Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires province, Argentina). *Tectonophysics*, 185, 335-356.
- Zabala, C.; Quattrocchio, M. (2001). Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1), 25-37.