

INTERACCIONES ENTRE PROCESOS EROSIVOS Y ACTIVIDAD ANTROPO-FAUNÍSTICA EN LAS SIERRAS DE BRAVARD Y CURAMALAL Y PIEDEMONTES ALEDAÑOS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Susena Juan⁽¹⁾ y Gentile Rodolfo⁽²⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Mineralogía, FCNyM; IGS (Universidad Nacional de La Plata). CONICET. CITIMAC (Universidad de Cantabria).

⁽²⁾ Cátedra de Geomorfología, FCNyM; IGS (Universidad Nacional de La Plata). FCS-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
juanmsusena@gmail.com; gentilerodolfoosvaldo@gmail.com

RESUMEN

En las sierras de Bravard y Curamalal y sus piedemontes (suroeste bonaerense) existe actividad faunística silvestre y agrícola-ganadera. Distintas relaciones entre procesos erosivos y actividad antro-po-faunística afectan al territorio. El objetivo es diagnosticar dichas relaciones, particularizando en movimientos en masa y erosión hídrica, y establecer recomendaciones de uso. La caracterización planimétrica-geomorfológica se realizó mediante procesamiento en un SIG de un DEM ALOS PALSAR y fotointerpretación de imágenes de Digital Globe. Se analizó cualitativamente el estado hidrológico del suelo con imágenes Sentinel-2. Las relaciones antedichas se reconocieron en el campo entre los años 2016 y 2018, tomando fotografías y levantando perfiles topográficos con brújula y cinta métrica, información georreferenciada con GPS. Adicionalmente, se consultó a pobladores acerca de la distribución geográfica y temporal de la actividad agropecuaria. Las geoformas identificadas vinculadas a actividad faunística pueden presentar morfologías exclusivas o no, requiriéndose observar rasgos complementarios aledaños y una sólida base teórica sobre procesos erosivos y conocimiento de la actividad faunística local. Los rasgos antropogénicos, vinculados a transporte rural y agrotecnia, tienen una morfología lineal característica. La compactación del suelo es un proceso común y dificulta el crecimiento vegetal en laderas de detritos y piedemontes. Los procesos antro-po-faunísticos vinculados a erosión hídrica tienen más representación en el piedemonte en torno a abrevaderos, cursos de agua, caminos y arados. Se recomienda sectorizar la carga animal por componentes geomorfológicos, así como alternar vías de transporte para dar tiempo de reposición a la vegetación.

PALABRAS CLAVE: Movimientos en masa; erosión hídrica; zoogeomorfología.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El estudio de la actividad antrópica y faunística en el ámbito de la geomorfología

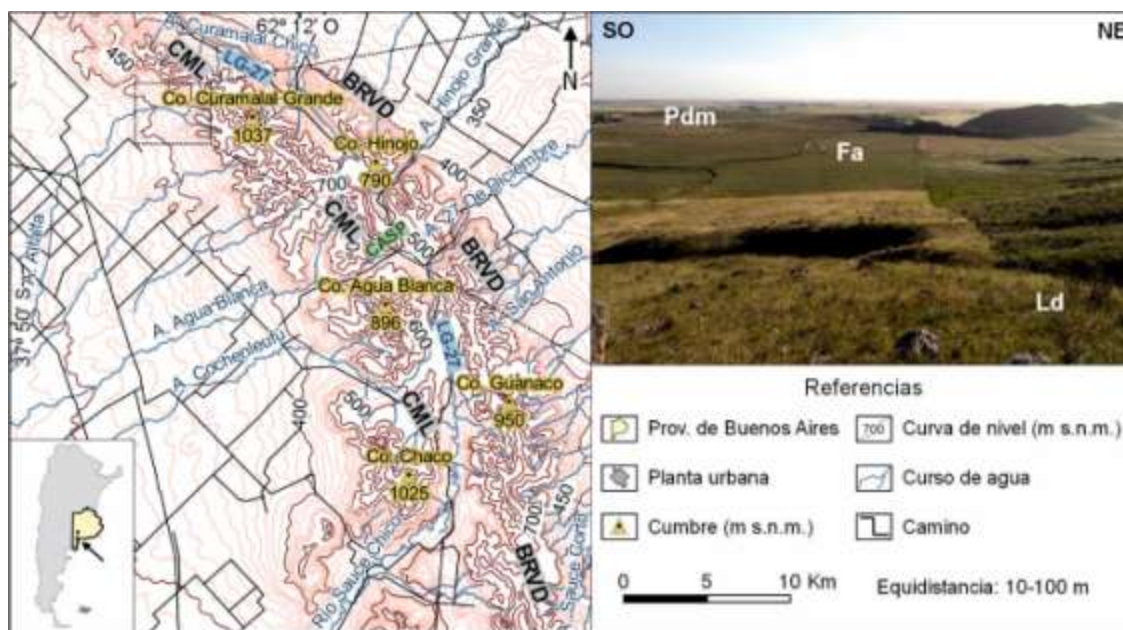
Una línea de la geomorfología moderna estudia la acción antrópica. Aunque se discute el aporte humano al cambio climático, es indudable su rol como agente geomorfológico y su influencia en el accionar de procesos geomorfológicos naturales. La ocupación y actividades humanas pueden aumentar la amenaza de procesos erosivos en contextos de montaña, representando una posible manifestación del “cambio geomorfológico global” (Remondo *et al.*, 2005). Es necesario, considerando al hombre como agente geomorfológico, entender a los paisajes más o menos antropizados, como nuevos escenarios geomorfológicos. La zoogeomorfología trata la acción geomorfológica de la fauna. Los animales zoogeomorfológicamente activos (Butler, 2012), modifican el paisaje creando y destruyendo rasgos, y promoviendo o inhibiendo a otros agentes geomorfológicos. Según Butler (2006), la actividad humana influyó la dinámica poblacional y comportamiento de castores, osos, bisontes, perros de pradera, conejos, burros, cerdos y caballos, resultando en grandes volúmenes de materiales desplazados.

1.2 Área de estudio

El área estudiada se ubica entre los 37°40' y 38°00' de latitud S, y los 62°00' y 62°24' de longitud O. Allí se emplazan las Sierras de Bravard y de Curamalal, paralelas entre sí, separadas por un valle intermontano o Valle de Las Grutas/27 de Diciembre (Figura 1). La cota máxima (Cerro Curamalal Grande, 1033 m s.n.m.) se eleva unos 700 m sobre el piedemonte circundante. En general, el frente serrano es de relieve abrupto, con cuerpos rocosos de cuarcitas, pizarras, limolitas y conglomerados subordinados, que yacen sobre un basamento ígneo-metamórfico aflorante en cerros aislados. En los cuerpos serranos se desarrollan valles encajonados de laderas rocosas, de detritos o una combinación de ambas, preponderantes en el sector central de las serranías, donde a su vez existen abras transversales a los cordones. Son ubicuos los frentes escarpados rocosos subverticales, verticales y extraplomados, con laderas de detritos al pie.

Figura 1. Ubicación del área.

CML: Sierras de Curamalal. BRVD: Sierras de Bravard. LG-27: Valle de las Grutas-27 de Diciembre. CASP: Estancia Cerro Áspero. Ld: Ladera de detritos. Pdm: Piedemonte. Fa: Faja aluvial.



Fuente. Juan M. Susena, 2018

Los materiales que integran las laderas de detritos son de génesis mixta: un esqueleto de detritos rocosos producto de la destrucción de los afloramientos y en menor medida tosca subsuperficial expuesta principalmente por movimientos en masa, y una matriz eólica pleistocena-holocena. Brechas continentales silicificadas constituyen remanentes pedemontanos elevados hasta unos 30 m sobre el piedemonte proximal circundante. Una discordancia erosiva regional afecta a calcretes psefíticos y limolíticos miopliocenos aflorantes principalmente en el piedemonte, superficie a partir de la cual se desarrolla gran parte de las formas del paisaje actual (De Francesco, 1992). Alternancias de climas húmedos y secos durante el Neógeno-Cuaternario determinaron el desarrollo de una red de drenaje subparalela en el piedemonte, restringida por los niveles pedemontanos previos. Dicha red está en parte obliterada por depósitos eólicos; es típica la transición de cauces braided en el sector proximal a sinuosos y encajonados en el medio-distal, coincidiendo dichos cambios con un aumento en el espesor del material eólico. Los suelos principales, hapludoles y argiudoles (Cappaninni et al., 1974), se originaron a partir de los sedimentos eólicos y materiales loessoides, tanto en valles como en divisorias. En laderas de detritos, existen hapludoles líticos bien drenados

(Cappaninni *et al.*, 1974). En las fajas aluviales dominan hapludoles cumúlicos. A partir del siglo XVII, la introducción de ganado europeo produjo cambios en la región Pampeana, hasta la conformación definitiva de un núcleo ganadero a mediados del siglo XIX, cambios ya evidentes en el paisaje al menos desde principios del siglo XIX (Panizza, 2015 y bibliografía allí citada). Desde entonces, no cesó su presencia en la región, influenciando en la diversidad florística y su abundancia relativa (Loydi y Distel, 2010). Hasta el momento, los suelos actuales desarrollados a partir de la cubierta eólica y depósitos que la contienen como matriz, son objeto de agrotecnia.

2. OBJETIVOS

El objetivo general es conocer cómo se relacionan en el área los componentes del paisaje y procesos vinculados a actividades humanas, con los rasgos del paisaje y procesos naturales, enfatizando en movimientos en masa y erosión hídrica. Los objetivos específicos tienen una implicancia geomorfológica básica y otra aplicada. La primera se refiere al funcionamiento del sistema geomorfológico, estableciendo la direccionalidad de las relaciones estudiadas y su tipo de retroalimentación, si la hubiere. El aspecto aplicado es de índole metodológica. Se busca, por un lado, identificar formas del paisaje características que permitan diferenciar la dinámica de los procesos en estado natural de la dinámica en entornos intervenidos antrópicamente, y por otro lado, caracterizar distintas etapas evolutivas (principalmente incipientes) de procesos erosivos vinculados a actividades humanas, que pudieran ser útiles para diagnosticar problemas de degradación del recurso suelo y planificar medidas de mitigación.

3. METODOLOGÍA

Se trabajó en gabinete y campo. En el gabinete se caracterizó la planimetría y geomorfología e identificaron elementos vinculados a actividades humanas. Se utilizaron composiciones de imágenes satelitales de Digital Globe (disponibles en Google Earth y Bing) y ESRI y el MDE ALOS PALSAR. Se generaron mapas de pendientes y perfiles longitudinales de caminos, laderas y cursos de agua, y se representó la red hidrográfica a partir del procesamiento del MDE y posterior ajuste por fotointerpretación. Estas actividades se realizaron con QGIS 3.4. Con la plataforma online Sentinel Playground, se analizaron cualitativamente variaciones espacio-temporales del contenido de humedad del suelo, mediante observación de la

composición color Índice de Humedad ((B8A-B11) / (B8A+B11)). Se caracterizó el clima con la clasificación de Thornthwaite (1948), que utiliza el índice global y variación estacional de la humedad (relacionados al balance hídrico), el índice de eficiencia térmica (evapotranspiración potencial) y la concentración estival de la eficiencia térmica. Para calcular la evapotranspiración potencial se utilizaron los promedios de horas de sol/día para cada mes del año, tabuladas según la latitud. Se usaron datos de precipitación y temperatura media anual de las estaciones Coronel Suárez (37° 26' S; 61° 53' O; período 1936-2011) y Pigüé (37° 36' S; 62° 23' O; período 1935-2016), del Servicio Meteorológico Nacional. Para el análisis de precipitaciones se agregó la estación Estancia Cerro Áspero (Figura 2), cuyos datos, provistos por los dueños del establecimiento, se validaron con un análisis de doble masa. La etapa principal del trabajo se realizó en el campo, entre el 2016 y el 2018. Se analizaron impactos geomorfológicos en sectores con distintos grados de intervención antrópica: se inventariaron rasgos del paisaje vinculados a actividad antropo y zoogeomorfológica, se levantaron perfiles topográficos con brújula y cinta métrica en laderas con diferente expresión zoogeomorfológica y se compararon distintos procesos erosivos afectando componentes antrópicos desde una perspectiva evolutiva. Se consultó a pobladores sobre procesos erosivos presenciados o conocidos, historia agropecuaria, eventos climáticos extremos y actividad de fauna silvestre.

4. RESULTADOS

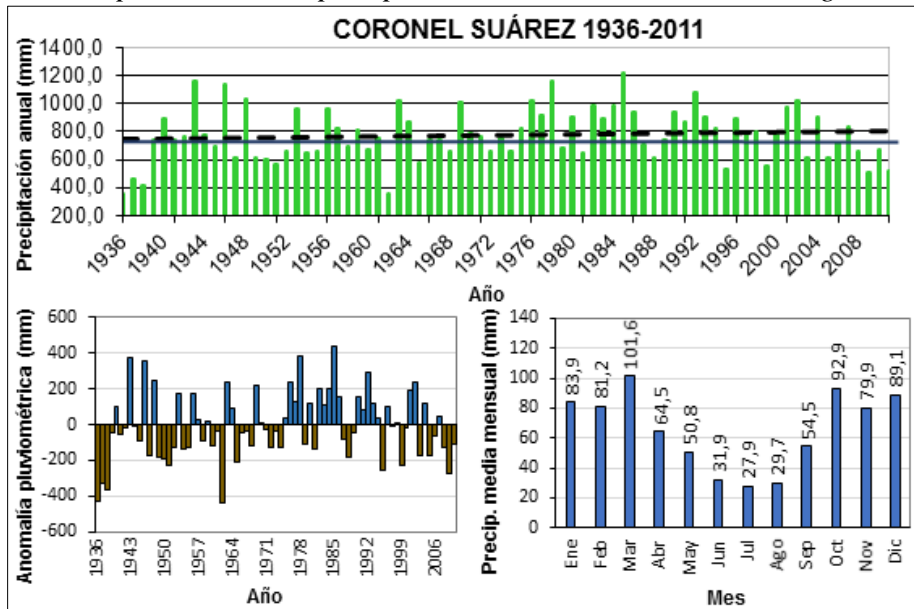
4.1 Consideraciones climáticas

Puesto que el clima y el estado de la superficie en diferentes épocas del año definen la intensidad de los procesos erosivos, un análisis inicial de ello permitirá comprender mejor las relaciones entre dichos procesos y las actividades humanas. El clima del área en el período 1981-2010 es del tipo B1 B'1 s/w: Húmedo, Mesotérmico, con moderada deficiencia en verano/moderada deficiencia en invierno, con una precipitación acumulada anual promedio en Coronel Suárez y Pigüé de 807 mm. Los montos de precipitación anual tienden a superar la media cerca de la segunda mitad de la década de 1980 en Coronel Suárez (período 1936-2011), y entre la primera mitad de la década de 1980 y la primera de la del 2000 en Pigüé (período 1935-2016), como muestran las Figuras 2 y 3. Los meses más lluviosos son marzo y octubre, y el más seco, julio. En la Estancia Cerro Áspero (período 1983-2013), ubicada en el valle intermontano, la

precipitación acumulada anual promedio es de 964 mm, superando por más de 100 mm a las otras dos estaciones ubicadas fuera de las sierras; los meses más lluviosos son enero y marzo, y el más seco, junio (Figura 4). En las tres estaciones, entre las décadas de 1980 y 2010 la tendencia de las precipitaciones anuales es decreciente y enero se constituye como mes más lluvioso.

Figura 2. Precipitaciones en la Estación Coronel Suárez.

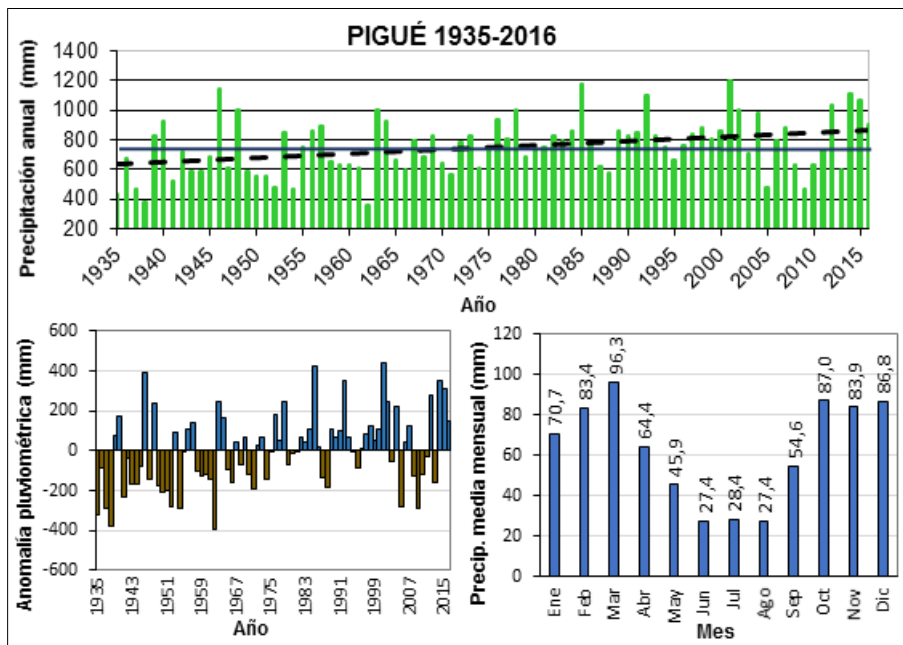
Línea azul: promedio de la precipitación anual. Línea de trazos negra: tendencia.



Elaboración propia

Figura 3. Precipitaciones en la Estación Pigüé.

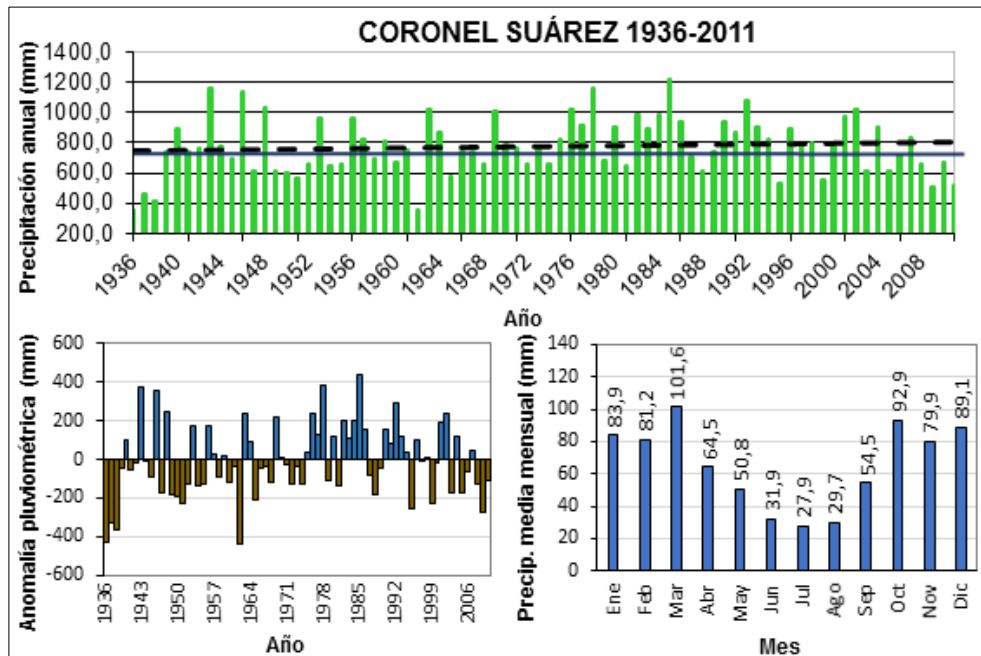
Línea azul: promedio de la precipitación anual. Línea de trazos negra: tendencia



Elaboración propia

Figura 4. Precipitaciones en la Estación Estancia Cerro Áspero.

Línea azul: promedio de la precipitación anual. Línea de trazos negra: tendencia.



Elaboración propia.

4.2. Interacciones en laderas de detritos

La pedregosidad del sector serrano limita el desarrollo agrícola; no obstante, en la transición entre laderas de detritos y el piedemonte proximal, así como en fajas aluviales intraserranas, el terreno fue adaptado mediante la remoción de los bloques rocosos de los primeros 15 cm del suelo. Así, los materiales superficiales fueron transformados de brechas matriz sostén a limos arenosos, cambiando su comportamiento geomecánico frente a la erosión hídrica. Se identificaron *rills* o canalículos en sembradíos, parcialmente interconectados, de hasta 150 m de largo, 1-2 m de ancho y profundidades submétricas.

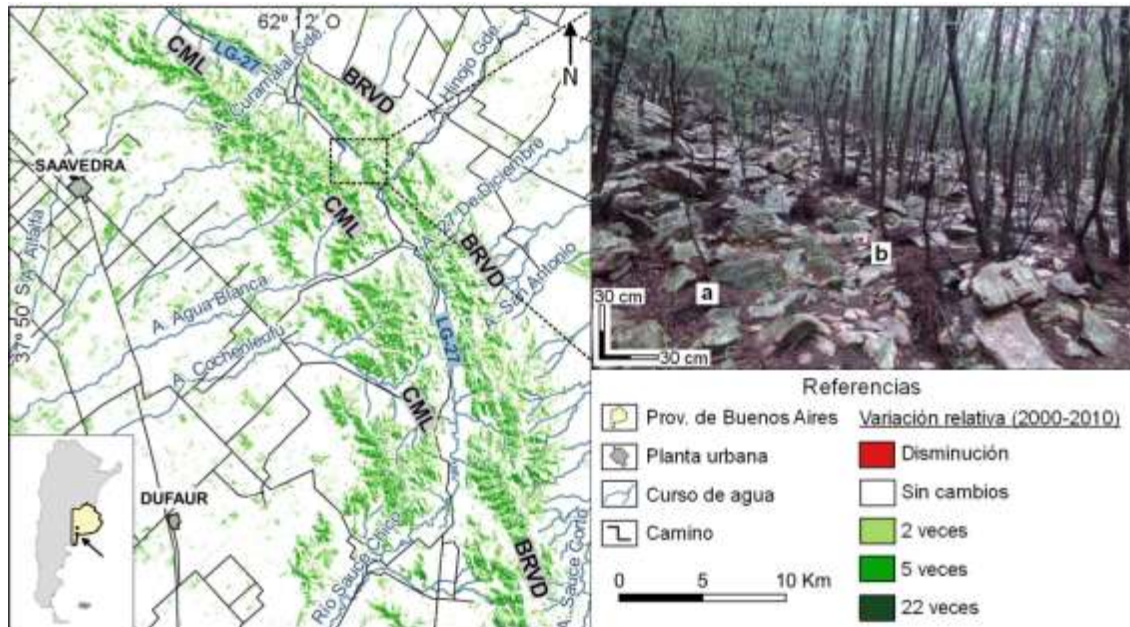
El crecimiento de bosques en laderas tiene su origen en pequeñas forestaciones para resguardo del ganado. En algunos sectores, la superficie cubierta aumentó más de 5 veces en las últimas décadas, como se muestra en la Figura 5, generada empleando álgebra de mapas a dos imágenes satelitales de la USGS/NASA. Los suelos allí presentes se transformaron paulatinamente en suelos orgánicos cumúlicos.

El impedimento del crecimiento de pastizales en estos suelos de génesis rápida favoreció el desarrollo de escurrimiento parcialmente encauzado, y una mayor acción del escurrimiento difuso. Si bien la cobertura arbórea reduciría en parte el impacto del agua de lluvia, la presencia de manantiales surgentes del contacto entre frentes

escarpados rocosos y laderas, y el incremento de la rugosidad superficial (presencia de raíces y árboles caídos) favoreciendo el flujo turbulento, pueden contribuir al desarrollo de los procesos erosivos mencionados

Figura 5. Cambios en la superficie cubierta por arboleda de porte mayor a 5 m entre los años 2000 y 2010.

CML: Sierras de Curamalal. BRVD: Sierras de Bravard. LG-27: Valle de las Grutas-27 de Diciembre. a: horizontes de suelo orgánicos. b: sector con mayor concentración de clastos con superficies recientemente expuestas, carentes de colonias de líquenes.



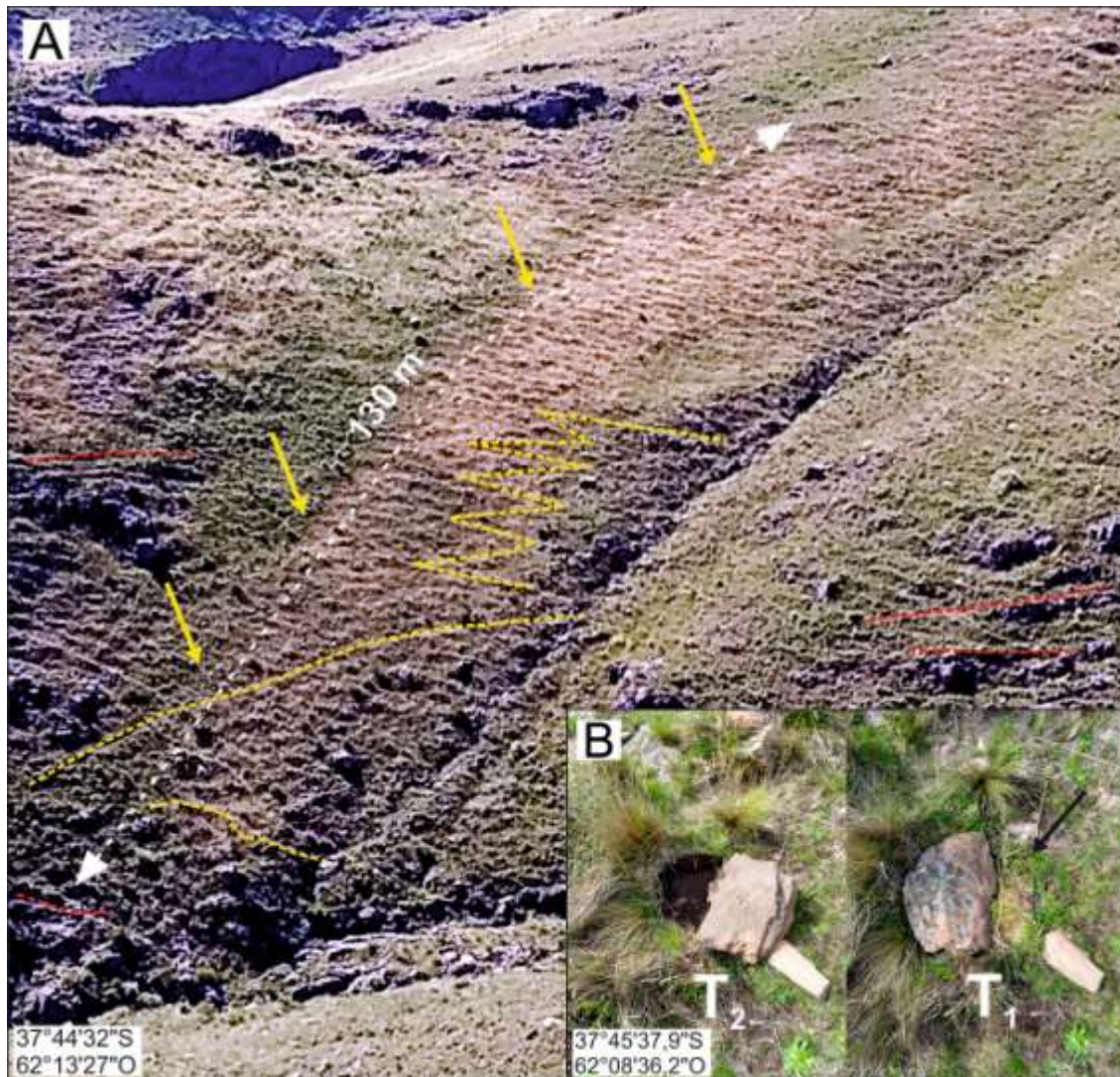
Elaboración propia; foto: Juan M. Susena.

En tramos medios de laderas de detritos se encontraron terracettes dispuestos en zig-zag (Figura 6.A). Estos rasgos normalmente tendrían un patrón subparalelo transversal a la pendiente local, por lo cual la disposición en zig-zag se vincularía al pisoteo de los animales. Se identificó en el área y otros sectores de las Sierras Australes, una mejor expresión morfológica de estos terracettes en zonas con mayor carga ganadera. En pendientes cercanas a 20-25°, los terracettes son preferentemente subparalelos, y la acción del ganado se manifiesta en un conjunto de rasgos vinculados al ordenamiento de los detritos rocosos, pudiendo mencionarse pavimentos y cornisas de detritos (Susena et al., 2019); estas geoformas menores raramente se encuentran en laderas con más de 30° de pendiente, pudiendo deberse a que el ganado bovino y equino frecuenta áreas de relieve más suave (Figura 7). El desarrollo de estas características dependería en gran parte de la pendiente, que condiciona la acción faunística: a mayor pendiente, mayor participación de morfologías en zig-zag aunque menor tamaño de las superficies de los

terraces, y menor expresión de pavimentos y cornisas de detritos. El proceso de compactación del suelo por actividad faunística, expresado en el desarrollo de terraces y pavimentos de detritos, dificultaría progresivamente el crecimiento vegetal, limitándolo a las paredes de los terraces, y reduciría la infiltración, aumentando el escurrimiento superficial y el lavaje de los materiales que no hayan sido compactados. Al respecto, se encontró una estrecha asociación entre la actividad ganadera intensiva y la falta de materiales finos en el suelo, representando un caso típico de erosión.

Figura 6. Acción zoogeomorfológica en laderas de detritos.

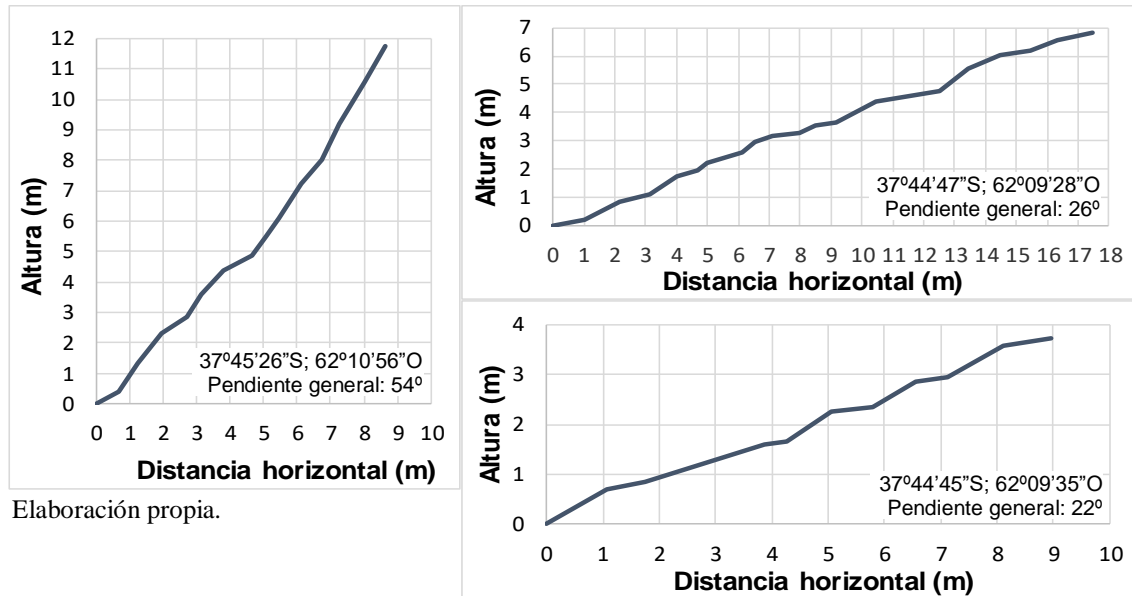
A. Terraces en zig-zag (flechas amarillas). Las líneas de trazos amarillos refuerzan la visualización de los rasgos. Líneas de trazos rojas: discontinuidades en los cuerpos rocosos. B. Bloque volteado. T2: posición en que se encontró el bloque. T1: posición inferida previa al volteo; la vegetación seca (flecha) indica que el volteo ocurrió algún tiempo antes de la toma de la foto. El eje mayor del bloque mide 20 cm.



Elaboración propia; foto: Juan M. Susena.

Figura 7. Perfiles de laderas.

Nótese la mayor expresión de terracettes a menores pendientes.



El volteo de detritos en laderas se identificó por la presencia de colonias líquénicas en las caras de los detritos apoyadas sobre la superficie (Figura 6.B). Se encontraron zonas con concentración de detritos volteados menores a 15 cm de eje mayor (excepcionalmente pueden alcanzar los 30 cm). Este proceso se asocia en gran medida a la acción de jabalíes, por su desplazamiento en pjaras pateando bloques, y la acción de hozar como hábito alimenticio. Muchos bloques volteados se encontraron en sectores con heces de jabalí y con hozaduras; en el último caso, predominantemente en sectores medios a distales de laderas de detritos, donde la menor predregosidad debido a la acumulación de materiales finos propicia la acción de hozar. Se suma también la acción de tropillas de caballos cimarrones y de otros animales de mediano a gran porte que, aunque en menor medida, podrían generar efectos similares, como zorros, lagartos overos, cabras, ovejas, guanacos, pumas, ciervos y vacas. Si bien los jabalíes son silvestres, el incremento en su población en la zona radica en la sobreabundancia de alimento debido a la siembra de maizales y nogales, y a que los pumas, únicos depredadores potenciales, se alimentan actualmente de crías de ganado. El consecuente aumento del trabajo geomorfológico en laderas de detritos incrementa la probabilidad de caídas de detritos rocosos, una potencial amenaza para los transeúntes (Susena y Gentile, 2018). El desarrollo de caídas de rocas por acción faunística depende también de la disponibilidad de detritos, condicionada por la tasa de destrucción de los

afloramientos. Aunque la disponibilidad de detritos depende de las características de los cuerpos rocosos, la exhumación de bloques enterrados por acción mecánica o por erosión del material fino suprayacente son, respectivamente, mecanismos directos e indirectos de la acción zoogeomorfológica que podrían aumentar la disponibilidad de detritos. Un impacto menor del movimiento de detritos por acción faunística es la disminución local del crecimiento de gramíneas; se encontraron numerosas gramíneas aplastadas por detritos, que terminan pereciendo. Si el efecto de la acción faunística fuera continuo sobre una ladera debido a un aumento, por ejemplo, en la carga ganadera, una reducción de la cubierta vegetal significaría una mayor exposición del suelo al lavaje y consiguiente pérdida de material fino fértil, produciéndose una retroalimentación positiva que deterioraría permanentemente el recurso suelo.

En tramos distales de laderas de detritos, donde se acumulan materiales finos por lavaje de la matriz de los tramos proximales y medios, la surgencia de agua subsuperficial propicia el desarrollo de manantiales utilizados como abrevaderos o revolcaderos naturales. La concentración de materia orgánica en estos suelos aumenta la tendencia a la compactación e hinchamiento por humedecimiento-secado. Esto favorece que la compactación por pisoteo y el posterior hinchamiento contribuyan al proceso de reptación y a una concentración local de agua, debido a una reducción en la permeabilidad, y por la presencia de huellas de animales (microirregularidades). De esta manera, se produciría una retroalimentación positiva en el desarrollo de abrevaderos, aumentando juntamente el lavaje en manto.

Figura 8. Flujos de tierra.

Imágenes de Digital Globe con dos fechas diferentes; coordenadas centrales: 37° 48' 10" S; 62° 09' 21" O. Algunos flujos de tierra aparecen en ambas imágenes (flechas negras), mientras otros sólo en la imagen más reciente (flechas rojas). Nótese la vinculación espacial entre los flujos "nuevos" y el cambio de rumbo del camino de ganado (línea punteada blanca). Flecha blanca: indentaciones en cárcava. Línea celeste: curso de agua.



Elaboración propia.

Así, se forman depresiones de 0,5 m de profundidad, hasta 5 m de ancho y más de 10 m de longitud, algunas con contornos rectos coincidentes con antiguas líneas de arado. Asociados a los abrevaderos se desarrollan también flujos de tierra de hasta 100 m de longitud y unos 15 m de anchura (Figura 8). La vinculación a la acción ganadera es muy conspicua, al punto de que estos procesos son ubicuos en los sectores occidentales e intermontano, donde prima la ganadería, mientras en el sector oriental más agrícola, los rasgos son más restringidos. Estos movimientos en masa sólo se encontraron en la región en asociación a abrevaderos naturales, por lo cual se deduce con cierta confianza que en condiciones climáticas y de fauna autóctona similares a las actuales, estos procesos posiblemente no habrían existido antes del desarrollo ganadero, o habrían tenido una distribución mucho más reducida.

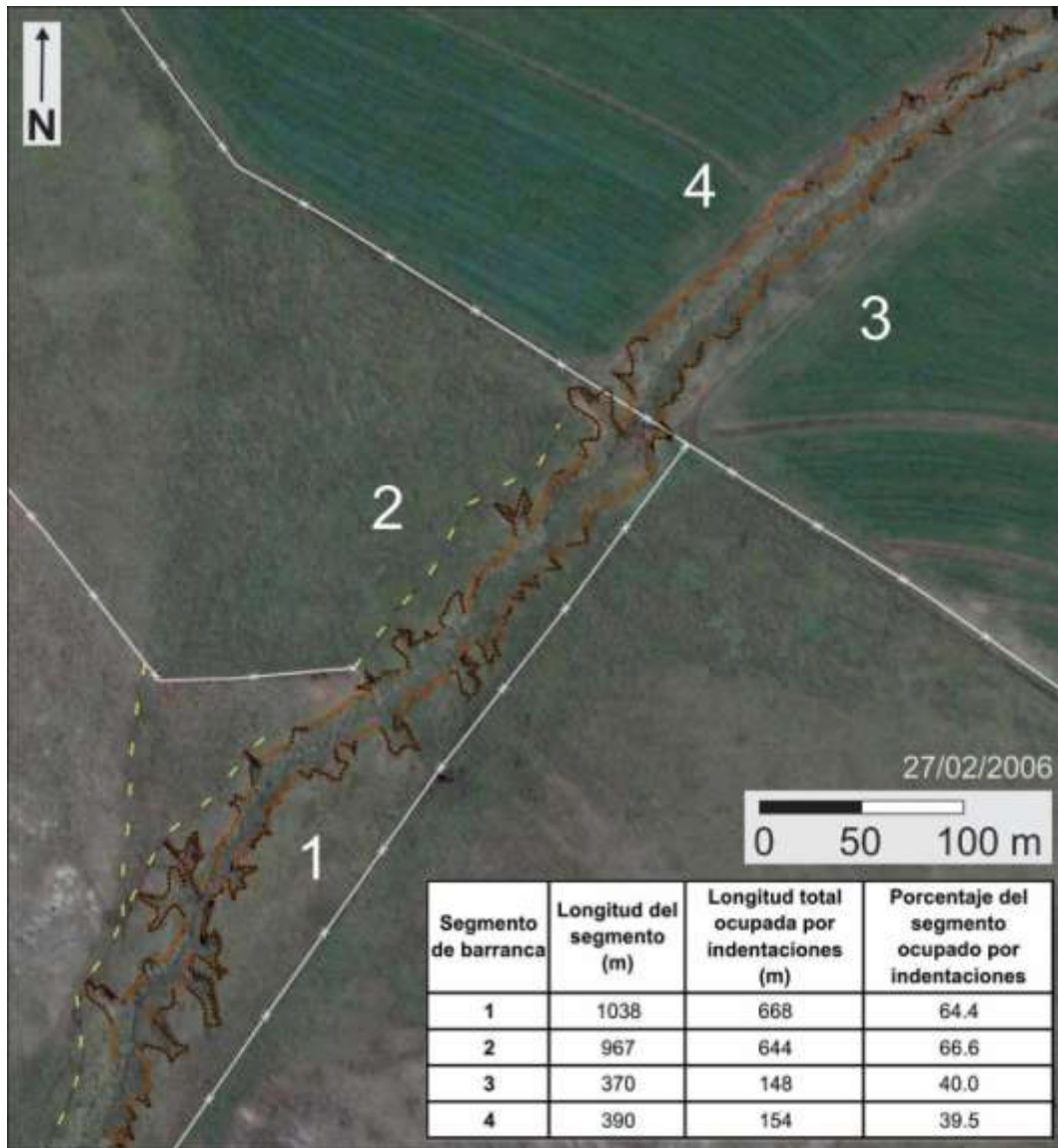
4.3 Interacciones en las fajas aluviales

En numerosas barrancas de arroyos transitorios y perennes se encontraron rasgos erosivos vinculados a la actividad del ganado. Principalmente en cursos de agua desarrollados en sedimentos friables existen indentaciones en las barrancas con morfología triangular, cuyo ápice apunta hacia la planicie de inundación, o bien con morfología cóncava hacia el cauce (Figuras 9 y 10). La pendiente de muchas de estas geoformas tiene una componente opuesta a la del sentido de escurrimiento del cauce, es decir, no tiene coherencia hidrológica, elemento que permite diferenciarlas de geoformas de génesis puramente fluvial o de movimientos en masa sin intervención zoogeomorfológica. Estas indentaciones son similares a parte de las denominadas escotaduras menores (Gentile, 2005), comunes en el ambiente serrano y pedemontano de la Pcia. de Buenos Aires. Se vinculan al tránsito de animales que descienden y ascienden de los cursos de agua, y se asocian además a caídas, vuelcos y deslizamientos de suelo. Como muestra la Figura 9, estas geoformas pueden ser importantes en el modelado de ciertos tramos de los cursos de agua.

Los movimientos en masa participan en el ensanchamiento, alargamiento de las cabeceras y aporte de materiales a los canales. Diversos mecanismos naturales favorecen el desarrollo de fracturas que diferencian bloques de suelo susceptibles a caídas, vuelcos o deslizamientos, agregándose a dichos mecanismos la generación de huellas de ganado y vehículos, líneas de arado y excavación para instalación de postes de alambrados.

Figura 9. Indentaciones en fajas aluviales.

Imagen de Digital Globe; coordenadas centrales: 37° 42' 30" S; 62° 10' 12" O. El curso escurre hacia el NE. Líneas castañas: barrancas. Líneas punteadas negras: indentaciones. Líneas de trazos amarillas: caminos de animales. Líneas blancas: alambrados. Nótese la relación entre los alambrados y el desarrollo de indentaciones. Los segmentos 3 y 4 son diferenciados respectivamente de los 1 y 2 por el alambrado de dirección NO-SE.



Fuente. Elaboración propia

La pérdida de sustento basal de estos bloques debido a pipping, erosión hídrica o acción de fauna excavadora, puede ser suficiente para generar caídas y vuelcos, pudiendo entenderse a los tres primeros procesos mencionados, como mecanismos preparadores y a la vez desencadenantes de caídas y vuelcos. No obstante, muchas veces se añaden sobrecargas por pisoteo del ganado, personas o vehículos, actuando como mecanismos disparadores.

Figura 10. Caída/vuelco de suelo.

C/V: bloque desplazado de aprox. 80 cm de ancho, nótese la posición de la vegetación. Flecha blanca: indentación afectando la barranca. Flecha negra: sentido de escurrimiento del cauce.



Elaboración propia; foto: Juan M. Susena

Así, la acción antrópica y faunística son relevantes en el modelado de la transición entre los cauces y las planicies de inundación, contribuyendo en parte al desarrollo de acaravamiento. Durante la estación lluviosa se encontraron bloques de suelo caídos/volcados en los cauces, de dimensiones submétricas a 1-2 m de eje mayor, en torno a indentaciones y caminos de ganado en la planicie de inundación (Figura 10). La presencia de estos bloques en los cauces indica su carácter reciente (aún no han sido completamente erosionados por acción del agua). Un elemento de diagnóstico de estos procesos es la presencia de gramíneas en los bloques caídos/volcados, en una posición diferente a la de vida. El volumen de los materiales desplazados por evento varía entre 10^{-5} y $1-2 \text{ m}^3$. En sitios con ausencia de bloques caídos/volcados, estos procesos se reconocen también en las barrancas por la presencia de cicatrices cóncavas hacia los cauces y subverticales, característica última que permite diferenciarlas de indentaciones cóncavas, que tienen pendientes menores (son transitables por el ganado). Durante la estación seca, se encontraron pocos ejemplos de estos procesos, indicando una menor susceptibilidad a caídas/vuelcos. Incluso, durante la estación seca el ganado tiende a concentrarse en los cursos de agua o abrevaderos; sin embargo, aparentemente la erosión de las barrancas no es tan notoria como en la estación lluviosa.

4.4 Interacciones en el piedemonte

En sectores de divisorias, los espesores del material eólico son apenas decimétricos, yaciendo sobre calcretes, desarrollándose argiudoles líticos (Figura 11.A). El contraste de permeabilidades provoca un escurrimiento subsuperficial en el contacto entre ambos materiales. Prácticas de arado medianamente profundo o el labrado de surcos exponen dicho contacto, permitiendo el afloramiento del agua subsuperficial, aumentando así el riesgo de erosión hídrica. Se desarrollan canalículos y pseudo-cárcavas¹ que pueden superar los 10 m de longitud (Figura 11.B). Estos problemas se encontraron también en argiudoles y hapludoles típicos, donde el contraste de permeabilidades está en la transición entre los epi y endopedones. Al igual que en laderas distales, se extrae el esqueleto clástico para incrementar la superficie arable, práctica que, sumada a la desagregación mecánica, aumentan la disponibilidad de material fino suelto y la susceptibilidad a la erosión hídrica. Concentraciones incipientes del escurrimiento superficial (arroyada difusa) se evidencian en lineaciones de 1-2 cm de agregados de suelo en sectores cultivados.

Figura 11. Erosión hídrica del piedemonte.

A. Hapludol lítico. a: suelo arable de poco espesor; b: calcrete. Escala: postes. B. Erosión hídrica exponiendo los calcretes (flechas). Línea de trazos: alambrado. Escala: persona (elipse).



Elaboración propia; foto: Juan M. Susena.

Estadios avanzados son representados por cárcavas, muchas paralelas a líneas de arado y caminos de maquinaria que rodean las parcelas. La morfología rectilínea y el

¹ En un sentido geomorfológicamente estricto, las cárcavas son estrechas y profundas. Se decidió denominar pseudo-cárcavas a los rasgos del texto porque, aunque son poco profundos representan, al igual que las cárcavas, un estado relativamente avanzado e irreversible de la erosión hídrica.

ordenamiento de las barrancas muchas veces reticulado, diferencia dichas cárcavas de las puramente naturales (Figura 12). Movimientos en masa en estas cárcavas pueden generar cicatrices con formas de corchetes vistas en planta, morfología que sólo se encontró asociada a líneas de arado. Asimismo, se reconocieron movimientos en masa similares a flujos de tierra, a partir de líneas de arado, donde se produjo concentración de agua. Por otra parte, el acarcavamiento asociado a la presencia de líneas de arado y caminos de maquinaria podría contribuir a la reintegración de una antigua red de drenaje, actualmente desintegrada debido a la depositación de materiales eólicos durante el Holoceno. Dicha reintegración supone un aumento sustancial en la torrencialidad de los cursos de agua en el piedemonte medio y distal, pudiendo incluso perjudicar a poblaciones como Pigüé (Rosell y Ángeles, 2012) y Saavedra. Las áreas cultivadas ocupan cerca del 60% del piedemonte, con suelos relativamente poco cubiertos en agosto-noviembre y diciembre-febrero (siembra y cosecha, respectivamente) y un potencial aumento de susceptibilidad a la erosión. Se agrega a esto el problema de los incendios de pastizales, accidentales o incidentales por quema de malezas y rastrojos, que generan en última instancia grandes superficies de suelo desnudo. Al sur del área estudiada, Uboldi et al. (2011) indicaron riesgos de incendios forestales y de pastizales vinculados a la actividad turística y especulativamente a cambios climáticos.

La acción de los animales y su relación con componentes antrópicos se reconoce también en el piedemonte. En torno a abrevaderos artificiales se registraron procesos de deflación eólica. El pisoteo constante impide el crecimiento de cobertura vegetal a corto plazo (destrucción de retoños) y a largo plazo (compactación del suelo). Este efecto de desertificación localizada tiene poco desarrollo en abrevaderos naturales como los de laderas de detritos distales. Dicha diferencia puede deberse al funcionamiento constante de los abrevaderos artificiales, incluida la época de déficit hídrico, mientras que los naturales se utilizarían principalmente en la estación lluviosa, dando tiempo de reposición a la vegetación. En cercanías de alambrados se encontraron acanaladuras y canalículos rectilíneos paralelos a los primeros, y particularmente a un solo lado de ellos; si bien se desarrolla erosión hídrica en estos rasgos, su disposición no siempre coincide con la pendiente local. Asimismo, se encontraron conjuntos de cárcavas incipientes en dirección a abrevaderos no necesariamente ubicados topográficamente debajo de las primeras. Estos patrones permiten descartar un origen sólo fluvial, vinculándose esencialmente a pisoteo, y una evolución geomorfológica de senderos de animales a cárcavas incipientes.

Figura 12. Barrancas con ordenamiento reticulado.

Imagen de Digital Globe; coordenadas centrales: 37° 42' 34" S; 62° 13' 12" O. Líneas de puntos amarillos y rojos: direcciones preferenciales de las barrancas. Nótese la similitud entre las líneas de puntos rojas y las rosadas (líneas de arado) ubicadas cerca de la arboleda. Flecha negra: sentido del escurrimiento superficial.



Elaboración propia.

En el piedemonte, alrededor de 470 Km lineales y unos 11300 Km² son ocupados por caminos de tierra, superando a los aproximadamente 380 Km lineales y 6100 Km² donde se desarrollan cursos de agua. La presencia de taludes empinados en cortes de caminos permite el desarrollo de algunos procesos similares a los que ocurren en cursos de agua, como la acción de animales excavadores y colapsos por cavidad asociados, caídas, vuelcos y deslizamientos de suelo, y escurrimiento encauzado en las cunetas, siendo erosionado el piedemonte. Así, a nivel regional, la exposición del piedemonte a procesos erosivos habría aumentado con un factor de 2,85 debido a la acción antrópica directa, es decir, a la construcción de caminos como nuevos rasgos geomorfológicos. En algunos sectores las pendientes superan valores del 40%, propiedad que, sumada a la consistencia friable de los limos-arenas, favorecen la erosión hídrica. Gaspari et al. (2008) determinaron una baja a media agresividad (erosividad) de las precipitaciones a escala regional. No obstante, a escala localizada y en situaciones de precipitaciones excepcionales, los sectores con caminos pueden verse amenazados. Como ejemplo extremo de ello, puede mencionarse la erosión de al menos 26.000 m³ de suelo a lo largo de 700 m lineales en un camino del sector occidental, tras una lluvia torrencial de 155 mm en febrero de 1992, descendiendo el nivel del terreno unos 2 m. La destrucción del alambrado y la erosión de 1050 m² de suelo útil supuso una pérdida económica a

uno de los campos. Adicionalmente, los pobladores tuvieron que abrir una huella alternativa para acceder a algunas localidades. Este ejemplo ilustra la importancia de conservar la tradición de campo en este tipo de estudios (Butler, 2013), por supuesto, añadiendo las nuevas metodologías de gabinete disponibles. En el camino del Abra del Hinojo, en el valle intermontano, se encontraron regueros prácticamente en el centro de la calzada, pudiendo constituir riesgos viales en condiciones de poca visibilidad. A esto se suma que debido en gran parte al lavaje en manto desde la línea central de los caminos hacia las cunetas, los perfiles transversales evolucionaron adoptando morfologías convexas, aumentando el riesgo de accidentes de tránsito por resbalamientos de los vehículos. La profundización de cunetas por acción antrópica y erosión hídrica aumenta el gradiente respecto al centro del camino, produciéndose una retroalimentación positiva en la erosión hídrica y la evolución del mencionado perfil. En este sentido, reducir el gradiente entre las cunetas y la línea central de los caminos podría disminuir la erosión hídrica.

Los caminos son erosionados también por acción eólica. Bidart (1992) diferenció depósitos de polvo vial de hasta 1 m de espesor sepultando suelos aledaños y acuñaándose hacia el piedemonte, alcanzando unos 15 m de anchura. Dichos rasgos se habrían originado a partir del siglo XX, con el advenimiento del automóvil. En un sentido geomorfológico, la acción humana sería un mecanismo operativo en la construcción de rasgos lineales del paisaje, tanto en la preparación de material disponible para la erosión eólica por eliminación de vegetación, así como agente sedimentológico parcial, poniendo el material en suspensión. El paso de vehículos genera asimismo turbulencias neumáticas, aumentando local, aunque esporádicamente, la competencia eólica.

5. CONCLUSIONES

Lo expuesto anteriormente permite concluir que las actividades antrópicas influyen directamente en el modelado del área mediante construcción o destrucción de geofomas (por ejemplo, cortes de caminos), e indirectamente por cambios en propiedades geomorfológicas y/o geomecánicas de los suelos (por ejemplo, reducción de pedregosidad, arado y compactación). La influencia en la actividad zoogeomorfológica por introducción de ganado o afectación en la dinámica poblacional de determinadas especies silvestres, favorece el desarrollo de procesos erosivos como

movilización de bloques y flujos de tierra en laderas, destrucción de barrancas, acarreamiento incipiente en el piedemonte, etc. La comparación entre sectores con distintos grados de intervención antrópica directa e indirecta mostró que la erosión hídrica, los movimientos en masa y la acción eólica, no sólo habrían aumentado su representatividad en rasgos del paisaje existentes con anterioridad al desarrollo de actividades rurales, sino que operan también en sectores del paisaje donde previamente no se desarrollaban. Particularmente la erosión eólica, típica del sector occidental de la Región Pampeana, habría extendido su influencia hacia el centro-este; esto no se debería en principio a cambios climáticos recientes (no descartando que los hubiera), sino que respondería a un aumento de las superficies susceptibles a este proceso, dado que no se manifiesta de manera conspicua en componentes del paisaje menos afectados por actividad antrópica. Todo lo indicado representaría *per se* una aceleración de la degradación del recurso suelo a escala de cuenca y la identificación de una retroalimentación positiva en varios procesos erosivos alienta el desarrollo de estrategias de manejo y conservación del recurso suelo. Esta apreciación, producto de una aproximación geomorfológica esencialmente descriptiva, concuerda con estudios cuantitativos realizados en otros sitios de las Sierras Australes (Gaspari y Bruno, 2003; Ángeles y Gil, 2006). La aproximación geomorfológica permitió, por su parte, diagnosticar procesos erosivos posiblemente de difícil reconocimiento o monitoreo remoto, dado su carácter incipiente y el pequeño tamaño de algunos rasgos, representando un típico problema de escala. Debe entenderse a la teledetección, en estos contextos, como parte pero no la totalidad del flujo de trabajo, como una herramienta para caracterizar cambios en la cobertura y usos del suelo y detectar zonas de interés para un posterior trabajo de campo, necesario, si acaso es factible (Kapalanga, 2008; Brabant, 2010, entre otros). Por otra parte, fue posible idear estrategias administrativas del recurso suelo, guiando la explotación agropecuaria hacia una economía sustentable a largo plazo. Resulta preferente ubicar el ganado en verano en zonas relativamente húmedas para evitar la erosión eólica, y en invierno alejarlo de las laderas, para disminuir la erosión hídrica. La concentración de ganado en cuadros específicos de pasturas naturales no es recomendable, puesto que una disminución de la biodiversidad debida a sobrepastoreo limitaría la capacidad de respuesta de los ecosistemas frente a disturbios (Loydi y Distel, 2010 y trabajos citados), como procesos erosivos. Por otra parte, se recomienda (al menos desde la perspectiva de conservación física de suelos) utilizar técnicas de siembra directa, y en lo posible, remover el suelo al finalizar el

otoño, para evitar voladuras y erosión hídrica acentuada. Respecto al transporte y generación de huellas, se recomienda alternar huellas cada año para permitir el crecimiento de la vegetación y retrasar la compactación.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los dueños de las estancias por permitirnos trabajar en ellas, al personal de apoyo del Instituto de Geomorfología y Suelos, a Georgina Scarponi, Martín Hurtado, Lucas Misseri y Andrea Cáceres, quienes colaboraron en algunas campañas. Este trabajo se enmarca en una Beca Interna Doctoral del CONICET otorgada a Juan M. Susena.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángeles, G. R. y Gil, V. (2006) Identificación del grado de transformación antrópica y riesgo ambiental en cuencas fluviales serranas. El caso de la cuenca del arroyo El Belisario (Argentina). *GeoFocus*, n° 6 (pp. 138-151).
- Bidart, S. (1992) Depósitos de “polvo vial” en la cuenca del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. Connotación estratigráfica. *Actas de las III Jornadas Geológicas Bonaerenses* (pp. 91-96). La Plata.
- Brabant P. (2010) A land degradation assessment and mapping method. A standard guideline proposal. Les dossiers thématiques du CSFD, n° 8. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France.
- Butler, D. R. (2006) Human-induced changes in animal populations and distributions, and the subsequent effects on fluvial systems. *Geomorphology*, n° 79 (pp. 448–459).
- Butler, D. R. (2012) The impact of climate change on patterns of zoogeomorphological influence: examples from the Rocky Mountains of the western U.S.A. *Geomorphology*, n° 157-158 (pp.183–191).
- Butler, D. R. (2013) The field tradition in mountain geomorphology. *Geomorphology*, n° 200 (pp. 42-49).
- Cappannini, D. A., Scoppa, C. O. y Vargas Gil, J. R. (1974) Suelos de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Actas de la Reunión sobre la Geología de las Sierras Australes Bonaerenses (año 1970)* (pp. 203-234). La Plata.

- De Francesco, F. (1992) Estratigrafía del Cenozoico en el flanco occidental de las Sierras de Curamalal, Sierras Australes Bonaerenses. *Actas de las III Jornadas Geológicas Bonaerenses* (pp. 3-12). La Plata.
- Gaspari, F. J. y Bruno, J. E. (2003) Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. *Ecología Austral*, n° 13 (pp. 109-120).
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I. (2008) Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. I, n° 49 (pp. 57-66).
- Gentile, R. O. (2005) Procesos de remoción en masa en el extremo sur del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata.
- Kapalanga, T. S. (2008) A Review of Land Degradation Assessment Methods. Land Restoration Training Programme. Final Project. Keldnaholt, Reykjavík, Iceland.
- Loydi, A. y Distel, R. A. (2010) Diversidad florística bajo diferentes intensidades de pastoreo por grandes herbívoros en pastizales serranos del Sistema de Ventania, Buenos Aires. *Ecología Austral*, n° 20 (pp. 281-291).
- Panizza, M. G. (2015) El área de Ventania en la conformación de la línea de frontera durante el siglo XIX. Cambio y diversidad cultural en la apropiación del paisaje. *Tefros*, vol. II, n° 13 (pp. 83-107).
- Remondo, J., Soto, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J. R. y Cendrero, A. (2005) Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain. *Geomorphology*, n° 66 (pp. 69-84).
- Rosell, M. P. y Ángeles, G. R. (2012) Aplicación de un modelo de erosión de laderas para estudiar las características hidrodinámicas de la cuenca alta del Arroyo Pigüé, Buenos Aires, Argentina. *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física*, pp. 152-170. Bahía Blanca.
- Susena, J. M., Gentile, R. O. (2018) Caídas y vuelcos de roca y suelo en un área turística de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Actas de las II Jornadas Internacionales y IV Jornadas Nacionales de Ambiente* (pp. 663-666). Tandil
- Susena, J. M., Gentile, R. O. y Remondo, J. (2019) Cambios morfológicos en laderas de detritos y niveles pedemontanos pleistocenos y holocenos vinculados a actividades

humanas, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *XV Reunión Nacional de Cuaternario* (en prensa). Bilbao.

Thornthwaite, C. W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, n° 38 (pp. 55-94).

Uboldi, J., Laucirica, J., Michalijos, P. y Mancino, M. (2011) Cambio climático, turismo y riesgo de incendios, de pasturas y de interfase, en el sudoeste bonaerense, su análisis con geotecnologías. *Revista Geográfica de América Central*, número especial EGAL (pp. 1-15).