



Geomorfología de la cuenca del río del Cobre, Malargüe, Mendoza (35°S): un aporte al entendimiento de la inestabilidad de laderas

Maximiliano Andrés ESPÓSITO¹, Stella Maris MOREIRAS^{2,3} y Mariana CORREAS-GONZALEZ²

¹Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina.

²Grupo Geomorfología y Cuaternario. Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) - CONICET. UNCUYO, Mendoza, Argentina.

³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Emails: espositomaximilianoandres@gmail.com, moreiras@mendoza-conicet.gob.ar; mcorreas@mendoza-conicet.gob.ar

Editor: Edier Vicente Aristizabal Giraldo

Recibido: 21 de agosto de 2022

Aceptado: 23 de febrero de 2023

RESUMEN

El presente estudio geomorfológico de la cuenca del río del Cobre (35°S, 70°15'W), permitió conocer los procesos que condicionan el modelado del paisaje de un sector de la Cordillera Principal en el sur de la provincia de Mendoza. Se generó el primer mapa geomorfológico de detalle para la región (escala 1:10000) en donde las distintas geoformas se clasificaron según su génesis, diferenciando cuatro clases: a) glaciar y periglacial, b) fluvial, c) kárstico, y d) remociones en masa. El inventario de las geoformas obtenido permitió reconocer, caracterizar y analizar la distribución de los diferentes procesos en la cuenca y la identificación de los eventos de inestabilidad de las laderas. El análisis espacial advierte que al menos el 25% de la superficie de la cuenca presenta procesos vinculados a la inestabilidad de laderas ya sea por deslizamientos o colapsos kársticos. Asimismo, se establece que las litologías más favorables para el desarrollo de los deslizamientos son las rocas evaporíticas asignadas a la Formación Auquilco (50%) y en menor grado las volcanitas de la Formación Río Damas (17%). Los resultados de este trabajo incluyen un mapa geomorfológico general de la cuenca del río del Cobre (escala 1:75000), mapas geomorfológicos de detalle de las subcuencas (1:25000), un mapa hidrológico general (1:125000) y un mapa geológico general (1:120000), representando un significativo aporte al conocimiento de la zona.

Palabras clave: Análisis geomorfológico, inestabilidad de laderas, peligrosidad.

ABSTRACT

Geomorphology of the Cobre River Basin, Malargüe, Mendoza (35°S): a contribution to the understanding of slope instability.

The present geomorphological study of the Cobre River Basin (35°S, 70°15'W), allowed to know processes that modelled the landscape of this sector of the Cordillera Principal in the south of the Mendoza province. The first detailed geomorphological map is generated for the region (scale 1:10000), the geoforms are classified according to their genesis, differentiating four classes: a) glacial and periglacial, b) fluvial, c) karstic, and d) landslides. The inventory of the geoforms obtained allowed us to recognize, characterize and analyze the distribution of the different processes in the studied basin, and the identification of slope instabilities. According to the spatial analysis, at least 25% of the basin present processes linked to slope instability, either by landslides, or karst collapses. Likewise, the most favorable lithologies for the development of landslides are the evaporite rocks assigned to the Auquilco Formation (50%) and, to a lesser degree, the vulcanites of the Río Damas Formation (17%). The results of this work include a general geomorphological map of the Cobre River basin (scale 1:75000), detailed geomorphological maps of the sub-basins (1:25000), a general hydrological map (1:125000), and a geological general map (1:120000), representing a significant contribution to the knowledge of the area.

Keywords: Geomorphological analysis, slope instability, hazards.

INTRODUCCIÓN

Los estudios geomorfológicos permiten comprender la evolución del paisaje desentrañando los procesos que han originado y modelado las principales geoformas de un entorno, a la vez que son claves al momento de identificar riesgos geológicos (Tooth y Viles 2014). Los vastos cordones montañosos de los Andes, caracterizados por un acceso restringido y condiciones climáticas extremas, han dificultado los estudios geomorfológicos de detalle con lo cual se advierte un escaso conocimiento de los peligros naturales latentes en estos entornos. En tiempos recientes, la difusión y libre acceso a imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth, ESRI Satellite) y de Modelos Digitales de Elevación (MDE) han permitido el desarrollo de estudios geomorfológicos y mapeo de detalle (Dramis et al. 2011) que permiten llenar este vacío. Sin embargo, el grado de precisión de estos mapeos digitales requiere inexorablemente su revisión en terreno para su validación. En este contexto, el estudio geomorfológico de la cuenca del río del Cobre permitió establecer los procesos y geoformas principales que han controlado la evolución de esta cuenca con una resolución de detalle novedosa, en cuanto a la escala de mapeo, para los estudios cuaternarios de la zona.

AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la cuenca del río del Cobre, ubicada al sudoeste de la provincia de Mendoza (Malargüe), entre los 35° 11' y 34° 58' LS (Fig. 1). Esta cuenca, enmarcada en la cuenca del río Grande, no posee estudios hidrológicos en detalle. El único antecedente encontrado corresponde a un estudio técnico realizado a nivel integral de la cuenca del río Grande (Gobierno de Mendoza 2008) con motivo de su aprovechamiento. Cabe destacar que a la cuenca analizada se le han asignado una diversidad de nombres según el año y autor que se consulte. En este trabajo se ha optado por la denominación de “río del Cobre”, ateniéndose a la designación oficial del IGN en los planos “Provincia de Mendoza – Plano General y Red de Caminos” (1947) y “Plano Catastral de la Provincia de Mendoza” (1912) (IGN 2022).

El área de estudio tiene un clima árido frío de estepa (BSK) caracterizado por una temperatura media anual inferior a 18° C (Kottek et al. 2006) y precipitaciones mayormente invernales que rondan los 600 mm (Viale y Nuñez 2011). Las elevaciones más importantes se concentran al noroeste del área de estudio, son divisoria de agua y límite con Chile, entre ellas el

cerro Punta de los Suizos (3995 m s.n.m.); cerro Orejas (3949 m s.n.m.) y cerro Las Choicas (3830 m s.n.m.); mientras hacia el sureste, las alturas apenas superan la cota de 2100 m s.n.m. (IGN 2022). El pico más alto de la cuenca del río del Cobre tiene 4160 m s.n.m. Algunos aspectos generales del sector sur de Mendoza son tratados en el Atlas de Geomorfología de Mendoza (Mikkan 2014), aunque no existen análisis geomorfológicos específicos de la cuenca en estudio.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra enmarcada en el ámbito de la Cordillera Principal y forma parte de la Cuenca Neuquina, una cuenca extensional que comenzó a desarrollarse en el Triásico tardío (Legarreta y Gulisano 1989) y se extendió durante prácticamente todo el Mesozoico (Uliana y Biddle 1988). Su evolución consta de diversas etapas de inundaciones y regresiones, con importantes espesores de depósitos marinos y continentales (Legarreta y Uliana 1996). El registro estratigráfico de la cuenca del río del Cobre se resume en un basamento pre-Jurásico, una sucesión predominantemente sedimentaria jurásico-cretácica, un magmatismo cenozoico y finalmente depósitos cuaternarios (Mescua 2011). El basamento pre-Jurásico integrado por metamorfitas paleozoicas y volcanitas y plutonitas permo-triásicas (Legarreta y Gulisano 1989, Riccardi et al. 1997, Riccardi e Iglesia Llanos 1999) no

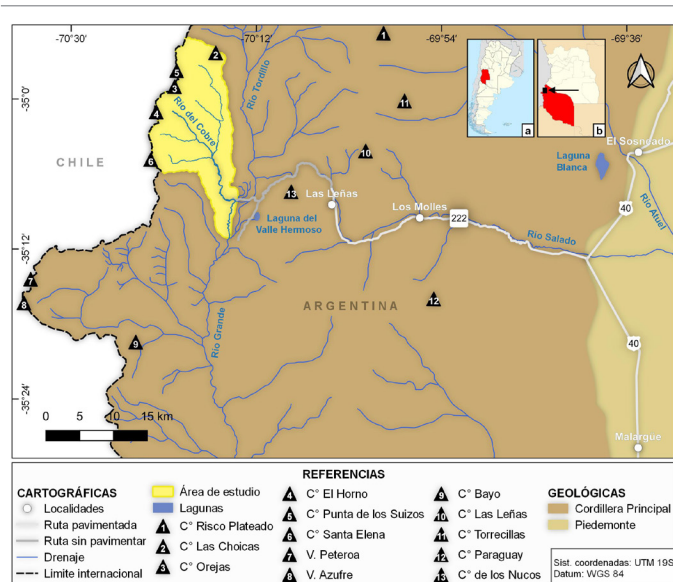


Figura 1. Mapa general de ubicación de la cuenca del río del Cobre sombreada en amarillo con los ríos y cerros principales (1:500000): a) Ubicación relativa de la provincia Mendoza en Argentina; b) Ubicación del área de estudio en el departamento de Malargüe. La flecha negra indica la zona estudiada en este trabajo.

aflore en la zona de estudio. En tanto las sucesiones jurásico-cretácicas están integradas por los grupos pre-Cuyano, Cuyo, Lotena, Mendoza y la Fm Auquilco. El grupo pre-Cuyano incluye sedimentitas continentales con aporte volcánico (Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995). El grupo Cuyo (Sinemuriano-Aaleniano) abarca una serie de unidades predominantemente marinas, registrando la primera transgresión para la cuenca Neuquina integrada por calizas, pelitas negras, alternancia de calizas negras, volcanitas y tobas de la Formación Río Cobre. Otra formación de este grupo está conformada por areniscas tobáceas verdes, pelitas negras portadoras de fósiles y calizas con impresiones fósiles. El Grupo Lotena (Caloviano - Oxfordiano) está integrado por las secuencias clásticas asignadas a la Formación Lotena con arena-pelíticas y las sedimentitas carbonáticas de la Formación La Manga. La Formación Auquilco (Oxfordiano superior) corresponde a ambiente marino evaporítico poco profundo y está compuesta por yeso, anhidrita y minoritariamente calizas (Stipanovic, 1965). El Grupo Mendoza (Kimeridgiano – Hau-

teriviano) comprende una sucesión de sedimentitas jurásico-cretácicas (Legarreta y Gulisano 1989) que en el área de estudio incluye a las Formaciones Tordillo (Stipanovic 1969) y Río Damas. La primera corresponde a una sucesión continental de capas rojas, compuesta por areniscas, conglomerados y pelitas de ambientes fluviales, eólicos, aluviales y de barreal (Legarreta et al. 1993) que representa una continentalización de la cuenca. Esta formación engrana lateralmente con la Formación Río Damas (Klohn 1960) integrada por andesitas basálticas porfíricas y brechas andesíticas.

El Magmatismo de arco Cenozoico se desarrolló durante el Paleógeno y Neógeno representado por el ciclo eruptivo Huincán (Nulló et al. 2002) y el Complejo volcánico Cordón del Burrero (Sruga et al. 2008, 2009). Este complejo Mioce-no corresponde a una secuencia lávico-hipabisal conformado por tres litofacies: coladas andesíticas y basálticas, con menores brechas de la misma composición, enjambres de diques subparalelos y cuerpos subvolcánicos andesíticos y dioríticos, y cuerpos subvolcánicos y filones capa riolíticos

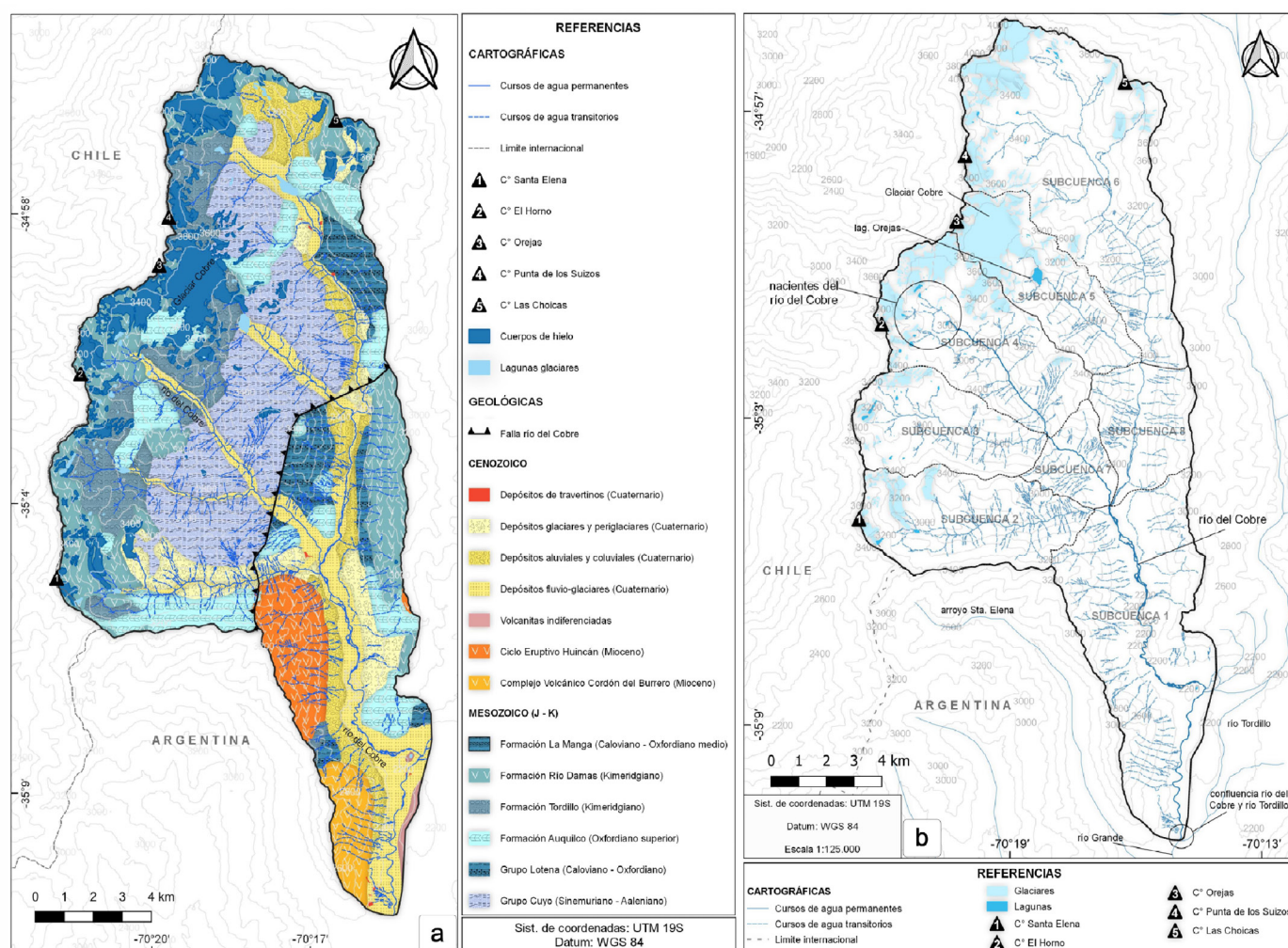


Figura 2. a) Mapa geológico de la cuenca del río del Cobre (1:120000); b) Mapa hidrológico de la cuenca del río del Cobre (1:125000).

atravesados por diques basálticos equivalente temporalmente, en parte con el ciclo Eruptivo Huincán (Nullo et al. 2002). En tanto la Formación Huincán (Mioceno) corresponde a volcanitas en facies hipabisal dacítica biotítica que intruyen a las sedimentitas mesozoicas y a las volcanitas del Complejo volcánico Cordón del Burrero (Sruoga et al. 2008).

Los depósitos cuaternarios de la zona de estudio han sido muy poco estudiados. Se describen depósitos morrénicos en las nacientes del río del Cobre y depósitos de remoción en masa a lo largo de los valles principales. Espizúa (1988) registra dos avances glaciares a lo largo del río Tordillo denominados Valle Hermoso II y Valle Hermoso III, preservados a 2170 y 2500 m.s.n.m., respectivamente. El avance más antiguo fue acotado temporalmente por el fechado radiocarbono de un nivel orgánico más joven que resultó ~13 ka. El avance más joven es asociado temporalmente al fechado por radiocarbono de la morena Torrecillas estimada en ~10ka. También se han identificado niveles de travertinos y caliche asociados a surgencias de aguas termales, en el tramo medio del río del Cobre (Mescua 2011).

METODOLOGÍA

Recopilación de antecedentes

Se recopiló la información geológica previa de las hojas geológicas 3569-III - Malargüe (1:250.000) (Nullo et al. 2005), 3569-13 - Cerro Risco Plateado (Sruoga et al. 2016) y 3569-I - Volcán Maipo (Sruoga et al. 2005), las dos últimas a escala 1:100000. También se consultó la tesis doctoral de Mescua (2011). La topografía detallada de la zona fue tomada de las Hojas Topográficas 3569-19-1 y 3569-13-3 (escala 1:50000) (IGN 2022).

Mapas temáticos

A partir de la información recopilada, se generó un mapa geológico con las unidades propuestas en las hojas geológicas de SEGEMAR (Fig. 2a). Se obtuvo el mapa de glaciares del ING (IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares 2018) como base para las geoformas glaciares. Se utilizó el Modelo de Elevación Digital (SRTM-DEM) (Earth Explorer - USGS 2022) con resolución de 30 m para la confección del mapa hidrológico de la cuenca y se siguió la nomenclatura oficial de los ríos propuesta por el IGN (IGN 2022). Se definió el punto de cierre de la cuenca del río Cobre en la confluencia con el río Tordillo (Fig. 2b).

Mapa geomorfológico

El relevamiento geomorfológico del área de estudio se

realizó utilizando imágenes satelitales de alta resolución de Google Satellite Hybrid y ESRI Satellite. Las geoformas fueron relevadas a una escala de 1:10000 por lo cual rasgos característicos de cada ambiente no pudieron ser contemplados en el mapeo, sino que se tuvieron en cuenta en la caracterización de las grandes unidades. Debido a las dimensiones del área de estudio y a fin de facilitar la representación de los resultados, se mapearon justamente estas grandes unidades geomorfológicas en las ocho subcuencas del río del Cobre (Figs. 3 a-i). La mínima unidad de mapeo establecida fue 0.003 km², en tanto que las geoformas inferiores a este valor se agruparon en una sola unidad para el análisis estadístico.

Las distintas geoformas fueron clasificadas en función de su génesis. Las geoformas glaciares se clasificaron según las normativas internacionales en uso, principalmente del Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS, por su sigla en inglés) y del proyecto Mediciones Globales de Hielo Terrestre desde el Espacio (GLIMS, por su sigla en inglés) (Rau et al. 2005), siguiendo la clasificación utilizada por el inventario nacional de glaciares (IANIGLA 2022): 1. Glaciares descubiertos (GD) 2. Glaciares cubiertos de detritos (GC) 3. Glaciares de escombros activos (GEA) 4. Glaciares de escombros inactivos (GEI) 5. Glaciaretos o manchones de nieve (MN). La digitalización de los mismos se realizó de forma manual usando la base del inventario nacional de glaciares (IANIGLA 2022). Se modificaron y redefinieron en detalle los límites de los cuerpos de hielo para actualizarlos en base a las imágenes disponibles en el servidor de Google Earth y ESRI de QGIS (mosaico de imágenes de 2019-2021). En el caso de depósitos glaciares se diferenciaron en función a su relación espacial con el glaciar, clasificando en morenas laterales, frontales y de fondo. Debido a que no existen registros de dataciones para la cuenca del río del Cobre, se utilizaron las posiciones espaciales o la altura topográfica de los depósitos en los valles de la cuenca para determinar edades relativas con relación a la glaciación o avance a las cuales pertenecen, considerando los depósitos datados en valles cercanos al área de estudio (e.g. depósitos morrénicos de Valle Hermoso, ~13 ka).

En el inventario de procesos de remoción en masa utilizamos la clasificación de Pedraza (1996) modificada, en función de los procesos generadores. Se reconocen: 1. Caídas: incluye a los conos de deyección y zonas de talus. 2. Deslizamientos: incluye a los deslizamientos propiamente dichos y sus geoformas asociadas (cicatrices y represamientos). 3. Flujos: incluye a los flujos de detritos y avalanchas de rocas. Si bien los abanicos aluviales están compuestos por muchos flujos, se han clasificado en la sección de geoformas de origen fluvial. Se han delimitado como "zonas" incluyendo en estas a

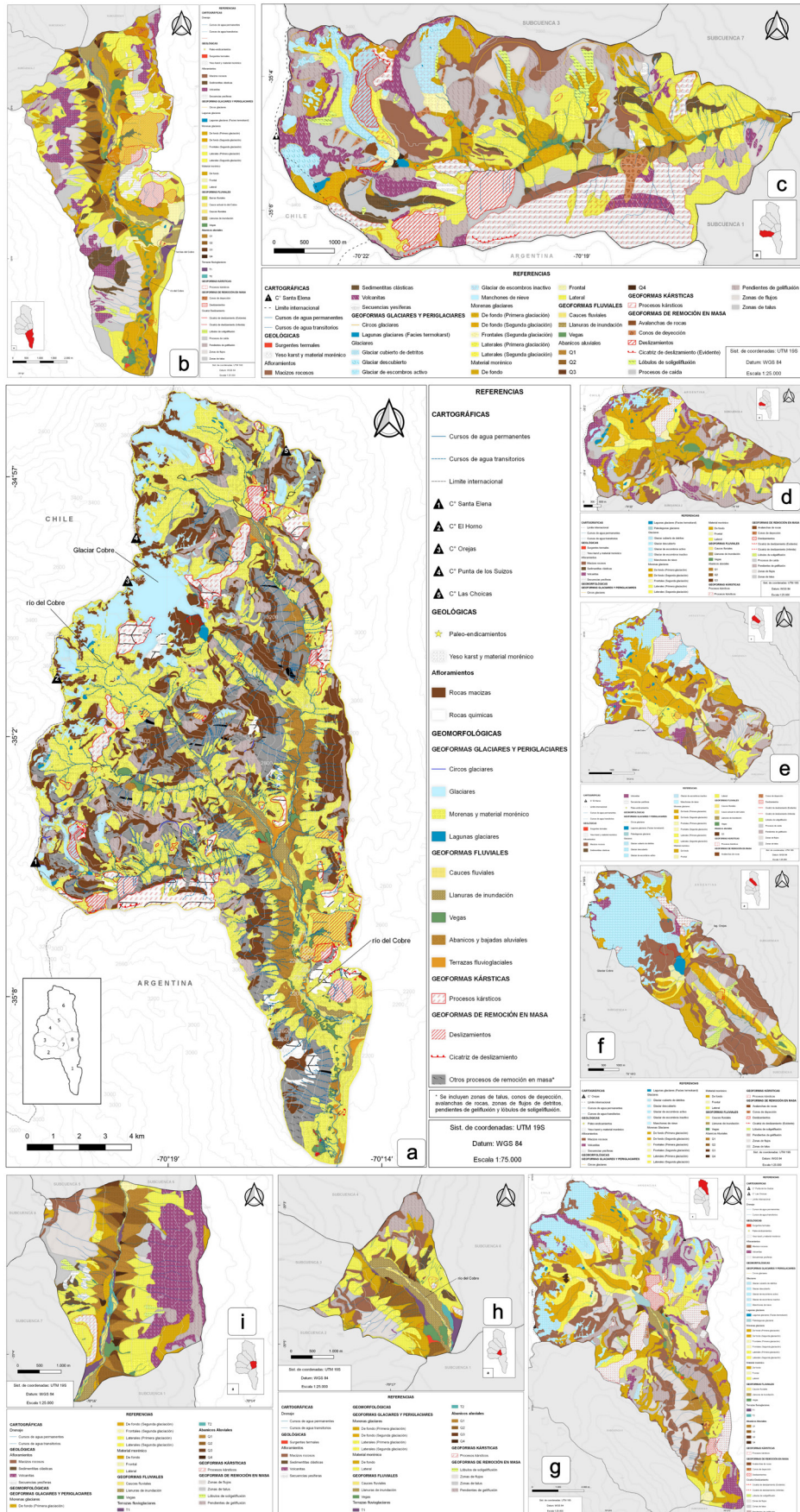


Figura 3. a) Mapa geomorfológico general de la cuenca del río del Cobre (1:75000); b) Subcuenca 1 cuenca baja del río del Cobre; c) Subcuenca 2; d) Subcuenca 3; e) Subcuenca 4; f) Subcuenca 5; g) Subcuenca 6; h) Subcuenca 7; i) Subcuenca 8. Todos los mapas por subcuencas están a escala 1:25000.

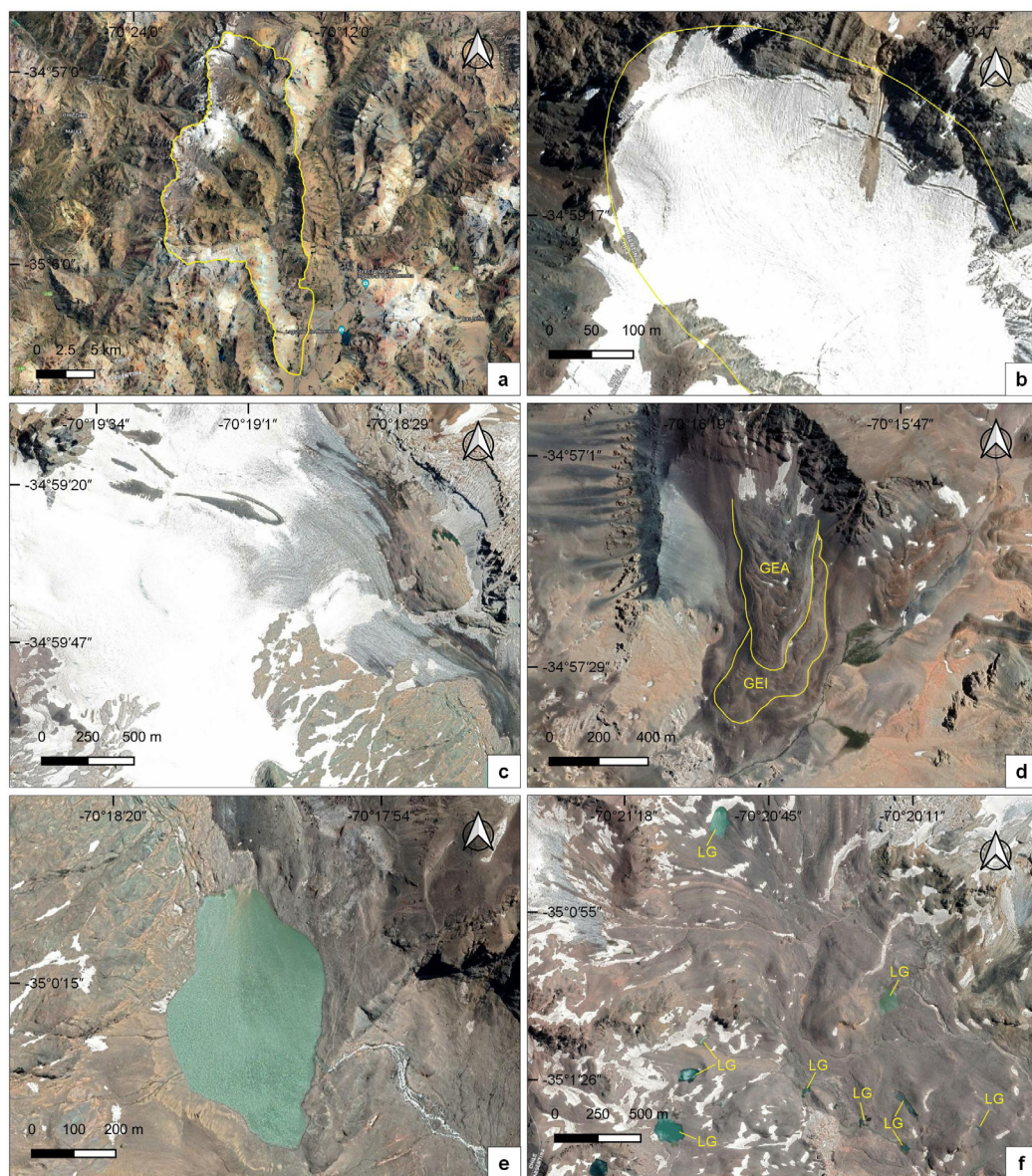


Figura 4. a) Cuenca del río del Cobre en toma de Google Satellite Hybrid (mosaico 2019-2021); b) Circo activo en la zona glaciár; c) Glaciár Cobre (GD); d) Glaciár de escombros donde GEA: Glaciár de escombros activo y GEI: Glaciár de escombros inactivo; e) Laguna Orejas contenida en parte por material morrénico y afloramiento rocoso; f) Lagunas desarrolladas sobre depósitos morrénicos donde LG: Laguna glaciár.

los flujos puntuales. 4. Reptación: incluye a las pendientes de geliflujión y a los lóbulos de soligeliflujión. Finalmente para las geoformas restantes (vegas, abanicos aluviales, etc.) se utilizaron como guías los trabajos de Gutiérrez Elorza (2008) y Robertson et al. (2013) modificando las clasificaciones, para adaptarlas a la zona de estudio. Por otra parte, las geoformas kársticas se han englobado de forma general bajo el término de “procesos kársticos”, incluyendo a las dolinas y los paisajes kársticos de torres muy erosionadas.

Análisis espacial

Se realizó un análisis espacial de las geoformas inventariadas en el software QGIS versión 3.10 “Coruña” con apoyo de Google Earth Pro. Se calcularon las áreas de las ocho subcuencas del río del Cobre. Las áreas ocupadas por cada geoforma se estimaron para cada subcuenca a fin de analizar

la importancia relativa de cada proceso. Asimismo se establecieron las alturas de las unidades identificadas y se calcularon los volúmenes de los depósitos de remoción en masa más relevantes utilizando la herramienta “Surface Raster Volume”.

RESULTADOS

Cuenca del río del Cobre

La cuenca del río del Cobre presenta una forma de “pata de gallo” muy distintiva y fácilmente reconocible en las imágenes satelitales (Fig. 4a), con un área aproximada de 217 km² y un perímetro de 81.7 km. Las nacientes del río del Cobre se encuentran aproximadamente a los 3200 m s.n.m. producto del deshielo glaciár. En esta cuenca se diferenciaron ocho subcuencas indicándolas de sur a norte con los números de

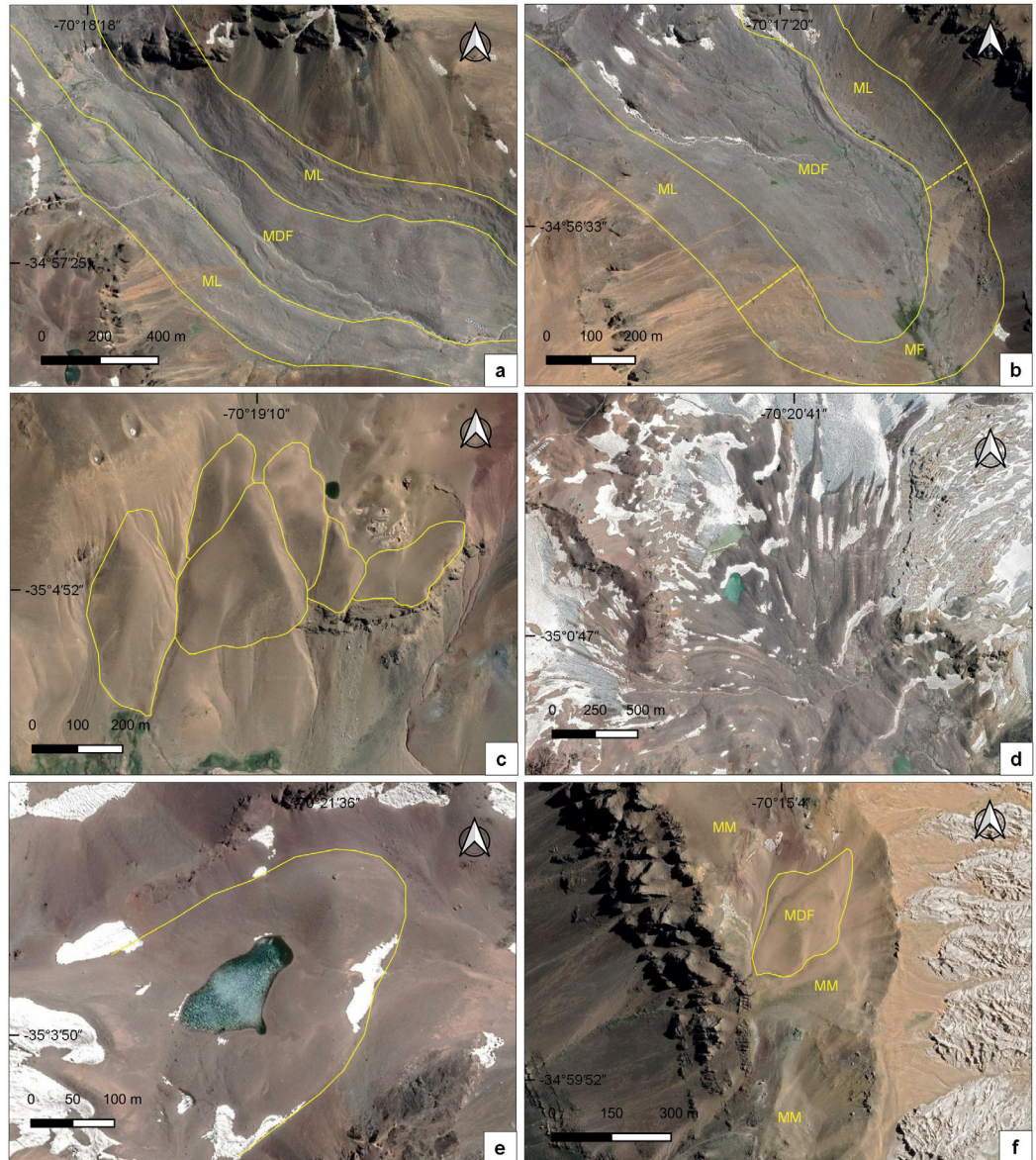


Figura 5. a) Morrenas laterales y de fondo donde L: laterales y DF: de fondo; b) Morrenas laterales, frontales y de fondo donde L: laterales y DF: de fondo; c) Morrenas laterales pleistocenas “colgadas”; d) Morrenas de fondo posiblemente holocenas; e) Laguna glaciar encerrada por morrenas; f) Material morrénico cubriendo las zonas altas de la cuenca donde MM: Material morrénico y MDF: Morrenas de fondo.

1 a 8. Cinco de estas subunidades corresponden a ríos tributarios (subcuencas), siendo las subcuencas 4, 7 y 1 las que integran propiamente al río del Cobre.

Procesos geomorfológicos identificados

El área de estudio presenta valles con fuerte incisión, en forma de U, típicos de ambiente glaciar; mientras en los sectores más altos, se observan circos en los que se desarrollan distintos tipos de glaciares por encima de los 3000 m s.n.m. Asimismo, se manifiestan procesos criogénicos como la gelifracturación en las laderas de los valles asociados a la presencia de permafrost. A lo largo del valle del río de Cobre es común observar depósitos morrénicos y el fondo del valle presenta extensos depósitos aluviales, en partes, disectados y aterrizados.

Geoformas glaciares

Los glaciares descubiertos (GD) están restringidos a las cotas superiores a los 3000 m s.n.m., ocupando el fondo de circos glaciares. Debido a la intensa acción glaciar durante el período Pleistoceno-Holoceno, hoy se pueden observar circos que ocupan la parte superior de los valles y valles colgados. Los circos glaciares (Fig. 4b) se reconocen por sus formas semicirculares y de crestas agudas y, en algunos casos, por la presencia de nieve o pequeñas lagunas alojadas en su cuerpo. Algunos circos conservan el hielo glaciar mientras que otros son relícticos y presentan acumulación de material morrénico.

El glaciar Cobre (Fig. 4c) destaca dentro de las geoformas glaciares, representando aproximadamente el 40% de la superficie englazada descubierta. La presencia de *crevasses*

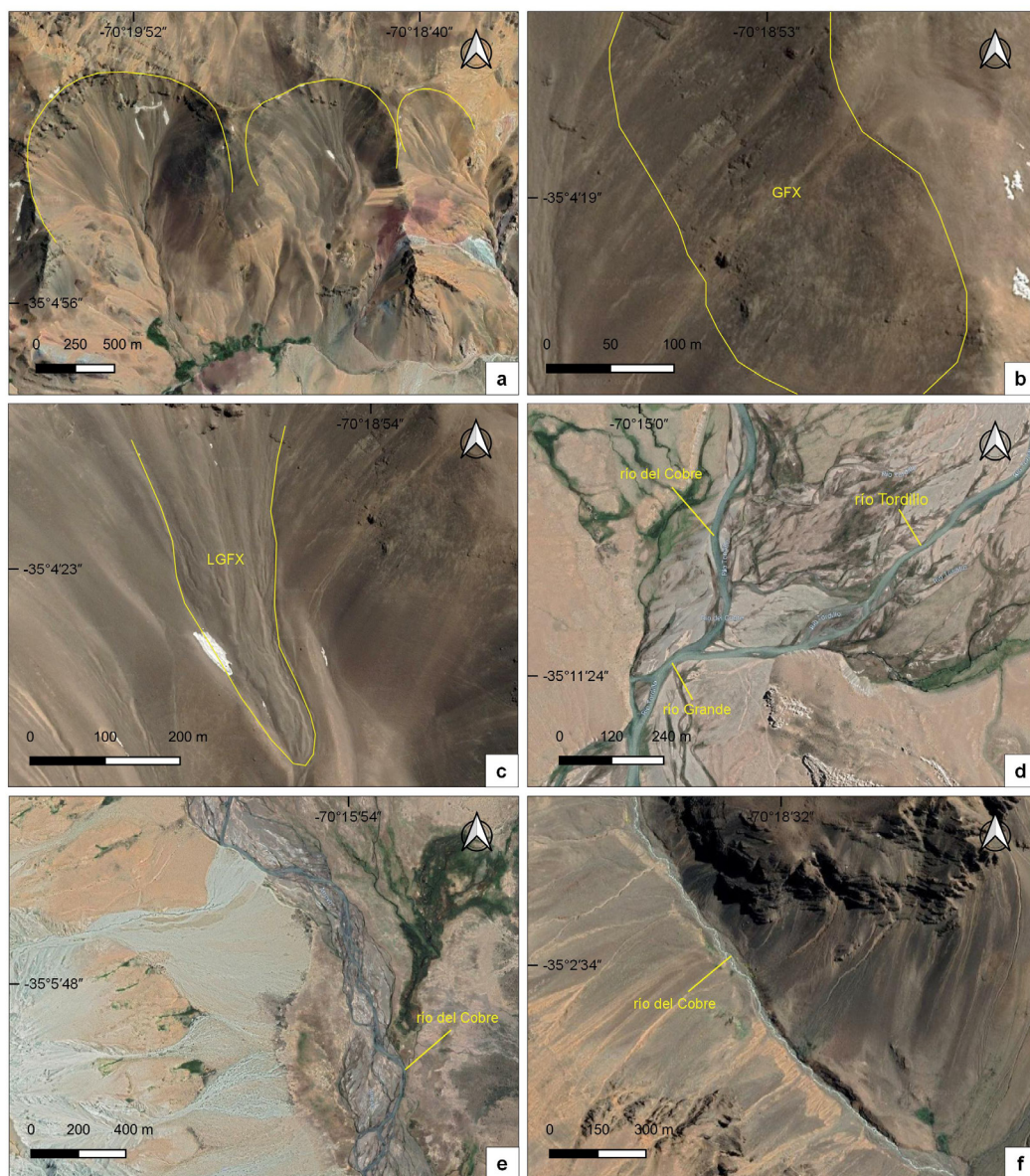


Figura 6. a) Circos inactivos en la zona periglaciaria; b) Pendientes de gelifluxión. GFX: Gelifluxión; c) Desarrollo de lóbulos de solifluxión donde LGFX: Lóbulos de solifluxión; d) Curso del río del Cobre en su confluencia con el río Tordillo formando un gran cono aluvial y dando origen al río Grande; e) Patrón entrelazado del río del Cobre; f) Patrón rectilíneo del río del Cobre.

(grietas en el hielo glaciar) y rocas aborregadas sirvieron de apoyo para poder determinar la actividad o inactividad de los diferentes cuerpos de hielo con respecto a su movimiento. En la figura 4d se puede observar un ejemplo de glaciar de escombros activo, con un frente inactivo.

Se identificaron numerosas lagunas glaciares ($N = 92$) en cotas superiores a los 2800 m s.n.m. La laguna Orejas (Fig. 4e) constituye un excelente ejemplo de cuerpo lacustre de origen proglaciar retenido por el lecho rocoso erosionado por el glaciar. Dicha laguna corresponde a un caso aislado ya que la mayoría de las lagunas ($N = 55$, ~60%) son pequeñas y están relacionadas a facies de termokarst de glaciares cubiertos o vinculadas a procesos kársticos en las secuencias jurásicas con niveles evaporíticos que contienen principalmente yeso. La presencia de lagunas proglaciares es recurrente en la zona (Fig. 4f).

En este contexto de extensos valles glaciares, se reconocieron distintas clases de depósitos morrénicos clasificados en morrenas laterales, frontales y de fondo (Fig. 5a y b) en base a su relación espacial con el glaciar. En función de sus posiciones espaciales en los valles de la cuenca, se reconocieron morrenas vinculadas a una primera glaciación, posiblemente pleistocena por el grado de erosión de los depósitos, que se encuentran en las zonas más bajas de los valles (inferiores a 2600 m s.n.m.) y morrenas relacionadas a una segunda glaciación, posiblemente holocena cubriendo zonas más altas (por encima de 2600 m s.n.m.). Así, las morrenas más antiguas se observan en tonalidades más claras y se encuentran en muchas ocasiones relicticas y “colgadas” en las zonas altas de los valles (Fig. 5c), mientras que las morrenas más jóvenes presentan tonalidades más oscuras y se encuentran relacionadas a los glaciares actuales en las zonas bajas de

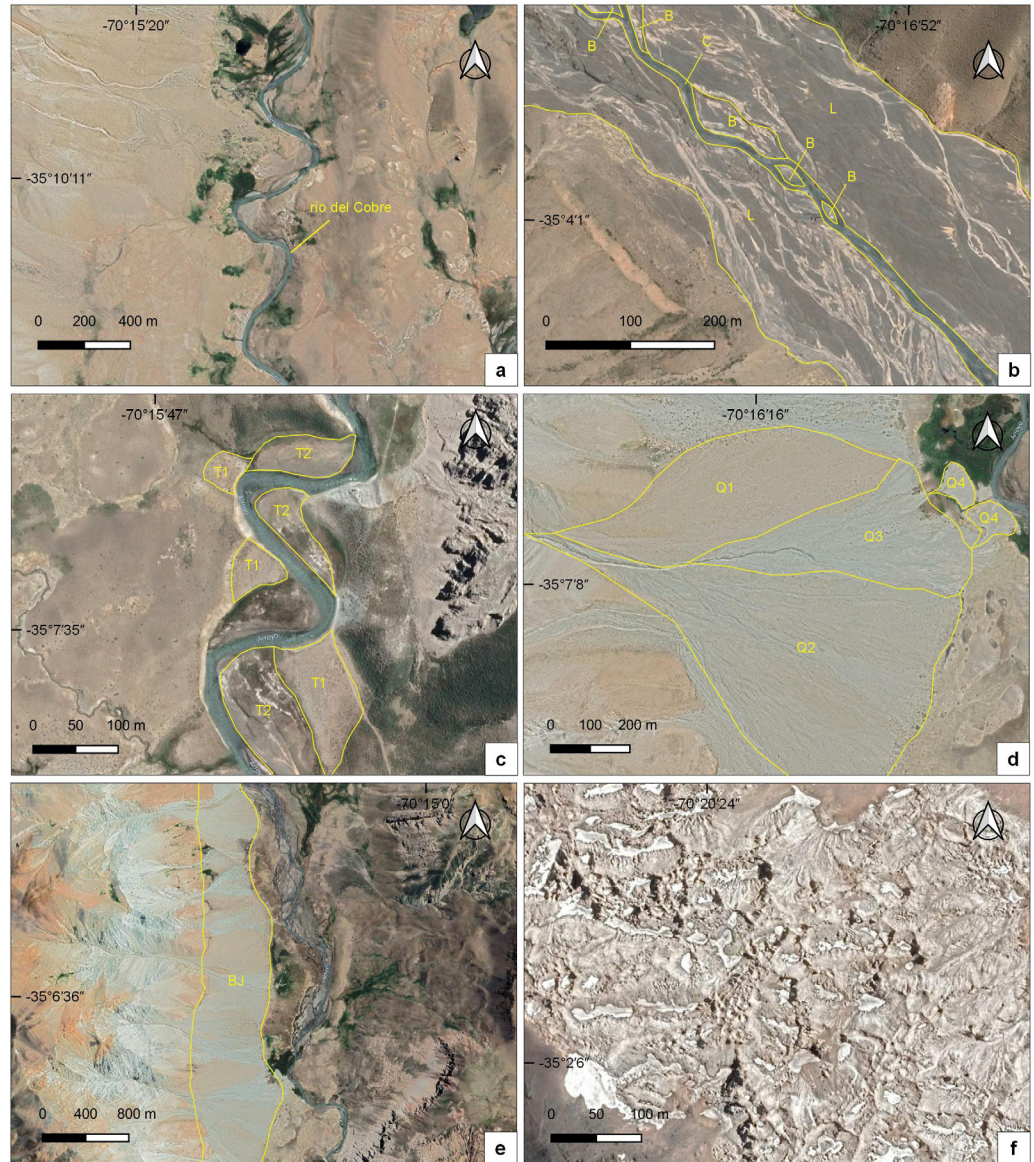


Figura 7. a) Patrón meandriforme del río del Cobre producto de represamientos; b) Cauce principal del río del Cobre con drenaje meandriforme donde C: Cauce fluvial, B: Barras fluviales y L: Llana de inundación; c) Niveles de terrazas fluvio-glaciares T1 y T2; d) Niveles de abanicos Q1, Q2, Q3 y Q4; e) Coalescencia de abanicos formando bajadas aluviales. BJ: Bajada aluvial; f) Dolinas desarrolladas sobre los yesos de la Formación Auquilco.

los valles (Fig. 5d). Estos depósitos, localmente, encierran o represan pequeñas lagunas glaciares (Fig. 5e). Se identificó también material morrénico que no presenta una geometría bien definida, sino más bien que corresponde a sedimentos de till y detritos sueltos, que no permite clasificarlos concretamente como morrenas laterales, frontales o de fondo. Estos depósitos de till se identificaron como material morrénico, tienen una amplia distribución y se encuentran cubriendo las laderas y fondos de los valles de la cuenca (Fig. 5f).

Geoformas periglaciares

La zona periglacial se desarrolla por debajo de los 3000 m s.n.m. asociada principalmente a numerosos glaciares de escombros activos e inactivos que cubren un área total de 1.89 km². En este ambiente los circos glaciares ya no presentan cuerpos de hielo glaciar, en su lugar, presentan pequeños manchones de nieve o pequeñas lagunas alojadas en su fon-

do (Fig. 6a). Los procesos de geliflujión son flujos muy lentos que producen la reptación de los suelos y se reconocen como zonas donde se observa una clara “fluidez” de las laderas, como se puede ver en la figura 6b. Se reconocen también lóbulos de soliflujión, identificados por sus formas lobuladas o de “lenguas” (Fig. 6c). La reptación implica un flujo de todo el suelo según un fenómeno rítmico, estacional o diario, por variaciones húmedo-secas o hielo-deshielo que conllevan a la expansión-retracción del mismo. Dentro de este concepto se incluyen los procesos de soliflujión y geliflujión, que se diferencian según el aporte de agua sea en forma líquida o sólida, que depende a su vez de la altitud (se encuentran por encima de los 2800 m s.n.m.) y la orientación de la ladera (S-SE), entre otras.

Geoformas fluviales

En este ambiente dominado por la acción de las escorren-

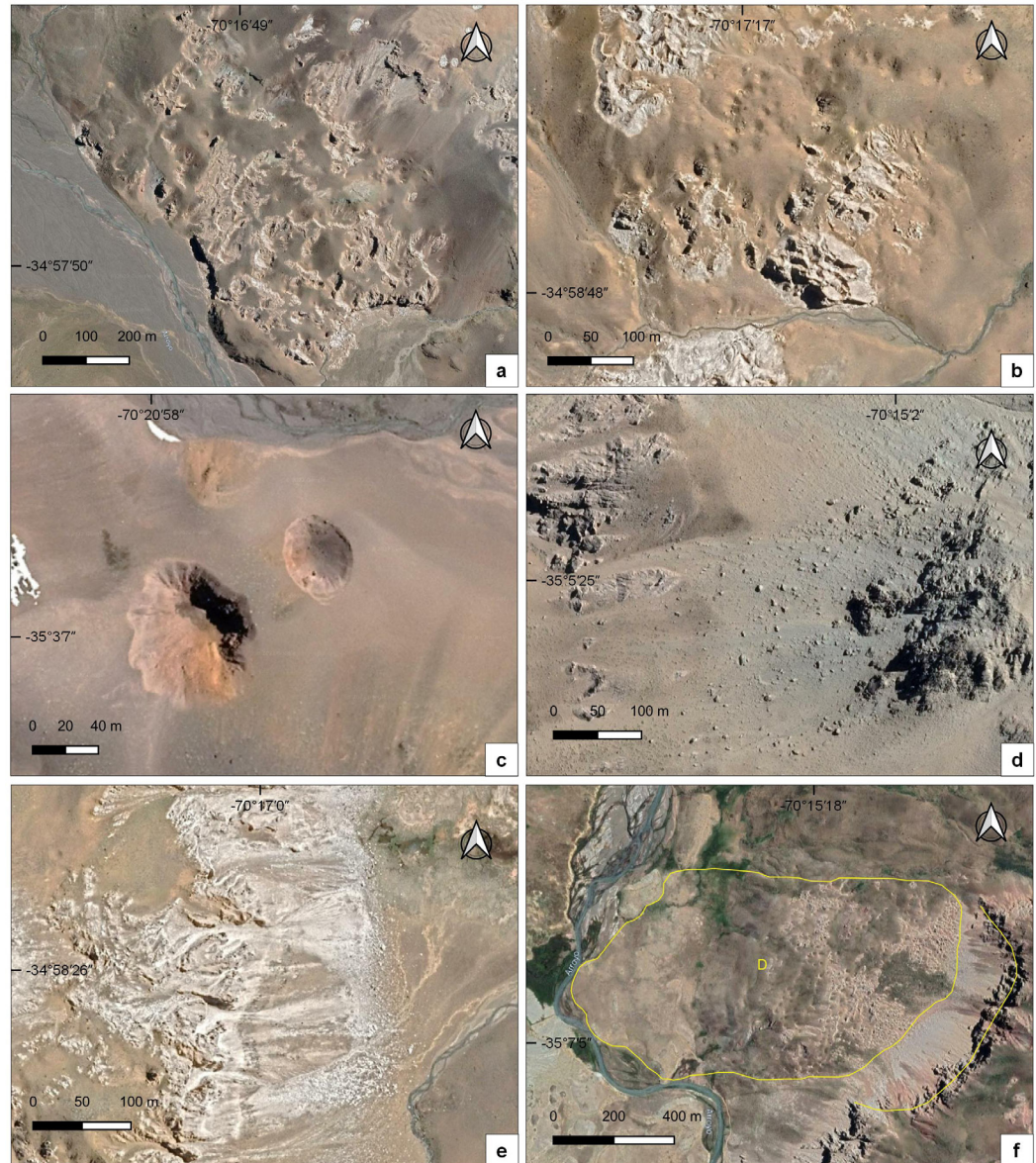


Figura 8. Procesos kársticos observados: a) Dolinas sobre material morrénico y colapso; b) Dolinas desarrolladas sobre material morrénico donde subyacen niveles de yeso; c) Dolinas de gran tamaño; d) Zona de talus; e) Conos de deyección; f) Deslizamiento producto del colapso en yesos involucrando material morrénico.

tías superficiales asociadas a corrientes de agua y el transporte de sedimentos, destacan el río del Cobre y sus afluentes. Este río tiene sus nacientes a más de 3000 m s.n.m., con una alimentación nivo-glacial y posee una dirección noroeste-sureste. Presenta una longitud aproximada de 32 km medido a lo largo de la línea de *Talweg* desde sus nacientes hasta su confluencia con el río Tordillo (Fig. 6d), donde genera un amplio cono aluvial que ha ido migrando de norte a sur en el pasado. El río del Cobre presenta un patrón de drenaje generalmente entrelazado (Fig. 6e), en partes tiene un claro control rectilíneo (Fig. 6f), mientras que en otros segmentos pueden observarse patrones meandriformes (Fig. 7a) en aquellos sectores donde el valle ha sido represado. A lo largo de su recorrido se han reconocido barras transversales, diagonales y centrales típicas de un drenaje entrelazado de fuertes pendientes (Fig. 7b).

El cauce principal del río del Cobre se encuentra drenado por una red intermitente de cursos transitorios que descienden de las montañas circundantes, y presenta un ancho muy variable que va desde unos pocos metros hasta alcanzar poco más de 200 m en algunos sectores. Generalmente, el lecho del río se ensancha en los sectores ubicados aguas arriba de antiguos represamientos naturales relictos. Asociados al sistema fluvial principal se observaron amplias llanuras de inundación con anchos de más de 500 m (Fig. 7b). Estas áreas están sujetas a inundaciones recurrentes que abarcan grandes superficies. En estas planicies se encuentran comúnmente cauces abandonados o paleocauces, evidenciando migraciones de los cursos superficiales durante su evolución a través del tiempo. Litológicamente, se conforman de sedimentos finos arenosos de desborde de ríos.

En el mapa geomorfológico se diferenciaron también te-

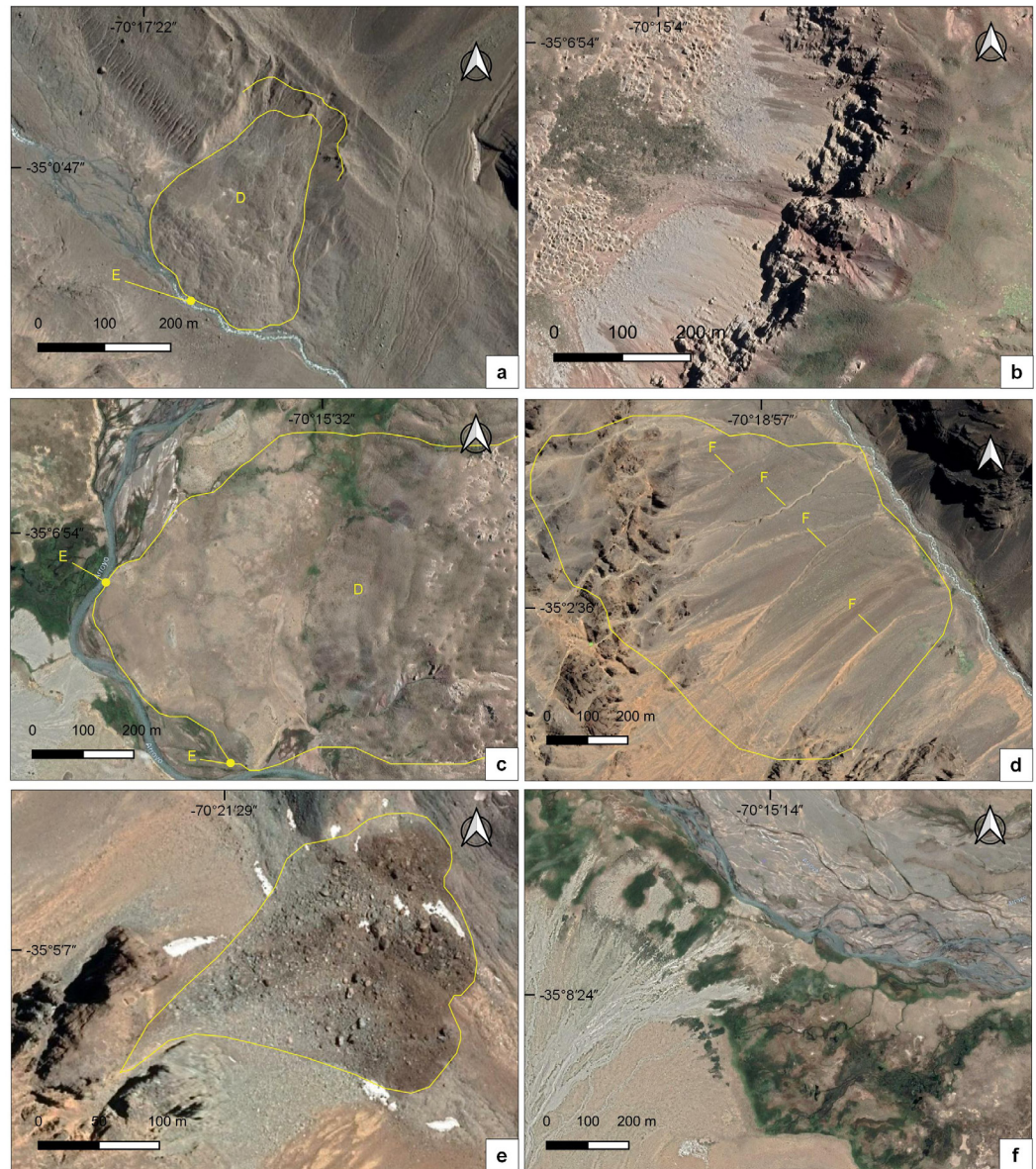


Figura 9. a) Deslizamiento y zona de paleo-represamiento del agua donde D: Deslizamiento, E: Endicamiento o represamiento; b) Cicatriz del deslizamiento; c) Posibles zonas de represamiento del curso del río del Cobre; E. Endicamiento donde D señala un deslizamiento; d) Zona de flujos donde F son las trayectorias activas de flujos de detritos; e) Avalancha de rocas caída sobre un glaciar cubierto de detritos; f) Vegas de altura de gran extensión en la llanura aluvial del río del Cobre.

razas fluvio-glaciares relictas a lo largo del valle del río de Cobre. Presentan una morfología escalonada, con rellenos más o menos potentes y escarpes reducidos. Se han reconocido dos niveles de terrazas fluvio-glaciares, denominadas de más antiguo a más joven de T1 a T2 (Fig. 7c), posiblemente asociados a los dos avances glaciares reconocidos por Espizúa (1988) en la región.

Geoformas aluviales

Los abanicos o conos aluviales se desarrollan en la desembocadura de arroyos y ríos secundarios al salir de los frentes montañosos y alcanzan superficies del orden de metros a kilómetros. Se distinguieron 4 niveles aluviales aterrizados dentro de estos abanicos o conos, diferenciados en superficies Q1, Q2, Q3 y Q4, de más antiguo a más joven, respectivamente (Fig. 7d). Los abanicos Q1 generalmente

presentan tonalidades rosáceas amarillentas oscuras, mientras que a medida que se hacen más jóvenes las tonalidades pasan a ser blancuzcas a grisáceas claras. Las coloraciones oscuras se deben al desarrollo de pátinas de óxidos o barniz de roca relacionados con el tiempo de exposición de las superficies aluviales. En algunos sectores del área, estos conos aluviales se encuentran formando bajadas aluviales por coalescencia de los conos (Fig. 7e).

Geoformas kársticas

El ambiente kárstico está restringido a las zonas donde los procesos de disolución afectan a las rocas sedimentarias químicas evaporíticas. En la cuenca del río del Cobre, las geoformas kársticas se asocian principalmente a la disolución parcial del sustrato yesífero de la Formación Auquilco (Fig. 7f) y rocas carbonáticas de la Formación La Manga. La

disolución genera comúnmente desplome de la cubierta sedimentaria de materiales morrénicos, por lo cual las dolinas son principalmente evidenciadas sobre este tipo de depósitos (Fig. 8a y b). Las geoformas más comunes que se observan en la zona de estudio incluyen dolinas por disolución parcial y paisajes residuales muy erosionados.

En superficie, las dolinas presentan morfologías suavizadas, con pendientes tendidas y profundidad no muy acusada, llegando a alcanzar diámetros de hasta 80 m, como la que se observa en la figura 8c. En muchos casos, estas dolinas favorecen la formación de lagunas cuya persistencia depende del grado de impermeabilización del fondo.

Geoformas asociadas a procesos de remoción en masa

Los valles de origen glacial actualmente abandonados por el hielo, presentan altas pendientes, están dominados por procesos criogénicos y son susceptibles de generar deslizamientos del orden de decenas de kilómetros. Los procesos de remoción en masa son propiciados por altos contenidos de agua en combinación con fuertes pendientes y altitudes elevadas que favorecen la movilización de rocas, detritos y otros materiales. La distribución espacial de los procesos de remoción en masa es cuantiosa, alcanzando 51.30 km² en el área de estudio.

Los taludes abruptos, con fuertes pendientes, son favorables para el desarrollo de caídas de bloques rocosos y detritos. Si bien, los volúmenes movilizados por estos procesos son relativamente pequeños, en el rango de 0.0004 - 0.0695 km³, presentan una amplia distribución en la cuenca (~4.65%). Extensas acumulaciones de fragmentos de roca se observan al pie de las laderas montañosas conformando zonas de sombra al pie de los talus (~3.38%) o conos de deyección (~0.26%) (Fig. 8d). Los volúmenes de bloques acumulados en estos conos son relativamente pequeños (<0.028 km³) (Fig. 8e). Los bloques movilizados en caída libre muestran morfologías angulosas debido a su bajo transporte y la ausencia o muy poca agua involucrada.

Los deslizamientos identificados comprenden grandes volúmenes de tierra y escombros (~0.758 km³) que se han deslizado por una pendiente por acción de la gravedad (Figs. 8f y 9a). La presencia de estos depósitos está asociada muchas veces al ambiente periglacial con procesos de congelamiento-descongelamiento y a pendientes abruptas. El arranque del material de la ladera deslizada genera sectores de desgarré o cicatrices (Fig. 9b).

En los sectores en donde el valle se angosta y donde se han producido grandes deslizamientos es posible distinguir antiguos represamientos de los ríos. Estos paleo-diques natu-

rales son reconocibles a partir de cambios en la dinámica del río, que queda evidenciado por el desarrollo de una amplia planicie aluvial aguas arriba del represamiento producto de la pérdida de energía del flujo y posterior depositación de sedimentos. A su vez, se observan modificaciones en su curso para rodear el obstáculo, alterando su patrón de drenaje (Fig. 9c).

Dentro de los procesos de remoción en masa se reconocieron depósitos y trayectorias erosivas de flujos de detritos en extensas áreas de las laderas de los valles. Estos eventos generalmente están integrados de masas densas fluidificadas por la presencia de agua producto de lluvias o de fusión de nieve. En las áreas afectadas por sucesivos flujos de detritos, donde no pueden diferenciarse los depósitos singulares, se identificaron zonas de flujos de detritos (Fig. 9d).

Las avalanchas de rocas son eventos extraordinarios que involucran movimientos en masa fluidificados que movilizan grandes volúmenes de roca del orden de millones de metros cúbicos (e.g. Avalancha Tigre Dormido, Moreiras et al. 2015; Avalancha el Plata, Moreiras 2020). En estos ambientes son disparados por agua, nieve o hielo, o sismicidad que favorece el deslizamiento ladera abajo forzados por la gravedad. En total se identificaron 12 avalanchas de rocas (Fig. 9e) con geoformas típicas como la presencia de formas lobuladas en superficie y bloques en el tope del depósito que pueden superar los 15 m de ancho. Los volúmenes estimados para estas geoformas en nuestra cuenca alcanzan los 0.009 km³.

Vegas

En el mapa geomorfológico se relevaron también las vegas o humedales altoandinos. El 95% de estos oasis de vegetación se encuentran principalmente en los depósitos morrénicos en zonas bajas de los valles (Fig. 9f). Posiblemente la diversidad de tamaños de clastos de estos depósitos glaciares permite la percolación del agua creando un ambiente húmedo propicio para el desarrollo de la vegetación. Existen también vegas (5%) de menor tamaño, menos identificables, ubicadas por encima de los 2600 m s.n.m. Estos cuerpos o sistemas de humedales están relacionados preferentemente a surgencias de agua freática.

Análisis espacial de los procesos geomorfológicos

La distribución espacial de los procesos geomorfológicos analizados en este estudio se evaluó en función del área o superficie total de cada subcuenca del río del Cobre (km²) (Fig. 10a). El tamaño de estas subcuencas es muy diverso, siendo las subcuencas 1 y 6 las de mayor extensión, con 45.96 km² (21%) y 55.70 km² (26%), respectivamente. Le siguen en

importancia las subcuencas 4 y 2 abarcando el 14% y 11% de la cuenca del río del Cobre, respectivamente. Las demás subcuencas ocupan menos del 10% de la superficie total (Fig. 10b).

En términos de superficie total, la mayor parte de la cuenca del río del Cobre (~43.98%) está afectada por procesos del ambiente glaciar y periglacial (Fig. 11b). Sin embargo, el desarrollo de este ambiente en el presente no es uniforme en todas las cuencas. Siendo justamente las subcuencas con mayores alturas (subcuencas 3, 4, 5 y 6), las que presentan mayor superficie de su cuenca cubierta por cuerpos de hielo o suelo congelado (Fig. 10c). Los cuerpos de hielo actuales representan sólo un 10% de la distribución areal en algunas subcuencas. Ahora bien, cuando se comprara la extensión actual de los glaciares con respecto a la extensión de los depósitos morrénicos relevados en cada subcuenca, se observa claramente que los cuerpos glaciares en el pasado ocuparon una superficie mayor, superando en mayor o menor medida, el 50% del área de todas las subcuencas analizadas. Los glaciares en el pasado no solo tuvieron extensiones más grandes que los glaciares actuales, sino que alcanzaron cotas inferiores (Espizúa 1988, 1993, 1999). Mientras los glaciares actuales cubren 15.23 km² (~7.02%) y se observan sobre los 3000 m s.n.m., los depósitos morrénicos relictos se extendieron hasta cotas inferiores a los 2200 m s.n.m.

Si bien, la extensión de los glaciares en el pasado fue importante en todas las subcuencas que presentan las mayores elevaciones, el porcentaje de superficie cubierta por depósitos morrénicos encontrado para las subcuencas 5 y 6 fue marcadamente menor (Fig 10c). Curiosamente, estas mismas cuencas presentan las mayores áreas afectadas por los procesos de remoción en masa, lo cual podría indicar que la inestabilidad de las laderas limita los registros paleo-climáticos impidiendo la preservación de los depósitos glaciares. De hecho, los procesos de remoción en masa son los eventos más comunes encontrándose ampliamente distribuidos entre los 3200 m s.n.m. y los 2200 m s.n.m. Cubren un área de 51.3 km², ~23.63% de la cuenca total del río del Cobre. Entre ellos, los deslizamientos representan sólo el ~2.12% de la superficie total; mientras, los flujos ocupan el ~9.84% de la superficie total, la reptación (~6.76% de la total) y las caídas (~4.91% de la total). En tanto, las áreas afectadas por los procesos de remoción en masa en algunas subcuencas alcanzan cerca de 40% (Fig. 10c). Los procesos de remoción presentan su mayor desarrollo en litologías friables como las secuencias yesíferas de la Formación Auquilco, y en las volcanitas de la Formación Río Damas. El 50% de los deslizamientos se encuentran asociados a la Formación Auquilco (Fig. 11a). De hecho, las avalanchas de rocas más espectaculares se

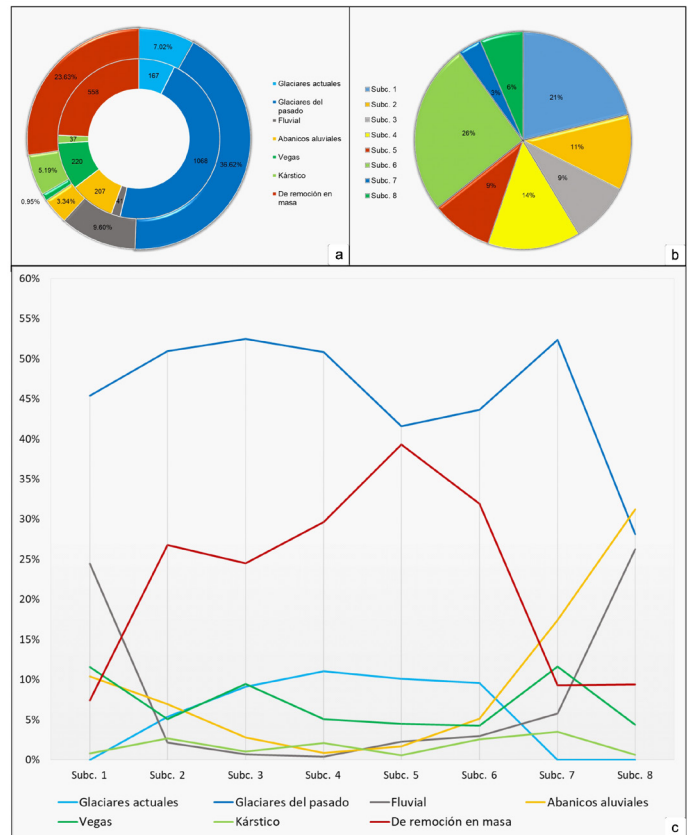


Figura 10. Análisis espacial: a) Distribución de las geoformas en la cuenca del río del Cobre respecto al área total de la cuenca, expresada en porcentajes (aro externo) versus número de geoformas inventariadas (aro interno); b) Superficie ocupada por cada subcuenca, expresado en porcentajes; c) Superficie ocupada por las geoformas en porcentaje para cada subcuenca.

encuentran en estos niveles. En tanto los procesos kársticos representan el ~5.19% (Fig. 11b).

El material disponible de niveles relictos tanto de origen glaciar como de procesos de remoción en masa ha contribuido sustancialmente al desarrollo de conos aluviales. El material friable residente en las distintas subcuencas fue movilizad principalmente por los cauces secundarios, alimentando el valle principal. En cualquier caso, las áreas asociadas a abanicos o conos aluviales son mucho mayor a las áreas relacionadas a cauces o planicies aluviales de los ríos principales. Las geoformas del ambiente fluvial cubren el ~9.84% del área total de la cuenca del río del Cobre, adquiriendo mayor desarrollo areal en las subcuencas de menores alturas como las subcuencas 1 y 8.

En tanto, el mayor porcentaje de área afectada por procesos kársticos se encuentran en las subcuencas 2, 4 y 7 donde existen los mayores afloramientos de los niveles evaporíticos. En tanto, las subcuencas con mayor desarrollo areal de vegas son las subcuencas 3 y 7 (Fig. 10c).

Se interpreta que sólo el 40% de las lagunas identificadas

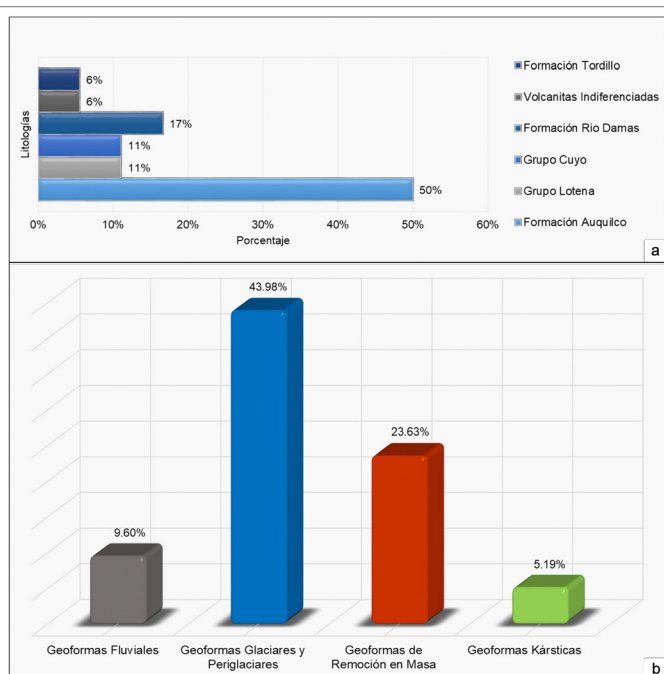


Figura 11. Análisis espacial: a) Ocurrencia de deslizamientos en cada litología definida para la cuenca del río del Cobre; b) Superficie total cubierta por los grandes grupos de geoformas inventariadas en la cuenca del río del Cobre, expresado en porcentajes.

(N = 37) tienen un neto origen proglacial, conformándose luego del retroceso de las masas de hielo glaciar durante el Holoceno. Mientras los distintos niveles de abanicos aluviales serían más antiguos que el Holoceno, según edades relativas.

CONCLUSIONES

La cuenca del río del Cobre constituye un excelente laboratorio natural para analizar un ejemplo de modelado del paisaje en un ambiente de alta montaña dominado por procesos glaciares y periglaciares. Este dominio glaciar modeló el valle del río del Cobre en el pasado, sin embargo son los procesos de remoción en masa los eventos que mayormente han modificado las laderas tras el retroceso de las masas de hielo en el Pleistoceno tardío. De tal manera que los registros paleo-climáticos podrían ser restringidos debido a la falta de preservación de los depósitos glaciares. Dataciones absolutas de los depósitos morrénicos de la cuenca del río del Cobre podrían complementar la investigación y ayudarían a definir de forma más precisa la edad de los avances glaciares definidos en este trabajo.

Los valles glaciares con pendientes abruptas junto a la presencia de litologías propicias, han favorecido el desarrollo de procesos de remoción en masa y colapsos kársticos. El análisis realizado permitió determinar que las litologías más

favorables para el desarrollo de los deslizamientos son las rocas sedimentarias químicas de la Formación Auquilco (50%), las que corresponden a secuencias de yeso; y en menor grado son seguidas por las volcanitas de la Fm Río Damas (17%). Estos procesos han condicionado además la evolución y la dinámica en el pasado del río del Cobre mediante la obstrucción del valle, generando antiguos represamientos. Desde el punto de vista de la peligrosidad se advierte que al menos el 25% de la superficie de la cuenca presenta procesos vinculados a la inestabilidad de laderas ya sea por deslizamientos o colapsos kársticos.

De esta forma, el estudio exhaustivo de las geoformas permite identificar los procesos naturales a fin de ser considerados en futuros estudios de planificación urbanística o construcción de trazas en este sector del sur mendocino. Cuantificar los procesos relacionados a inestabilidad de laderas, apoyando la hipótesis de trabajo planteada, aporta datos esenciales para la gestión territorial de esta región andina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado de la pasantía de grado realizada en el Grupo de Geomorfología y Cuaternario del IA-NIGLA - CCT Mendoza, bajo la supervisión de la Dra. Stella Moreiras y la Mag. Mariana Correas Gonzalez. Agradecer su ayuda y dedicación, así como también sus valiosas correcciones.

REFERENCIAS

- Dramis, F., Guida, D. y Cestari, A. 2011. Nature and Aims of Geomorphological Mapping. *Geomorphological Mapping - Methods and Applications. Developments in Earth Surface Processes* 15: 39-73. Earth Explorer - USGS 2022. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Espizua, L.E. 1993. Quaternary Glaciations in the Rio Mendoza Valley, Argentine Andes *Quaternary Research* 40(2): 150-162.
- Espizua, L.E. 1998. Secuencia Glacial del Pleistoceno Tardío en el valle del Río Grande. Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* 15: 85-99.
- Espizua, L.E. 1999. Chronology of Late Pleistocene glacier advances in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Global and Planetary Change* 22(1-4): 193-200.
- Gobierno de la provincia de Mendoza 2008. Aprovechamiento integral del río Grande – Presa y Central Hidroeléctrica Portezuelo del Viento - Item 3.13 Estudios hidrológicos. Ministerio de Infraestructura, Vivienda y Transporte - Subsecretaría de Obras Públicas. Informe Parcial 1 - Revisión final. Documento n° PV-IT-006.

- Gutiérrez Elorza, M. 2008. Geomorfología. Pearson Educación, S. A. 920 p., Madrid.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1995. Guía de Campo: El Jurásico de la Cuenca Neuquina. B) Provincia de Mendoza. Asociación Geológica Argentina, Serie E 3, 103p., Buenos Aires.
- Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Investigaciones Geológicas (Chile), Boletín 8, 95 p., Santiago.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. y Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15: 259-263.
- IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares 2018. Informe de la subcuenca del río Grande (Sector norte y sur). Cuenca del río Colorado. IANIGLA-CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 83 p.
- IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares 2022. https://www.glaciarsargentinos.gob.ar/?page_id=2571. IGN, 2022. <https://www.ign.gob.ar/cartografia-historica/>.
- Legarreta, L., Gulisano, C.A. y Uliana, M.A. 1993. Las secuencias sedimentarias jurásico-cretácicas. En: Ramos, V.A. (ed.), Geología y Recursos Naturales de Mendoza, 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 87-114, Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la cuenca Neuquina (Triásico superior - Terciario inferior). En: Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Correlación Geológica Serie 6: 221-243, Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1996. The Jurassic succession in west-central Argentina: stratal patterns, sequences and paleogeographic evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 120: 303-330.
- Mescua, J. F. 2011. Evolución estructural de la Cordillera Principal entre Las Choicas y Santa Elena (35°S), provincia de Mendoza, Argentina. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Mikkan, R.A. 2014. Atlas geomorfológico de la Provincia de Mendoza. Tomo II - 1ª ed. – EDIFYL, Mendoza. Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo. 153. Geografía. Investigación. Geomorfología I.
- Moreiras, S.M. 2020. The Plata Rock Avalanche: Deciphering the Occurrence of This Huge Collapse in a Glacial Valley of the Central Andes (33° S). *Frontiers in Earth Science* 8: 267.
- Moreiras, S.M., Hermanns, R.L. y Fauqué, L. 2015. Cosmogenic dating of rock avalanches constraining Quaternary stratigraphy and regional neotectonics in the Argentine Central Andes (32° S). *Quaternary Science Reviews* 112: 45-58.
- Nullo, F. E., Stephens, G., Combina, A., Dimieri, I., Baldauf, P., Bouza, P. y Zanettini, J. C. M. 2005. Hoja Geológica 3569-III / 3572IV, Malargüe, provincia de Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 346, 85 p., Buenos Aires.
- Nullo, F.E., Stephens, G.C., Otamendi, J. y Baldauf, P.E. 2002. El volcanismo del Terciario superior del sur de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(2):119-132.
- Pedraza, J., Carrasco, R.M., Díez, A., Martín, J.F., Martín, A. y Sanz, M.A., 1996. Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda, 414 p., Madrid.
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Jodha, S., Khalsa, S. y Raup, B. 2005. GLIMS Regional Center 'Antarctic Peninsula'. Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual. Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory.
- Riccardi, A.C. e Iglesia Llanos, M.P. 1999. Primer hallazgo de amonites en el Triásico de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54:298-300.
- Riccardi, A., Damborenea, S.E., Manceñido, M.O., Scasso, R., Lanés, S., Iglesia Llanos, M.P. y Stipanovic, P.N. 1997. Primer registro de Triásico marino fosilífero de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52:228-234.
- Robertson, K., Jaramillo, O. y Castiblanco, M., 2013. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá, Colombia.
- Sruoga, P., Etcheverría, M., Cegarra M., Mescua J. y Crosta S, 2016. Hoja Geológica 3569-13, Cerro Risco Plateado. Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 420, 107 p. Buenos Aires.
- Sruoga, P., Etcheverría, M., Folguera, A., Repol, D., Cortés, J.M. y Zanettini, J.C. 2005. Hoja Geológica 3569-I, Volcán Maipo. Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 290, 92 p. Buenos Aires.
- Sruoga, P., Rubinstein, N.A., Etcheverría, M.P., Cegarra, M., Kay, S.M., Singer, B. y Lee, J., 2008. Estadío inicial del arco volcánico neógeno en la Cordillera Principal de Mendoza (35°). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(3):454-469.
- Sruoga, P., Rubinstein, N.A., Etcheverría, M. y Cegarra, M. 2009. Volcanismo neógeno y mineralización asociada, Cordillera Principal, Mendoza (35°S). 12º Congreso Geológico Chileno, Actas en CD, S11-045, 4p.
- Stipanovic, P.N. 1965. El Jurásico en Vega de la Veranada (Neuquén). El Oxfordense y el diastrofismo divesiano (Agassiz-Yaila) en Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20 (4): 403-478.
- Stipanovic, P.N. 1969. El avance en los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 24(4): 367-388.
- Tooth, S. y Viles, H. 2014. 10 reasons why Geomorphology is important. *British Society for Geomorphology*.
- Uliana, M.A. y Biddle, K.T. 1988. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of Southern South America. *Revista Brasileira de Geociencias* 18(2): 172-19.

Viale, M. y Nuñez, M. 2011. Climatology of Winter Orographic Precipitation over the Subtropical Central Andes and Associated Synoptic and Regional Characteristics. *Journal of Hydrometeorology* 12: 481-507.