

CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA AUTOMATIZADA EN TERRAZAS DEL NORESTE DEL MACIZO NORPATAGÓNICO, ARGENTINA

SIBILA A. GENCHI^{*1}, MARÍA E. CARBONE^{1,2}, MARÍA C. PICCOLO^{1,2}, GERARDO M. E. PERILLO^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía, CC 804, CCT-CONICET, B8000FWB Bahía Blanca, Argentina

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, B8000FWB Bahía Blanca, Argentina

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, B8000FWB Bahía Blanca, Argentina

* sgenchi@criba.edu.ar

RESUMEN

Se realizó una clasificación automatizada de las *geoformas* en terrazas del noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina. La clasificación se realizó mediante parametrización del relieve a partir del modelo digital de elevación del proyecto *Shuttle Radar Topography Mission* (NASA), a través del empleo de un Sistema de Información Geográfica. En este estudio se derivaron modelos digitales como el índice de posición topográfica (TPI) y pendiente, que se emplearon como base para la clasificación. Se realizaron sucesivos ajustes en la definición del TPI y de las reglas de clasificación de *geoformas*, apoyados en la supervisión de la cartografía, fotografías aéreas, imágenes satelitales y observaciones en el terreno. De acuerdo con la clasificación propuesta en este estudio, el área está dominada por las *geoformas* pendiente abierta y planicie, que alcanzan el 45 y 33% del área total, respectivamente. Las restantes clases geomorfológicas cubren superficies menores: lomas, cerros y sierras (8%); bajos, valles en V (7,5%); valles en U (3%) y pendiente alta (2,6%).

Palabras clave: Clasificación geomorfológica; modelo digital de elevación; Sistema de Información Geográfica; terrazas

AUTOMATED CLASSIFICATION OF LANDFORMS ON TERRACES OF NORTHEAST PATAGONIAN MASSIF, ARGENTINA

ABSTRACT

We made an automated classification of landforms on terraces of northeast Patagonian Massif, Argentina. Classification of landforms was carried out using parameterization of the relief from the Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model within a geographical information system. Digital models such as topographic position index (TPI) and slope derived from elevation data were employed as a basis for classification. Successive adjustments were made

for TPI and classification rules, which were supervised base on aerial photographs, satellite imagery and survey of land. According to the classification proposed in the present study, the area is dominated by open slope and plain landforms, reaching 45 and 33% of the total area, respectively. The remaining classes occupy smaller areas: ridges, hills and mountains (8%), low, valleys in the form of V (7.5%); valleys in the form of U (3%) and high slope (2.6%).

Key words: Classification of landforms; digital elevation model; geographical information system; terraces

1. Introducción

Una *geoforma* o forma del terreno se define como una porción de la tierra con cualidades de relieve homogéneo y continuo debido a la acción de procesos geológicos y geomorfológicos comunes (Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2005). El conocimiento de las formas del terreno resulta esencial para la modelización e interpretación de variados procesos físicos y biológicos (Blaschke y Strobl, 2003). Numerosos procesos naturales muestran una alta correlación con la posición topográfica (Weiss, 2001). De igual modo, los procesos antropogénicos están significativamente influenciados por patrones geomórficos. En este sentido, la determinación de las *geoformas* constituye una fuente de información primaria para la comprensión integral del paisaje (Verstappen, 1977; Verstappen, 1983; van Zuidam y van Zuidam-Cancelado, 1979; Verstappen y van Zuidam, 1991).

La definición de unidades espaciales geomórficas permite un conocimiento profundo del área objeto de estudio, a la vez que constituye una herramienta válida en la gestión y planificación del espacio (Martínez-Zavala *et al.*, 2005). En la literatura existen diversas aproximaciones a la clasificación de formas del terreno, cuyas metodologías evolucionaron desde simples clasificaciones cualitativas a aquellas basadas en complejos análisis cuantitativos. Las clasificaciones son frecuentemente específicas, por lo que poseen una aplicación restringida (Drăguț y Blaschke, 2006). La ausencia de definiciones estandarizadas de clases se debe a la complejidad de las *geoformas*, resultantes de múltiples interacciones, para su inclusión en los sistemas de clasificación (Evans, 1972).

Las formas del terreno pueden ser descritas y cuantificadas por parametrización del relieve a partir de un modelo digital de elevación (MDE) (Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2005), conformando, este último, el punto de partida en la construcción de diversos modelos digitales (Martínez-Zavala *et al.*, 2005). Durante las últimas dos décadas se incrementó la disponibilidad y precisión de los MDE, a la vez que se desarrollaron algoritmos adicionales para derivar nuevas variables (Burrough *et al.*, 2000). Así, numerosos estudios clasificaron las formas del terreno a partir de un MDE (por ejemplo, Sánchez Serrano *et al.*, 1998; Weiss, 2001; Schmidt y Hewitt, 2003; Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2005; Ardiansyah Prima *et al.*, 2006; Bayona Celis *et al.*, 2006; Drăguț y Blaschke, 2006; Germaine *et al.*, 2006; Tagil y Jenness, 2008; Cuomo y Guida, 2010; Clennon *et al.*, 2010), empleando variables geomorfológicas tales como aspecto, pendiente, curvatura, rugosidad, índice de posición topográfica (TPI), entre otros, ya sea individualmente o combinando dos o más variables. La importancia del TPI, considerado la segunda variable predictiva más importante después de la

elevación (Weiss, 2001), radica en que la topografía en un punto no está definida por la cota sino por la relación de ésta con las próximas (Conejo Muñoz *et al.*, 1992). El TPI es altamente dependiente de la escala espacial (Weiss, 2001) y de la complejidad topográfica. Por ejemplo, Weiss (2001) consideró el empleo del TPI a dos escalas espaciales de 500 y 2.000 m., aplicado para un sector de alto relieve relativo en Oregon (EE.UU.), mientras que Tagil y Jenness (2008) utilizaron el TPI a escalas de 50 y 450 m., para un zona cuya altura media es de unos 380 m., en la región de Mármara (Turquía).

La integración de las variables del terreno en aplicaciones con potencial analítico desde la perspectiva espacial, tal como un Sistema de Información Geográfica (SIG), permite obtener resultados objetivos y automatizados. Una clasificación automatizada posee la ventaja de aplicarse a una escala espacial menor, obteniendo resultados válidos y precisos con suficiente rapidez (Guzzetti y Reichenbach, 1994). Asimismo, la clasificación automatizada permite obtener resultados comparables a los realizados mediante métodos tradicionales (Martínez-Zavala *et al.*, 2005).

En el área estudiada, localizada en un ambiente de terrazas, existen escasos antecedentes geomorfológicos, destacándose el trabajo realizado por González Díaz y Malagnino (1984), quienes elaboraron un mapa de unidades geomórficas diferenciado de la provincia de Río Negro a escala 1:1.000.000. En dicho estudio definieron el área como un paisaje tabular o *mesetiforme* en el que intervinieron una variedad de procesos, con marcado predominio fluvial. A escala regional, también se presentan los trabajos relativos a la cartografía geológica que exhiben un contenido consistente de asociaciones geológico-geomorfológicas (por ejemplo, Weber, 1983; Busteros *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2001). El objetivo principal de este trabajo es realizar una clasificación geomorfológica automatizada en el NE del Macizo Norpatagónico, orientada a precisar cuantitativamente los antecedentes geomorfológicos en la región. En este estudio se presenta una metodología para la clasificación jerárquica de las formas del terreno, adaptada a la región de estudio, mediante el empleo de un SIG a partir de un MDE.

2. Área de estudio

El área de estudio, de aproximadamente 31.000 km², se localiza en el SE de la provincia de Río Negro, Argentina. El área comprende los núcleos urbanos de Sierra Grande, Las Grutas y Playas Doradas, ubicados estos últimos sobre el borde occidental del Golfo San Matías ([figura 1](#)). Climáticamente, el área se ubica en una región templada semiárida con influencia de las masas de aire marítimas del Atlántico. Las precipitaciones son de carácter pluvial, decrecientes en sentido NE-SO, con valores medios anuales que oscilan entre 260 y 180 mm.

En el esquema geomorfológico regional, el área se sitúa en el NE de una extensa morfoestructura denominada Macizo Norpatagónico que ocupa la porción septentrional de la región Patagónica extraandina ([figura 1](#)). La pendiente general es suave, con orientación Oeste-Este. El área posee bajo relieve relativo, con un valor medio de 535 m. La presencia de una seriación planicie-escarpe otorga al conjunto una fisonomía aterrazada. La región conforma un sistema hidrogeológico de planicies con importante infiltración (Genchi *et al.*, 2010), disecada por una red de drenaje predominantemente efímera a intermitente. Estos sistemas fluviales corresponden,

principalmente, a las cuencas con vertiente atlántica (SSRH-INA, 2002) y, en menor medida, a cuencas de carácter endorreico.

Las características actuales del relieve están vinculadas a la evolución geológica del área. Los procesos geológicos y agentes externos dieron origen a numerosas unidades litoestratigráficas en la porción oriental del Macizo Norpatagónico ([figura 2](#)). En el sector austral y, en menor medida, en el noroccidental del área estudiada, la secuencia estratigráfica se integra con rocas del basamento cristalino pobremente expuesto, que se cubre con depósitos marinos silúrico-devónicos ([figura 2](#)). Posteriormente, la actividad eruptiva originó diversas asociaciones plutónicas, seguido por asociaciones plutónico-volcánicas, finalizando con asociaciones esencialmente volcánicas (Llambías *et al.*, 1984) ([figura 2](#)). En la evolución tectónica de este sustrato rocoso precenozoico se reconocieron diferentes estilos de deformación (Busteros *et al.*, 1998), asociados a la tectónica compresiva, transcurrente y extensional. En el resto del área se hallan depósitos sedimentarios y basaltos dispuestos en posición horizontal o subhorizontal, dominados por la tectónica epirogénica. Estratigráficamente, se ubican sedimentitas marinas que comienzan al final del Cretácico, aflorantes a lo largo de la costa, que se cubren por los basaltos olivínicos oligocenos de la formación Somuncurá, ubicados en la meseta homónima, y por las areniscas marinas asignables al Oligoceno-Mioceno ([figura 2](#)). El Terciario Superior se encuentra representado por unidades de agradación y por depósitos clásticos sobre pedimentos (Busteros *et al.*, 1998), a los que le suceden depósitos holocénicos de gran difusión espacial y origen variado (coluvial, aluvial y eólico) ([figura 2](#)).

3. Método de trabajo

3.1. Datos altimétricos

Debido a las limitaciones en la información altimétrica sobre gran parte del área de estudio, se emplearon datos de elevación digital procedentes del proyecto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que cubren el 80% de la superficie terrestre, llevado a cabo en el año 2000 a través de *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Los datos, disponibles en estructuras raster matriciales, son de distribución gratuita por la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU. Los datos altimétricos se ajustaron a la proyección Gauss Krueger-Argentina faja 3 y sistema de referencia WGS84.

El modelo de elevación SRTM posee una resolución espacial de 90 m. Se realizó un preprocesamiento de la rejilla original mediante interpolación numérica (método bilineal), capaz de mejorar y reducir objetos indeseables (Valeriano y Abdon, 2007). De este modo, el tamaño de celda original se ajustó a 30 m. ([figura 3](#)). Para ello se empleó la extensión *Grid transformation tools* (ESRI, 1998) en el SIG *ArcView* v. 3.3.

Los datos procedentes del SRTM exhiben una significativa sensibilidad a la estructura vertical de la vegetación (Kellndorfer *et al.*, 2004). Desde el punto de vista biogeográfico, el área se caracteriza por una estepa de baja cobertura y varios estratos. Los estratos más frecuentes son los bajos y medios, cuyas alturas alcanzan 0,5 y 1,5 m., respectivamente (León *et al.*, 1998). La especie

dominante es *Larrea divaricata*, arbusto ramificado perennifolio con altura inferior a 1,5 m. y copa cuyo volumen medio es de unos 0,12 m³. El índice diferencial de vegetación normalizado medio estacional para la región, de acuerdo con Paruelo *et al.* (1998), se estimó en -0,025 (invierno) y 0,075 (primavera). De este modo, la cobertura vegetal que caracteriza al área implica una mayor precisión en la elevación del terreno, de gran relevancia en regiones de bajo relieve relativo.

3.2. Procesamiento del MDE

Un MDE conforma el punto de partida en la construcción de variados modelos digitales derivados. El procesamiento se basa en el desplazamiento sobre un MDE, en formato de rejilla, de una ventana de área y forma específica que opera una función matemática con referencia a una celda central, cuyo resultado es asignado a dicha celda central. El área o tamaño de vecindad se define por el número de celdas ortogonalmente adyacentes a la celda central. Las formas de la ventana anular y circular suelen ser las más idóneas (Jenness, 2006).

El TPI compara la elevación de cada celda en un MDE con un valor promedio de elevación de un área específica adyacente a dicha celda (Weiss, 2001). Para el cálculo del TPI ([figura 4](#) y [figura 5](#)), cuya forma seleccionada es un círculo, se empleó la fórmula que expresa:

$$TPI_{fe} = \bar{E}_a - E_{cc}$$

donde TPI_{fe} es el índice de posición topográfico para un determinado factor de escala (tamaño de vecindad), con radios del círculo establecidos en 350 y 700, expresados en unidades métricas (m.); \bar{E}_a es la elevación media del área (m.) y E_{cc} es la elevación de la celda central (m.). El TPI calculado con dos tamaños de vecindad, provee mayor información sobre las formas generales del terreno y, de este modo, pueden identificarse patrones más complejos por combinación de rejillas generadas a distintas escalas (Tagil y Jenness, 2008).

Los valores de TPI positivos indican áreas o regiones que son más altas que sus inmediaciones (por ejemplo, lomas, serranías), mientras que los valores negativos representan áreas más bajas que sus espacios circundantes (por ejemplo, valles, bajos) (Weiss, 2001). Los valores próximos a 0 señalan áreas planas, donde el valor de la pendiente es también cercano a 0, o bien áreas de pendiente constante, aunque con valores de pendiente significativamente mayor a 0.

La pendiente del terreno conforma un modelo derivado del MDE ampliamente empleado en el campo de la geomorfología (por ejemplo, Irigaray Fernández *et al.*, 1997; Schröder y Schmidt, 2000; Julián Andrés y Chueca Cía, 2005; Jiménez Olivencia y Moreno Sánchez, 2007). La pendiente, definida como la tasa de cambio de cada celda respecto de sus vecinas, se calculó en grados mediante un método típico basado en ventanas de 3x3 celdas, mediante el empleo de la extensión *Spatial Analysis* en el SIG ArcView v. 3.3 ([figura 6](#)). Para la descripción de la pendiente se utilizó la clasificación de CEOTMA (1984): 0°-5° (llana o suave), 5°-10° (moderada), 10°-15° (bastante fuerte), 15°-25° (fuerte) y >25° (muy fuerte).

3.3. Clasificación de las formas del terreno y validación

La clasificación geomorfológica ([figura 7](#)) se llevó a cabo a partir del cálculo del TPI y la pendiente. Se empleó la extensión *Topographic Position Index (TPI)* v. 1.3ª, desarrollada por Jenness (2006) en el SIG *ArcView* 3.3. Las rejillas del TPI (unidades métricas) se estandarizaron mediante la fórmula (Jenness, 2006):

$$TPI_{ue} = \frac{(G_o - \bar{G})}{G_s}$$

donde TPI_{ue} es el índice de posición topográfica en unidades estandarizadas; G_o es la rejilla original; \bar{G} es la rejilla promedio y G_s la desviación estándar. En este estudio, de acuerdo a las características topográficas, geológicas e hidrográficas, se seleccionaron seis clases básicas de formas del terreno: bajos, valles en V; valles en U; planicie; pendiente abierta; pendiente alta; lomas, cerros, sierras. Para ello se definieron los parámetros de TPI y pendiente para cada clase, que se sintetizan en la [tabla 1](#). Aquellas formas del terreno positivas (lomas, cerros, sierras) se localizan rodeando la cima, mientras que las negativas (bajos, valles en V; valles en U) rodean las depresiones y cauces. En la transición entre éstas se ubican las clases que describen la inclinación del terreno (planicie; pendiente abierta; pendiente alta), las cuales describen la dificultad relativa de la superficie topográfica.

Los métodos de clasificación automatizada de las formas del terreno pueden ser agrupados en clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Ardiansyah Prima *et al.*, 2006). En este trabajo se aplicó el primer grupo, que requiere de un conocimiento previo del área estudiada. Se supervisaron los resultados de la clasificación automatizada mediante observaciones efectuadas en el terreno (levantamiento de puntos mediante GPS), fuentes cartográficas (hoja topográfica 39j San Antonio Oeste a escala 1:100.000; cartas topográficas hojas 4166-II San Antonio Oeste y 4166-IV Sierra Grande a escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar y cartas geológicas San Antonio Oeste, Sierra Grande y Cona Niyeu a escala 1:250.000 del Servicio Geológico Minero Argentino), fotogramas verticales, pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional, a escala 1:80.000 e imágenes satelitales Landsat 7 ETM+, proporcionadas por la CONAE, que cubren la totalidad del área estudiada.

La toponimia existente en el material cartográfico del área estudiada se basa principalmente en términos de carácter descriptivo (Coseriu, 1985) y primario, es decir, referidos a los rasgos geomorfológicos (Trapero, 1999). En este sentido, los términos aluden a *geoformas* positivas (por ejemplo, lomas, cerros, sierras) y negativas (por ejemplo, aguada, salina, laguna). No obstante, estos términos carecen de sus características intrínsecas, tales como el tamaño relativo (por ejemplo, grande o pequeño) o dificultad relativa (por ejemplo, abrupto o suave) (Conejo Muñoz *et al.*, 1992). La cartografía temática constituye una fuente de información complementaria para la identificación de las formas del terreno. Un claro ejemplo de ello lo constituye la carta geológica, en respuesta a las marcadas asociaciones geológico-geomorfológicas.

La técnica de visualización topográfica tridimensional permite discernir con claridad las *geoformas* positivas de las negativas, así como también diversos aspectos morfológicos. Para

obtener resultados óptimos de visualización se precisaron parámetros tales como el factor de escala vertical, con un aumento de 10 y la luminosidad con un azimut de 0° y una elevación de 45°. En la [figura 8](#) se observa la comparación entre la imagen raster tridimensional (vista en perspectiva), construida sobre el MDE a partir de un fotomosaico a escala 1:80.000 ([figura 8a](#)) e imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ ([figura 8b](#) y [figura 8c](#)), y el mapa de clases de formas del terreno resultante (vista de planta), con la toponimia correspondiente, para tres sectores representativos del área de estudio.

4. Resultados y discusión

La metodología utilizada para derivar las formas del terreno en este estudio se basa en una combinación de dos variables geomorfométricas (TPI y pendiente) a partir de un MDE. A su vez, el TPI, considerado una de las variables del relieve más importantes, posee un componente crítico en el análisis geomórfico, expresado por el factor de escala. A partir de la supervisión basada en antecedentes, se determinó que las escalas o tamaños de vecindad de 350 y 700 m. resultaron los más idóneos para la identificación de patrones geomorfológicos menores y mayores, respectivamente ([figura 4](#), [figura 5](#) y [figura 7](#)), a diferencia de los propuestos por Weiss (2001) y Tagil y Jenness (2008). El TPI a ambas escalas posee un valor medio de 0, correspondiente a ambientes planos. Los valores extremos de TPI calculados oscilan entre -53,5 y 94,8, para la escala local (350 m.), y entre -77,4 y 139,8 para la restante escala ([figura 4](#) y [figura 5](#)).

La región de estudio presenta una seriación morfológica planicie-escarpe dispuesta en tres niveles, que descienden en sentido O-E. El área está dominada por una pendiente regional suave, cuyo valor medio es 1,8°. La pendiente se caracteriza por ser fuerte a muy fuerte en los bordes estructurales del paisaje geomorfológico ([figura 6](#)). Así, el escarpe del primer nivel, localizado en el borde de la meseta de Somuncurá, señala los valores más elevados de pendiente, que superan los 30°, mientras que el segundo nivel muestra un escarpe menos anguloso, con valores que oscilan entre 5 y 15° ([figura 6](#)). El tercer escarpe está ubicado en el sector septentrional del área de estudio, sobre la zona costera, conformado por acantilados y paleoacantilados marinos.

En términos generales, el área presenta un relieve estructural cuyas formas del relieve están fundamentalmente asociadas a la disposición tectónica y la litología. El arroyo Salado divide un área predominantemente sedimentaria, al N, de un área con predominio de roca volcánica, al S, condición que determina un paisaje geomorfológico, estructural y fluvial diferenciado en la región estudiada. El mapa de clasificación geomorfológica obtenido a escala regional permitió identificar formas básicas del terreno y rasgos geomorfológicos de significativa singularidad ([figura 7](#)). De acuerdo con la clasificación propuesta en este estudio, el área está dominada por las clases pendiente abierta y planicie, que alcanzan el 45 y 33% del área total, respectivamente ([figura 7](#) y [figura 9](#)). El alto porcentaje que ocupa la pendiente abierta radica en que el área es disecada por una relativamente densa red de drenaje. Las restantes clases geomorfológicas cubren superficies menores: lomas, cerros y sierras (8%); bajos, valles en V (7,5%); valles en U (3%) y pendiente alta (2,6%).

En el mapa geomorfológico regional ([figura 7](#)) se distinguen tres grandes niveles de aterrazamiento en sentido O-E, que se asocian a las unidades geomórficas establecidas por González Díaz y Malagnino (1984):

- Nivel de aterrazamiento I: Planicie estructural lávica
- Nivel de aterrazamiento II: Peniplanicie exhumada; abanicos aluviales; antigua planicie aluvial
- Nivel de aterrazamiento III: Pedimento de flanco

4.1. Nivel de aterrazamiento I: planicie estructural lávica

La planicie estructural lávica denominada Meseta de Somuncurá constituye un extenso ambiente volcánico de, aproximadamente, 25.000 km² (Salani *et al.*, 2006), conformando el afloramiento volcánico de mayor superficie en la Patagonia extraandina. El área de estudio abarca el extremo NE de la meseta, cubriendo una superficie aproximada de 10.400 km². La planicie exhibe una forma perimetral irregular, en respuesta a los flujos basálticos dispuestos en horizontes o niveles mantiformes de la formación Somuncurá. El diastrofismo fue esencialmente epirogénico, debido a que los sedimentos mantuvieron su posición horizontal, elevando la unidad a altiplanicie.

Sobre la planicie estructural, caracterizada por una pendiente media suave (2°), dominan las clases pendiente abierta (45,9%) y planicie (35,5%) ([tabla 2](#)). Los principales rasgos topográficos están representados por bajos (usualmente cráteres) y aparatos volcánicos. Estos últimos, localizados principalmente en el SE de la meseta, se incluyen en la clase de formas del terreno positivas (lomas, cerros, sierras), que abarca el 7,6% del área total del nivel ([tabla 2](#)). Estas *geoformas*, correspondientes a la formación Curriqueo ([figura 2](#)), muestran en planta una morfología predominantemente circular ([figura 7](#)). De acuerdo a la descripción de González Díaz y Malagnino (1984), los aparatos poseen, en general, una forma tronco-cónica. Entre estas elevaciones (por ejemplo, Alta Sierra de Somuncurá) se encuentran los máximos valores de TPI (TPI₃₅₀: 94,8; TPI₇₀₀: 139,8) correspondiente a la totalidad del área de estudio ([tabla 2](#)). Asimismo, el máximo valor de pendiente de la región estudiada (48,6°) se ubica en este conjunto de *geoformas* positivas. Este nivel de aterrazamiento presenta los valores de desvío estándar de TPI y pendiente más altos ([tabla 3](#)), lo que indica una mayor diversidad topográfica.

En el área en cuestión, la altiplanicie es fuertemente disecada por redes de drenaje que pertenecen a la clase bajos, valles en V (6,8%) ([tabla 2](#)). Estas redes de drenaje corresponden a las cabeceras de las cuencas de mayor importancia a escala regional. Son sistemas fluviales de régimen intermitente que, en parte, vierten sus aguas al Atlántico (por ejemplo, arroyos Los Berros, de la Ventana, Verde), mientras que en otros casos descargan en bajos y lagunas intermitentes (arroyos Pailemán, El Tembrao, Valcheta, etc.) ([figura 7](#)). En el espacio transicional entre los niveles I y II se detectan depósitos cuaternarios (Remesal *et al.*, 2002) tales como acumulaciones aluviales, que rellenan bajos y valles y depósitos de remoción en masa, resultantes del proceso de retracción ocurrido en la ladera de la Meseta de Somuncurá.

4.2. Nivel de aterrazamiento II: peniplanicie exhumada; abanicos aluviales; antigua planicie aluvial

En este nivel de aterrazamiento se presentan tres superficies topográficas bien diferenciadas, que fueron definidas por Díaz y Malagnino (1984) como peniplanicie exhumada, abanicos aluviales y una antigua planicie aluvial ([figura 7](#)). Al igual que en el nivel I, predominan las clases pendiente abierta (44,8%) y planicie (32,1%) ([tabla 2](#)), las cuales poseen diferente grado de asociación con las superficies topográficas mencionadas ([figura 7](#), [tabla 4](#)). La pendiente media es suave (1,9°), con un máximo de 33,9° correspondiente a la ladera oriental de la Sierra Pailemán ([figura 6](#), [tabla 3](#)). La amplitud entre los valores extremos del TPI es ligeramente más atenuada que la encontrada en el nivel I, con excepción del valor mínimo de TPI₃₅₀ ([tabla 3](#)).

La porción austral y extremo NO del área estudiada corresponde a la peniplanicie exhumada, de gran desarrollo espacial. Dicho área exhibe un escaso relieve relativo y significativa rugosidad ([figura 7](#) y [figura 10b](#)), a través de numerosas y relativamente bajas elevaciones (lomas, cerros y sierras). Sobre este ambiente de gran rugosidad existe un marcado predominio de la clase pendiente abierta (49,2%) ([tabla 4](#)). Las elevaciones oscilan entre 50 y 200 m. de altitud, dispuestas en forma saltuaria y, en ocasiones, agrupadas formando cordones ([figura 7](#)). Estas *geoformas* positivas concentran el 68,6% de las lomas, cerros y sierras presentes en el nivel ([tabla 2](#) y [tabla 4](#)). Son formas resistentes, resultantes de procesos de erosión diferencial (González Díaz y Malagnino, 1984) que labraron las vulcanitas jurásicas ubicadas al S del arroyo Salado y los granitoides y metamorfitas al NO del área de estudio ([figura 2](#)). La tectónica de bloques regional, durante el Cenozoico, condujo a la disección fluvial y denudación del relieve (Busteros *et al.*, 1998) que peneplanizó el conjunto de unidades existentes. La peniplanicie finaliza en el sector costero, en la porción austral del área estudiada, aunque sepultada en un tramo al S del arroyo Salado por una cubierta sedimentaria ([figura 7](#)). Próximo a la zona costera, en Punta Sierra, se presentan elevaciones de 120 a 180 m. y líneas de fallamiento que sobresalen de una planicie sedimentaria circundante ([figura 7](#)). Son cuarcitas dispuestas en arcos de la formación Sierra Grande que responden a una tectónica compresiva de cobertura.

Se identificaron abanicos aluviales con variadas orientaciones del SO, O y NO y apertura hacia el sector costero ([figura 7](#)). Estos abanicos, a diferencia de la peniplanicie exhumada, conforman una planicie (77%) ([figura 7](#), [tabla 4](#)). Los abanicos de mayor superficie poseen un tamaño aproximado de 400 y 900 km², mientras que los de menor tamaño, localizados en el extremo SE del área, alcanzan unos 80 y 200 km². Se trata de depósitos de piedemonte que se asocian a episodios agradacionales. Están constituidos por sedimentos gruesos provenientes, en general, del complejo volcánico Marifil (Busteros *et al.*, 1998). Describen un diseño de drenaje distributivo y muestran una incisión moderada a fuerte en la porción distal ([figura 7](#)). El espesor del abanico con mayor superficie se estimó en 60 m. (Weber, 1983).

La antigua planicie aluvial, ubicada en la porción NE del mapa, está incluida principalmente en la clase planicie (78,2%) ([tabla 4](#)). Muestra un patrón de incisión, acompañado por un levantamiento relativo en respuesta al equilibrio isostático. La planicie es disecada por bajos menores que alternan con numerosos cordones de bajas elevaciones dispuestos en forma paralela con orientación NO-SE ([figura 7](#) y [figura 10a](#)). La antigua planicie pertenece a la unidad Rodados

Patagónicos, constituida por depósitos de conglomerados, cuyos procesos más importantes en su distribución son, posiblemente, pedimentación y remoción en masa (Fidalgo y Riggi, 1970).

4.3. Nivel de aterrazamiento III: pedimento de flanco

El pedimento de flanco se extiende longitudinalmente sobre el borde continental, desde el extremo NE del mapa hasta las proximidades de Punta Sierra ([figura 7](#)). Dicho pedimento posee un nivel de base local constituido por una depresión. Este nivel se encuentra cubierto por depósitos holocénicos, derivados de la antigua planicie aluvial. En el pedimento están presentes las clases pendiente abierta (41,5%) y planicie (38,3%), donde esta última adquiere mayor importancia relativa con respecto a los niveles I y II. La pendiente media es suave (1,4°), ligeramente inferior que en los niveles I y II ([tabla 3](#)). La amplitud entre los valores extremos de TPI es significativamente inferior a los encontrados en los restantes niveles ([tabla 3](#)). Los máximos valores de TPI y pendiente se ubican en el cerro El Fuerte.

Se presenta una importante red hidrográfica efímera e influente, probablemente heredada de condiciones paleoclimáticas ([figura 7](#)). La apariencia de este drenaje señala la conservación de sus propiedades, en particular, la densidad de drenaje. Dicho drenaje concentra gran parte de las clases bajas, valles en V y valles en U que, en conjunto, abarcan el 10,6% del área ([tabla 2](#)).

El pedimento exhibe una orientación NO-SE en su tramo septentrional, mientras que al S posee un rumbo SO-NE ([figura 6](#)). Esta diferente orientación se asocia a la subclasificación realizada por González Díaz y Malagnino (1984) en convergente y litoral, respectivamente. Sobre el primero, en el extremo NE del mapa, se observa una gran cuenca, denominada Bajo San Antonio, ([figura 7](#)) que pertenece a la categoría de bajos mayores o *wannen* propuesta por González Díaz y Malagnino (1984). En el tramo austral, próximo a la línea de costa, se localiza un rasgo geomórfico singular, constituido por un cerro testigo de 120 m. de altura, El Fuerte, que muestra una forma de mesa con orientación NO-SE ([figura 7](#)).

Este nivel de aterrazamiento finaliza en un escarpe morfológico, representado por acantilados y, en menor medida, por paleoacantilados marinos, ambos labrados en rocas sedimentarias. La línea de paleoacantilados se continúa hacia el interior del continente en un tramo de aproximadamente 30 km. ([figura 7](#)). Al pie de estas *geoformas* escarpadas se localiza la plataforma de abrasión marina actual y elevada o antigua. La plataforma actual constituye un nivel de aterrazamiento marino que posee gran extensión longitudinal a lo largo de la costa estudiada. Las paleoformas mencionadas son el resultado de fluctuaciones eustáticas durante el Holoceno (6.500 y 7.000 años AP), cuya transgresión marina máxima habría alcanzado entre 12 m. (Codignotto *et al.*, 1993) y 15 m. de altura (Marcomini, 1996).

5. Conclusiones

Los sistemas de clasificación son considerados representaciones simplificadas de la realidad que favorecen la comprensión del espacio geográfico. La geomorfometría provee una descripción

cuantitativa de las formas del terreno de gran utilidad en los sistemas de clasificación automatizados. La clasificación geomorfológica plasmada en un mapa a escala regional se realizó en base al TPI y la pendiente, derivados del MDE, los cuales se sometieron a continuos ajustes en la definición de las reglas de clasificación de las *geoformas*. Los valores medios de pendiente ($1,8^\circ$) y TPI (0) que caracterizan al área se reflejan en las *geoformas* dominantes detectadas (pendiente abierta y planicie), que ocupan el 78% del área total. El paisaje geomorfológico se dispone en niveles de aterramiento que comienza en una altiplanicie (Meseta de Somuncurá) y finaliza en un pedimento de muy bajo relieve local. La particularidad morfológica del área está determinada por la diversidad de sustratos geológicos específicos, que responden a un origen diferente, característica que evidencia las distintas formas del terreno y los procesos morfológicos asociados. Los procesos modeladores del paisaje más importantes corresponden, probablemente, a la pedimentación y remoción en masa.

La información procedente de las observaciones y mediciones en el terreno, así como la cartografía topográfica del área estudiada a través de las curvas de nivel, los puntos acotados y, en particular, la toponimia que refleja las formas del relieve, permitieron validar las clases de formas del terreno resultantes con significativa rigurosidad. Las fotografías aéreas e imágenes satelitales Landsat 7 ETM+, si bien no poseen datos altimétricos, el tratamiento y visualización (tridimensional) adecuada, aportaron información cualitativa complementaria de importancia en la detección de las *geoformas*. Asimismo, la cartografía temática, en especial las cartas geológicas, contribuyeron a testear los resultados obtenidos a través de sus relaciones geológico-geomorfológicas. Estos resultados contribuyen a enriquecer los antecedentes geomorfológicos en la región, los cuales fueron llevados a cabo mediante métodos de interpretación cualitativos o visuales. La metodología propuesta, de carácter automatizado, posibilita su aplicación en áreas con similares características topográficas, de bajo relieve relativo. No obstante, el empleo de un MDE con mayor resolución horizontal permitirá la detección de *geoformas* con mayor detalle y precisión.

Agradecimientos

Este trabajo es financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y la Universidad Nacional del Sur.

Referencias bibliográficas

- Ardiansyah Prima, O.D.; Echigo, A.; Yokoyama, R. y Yoshida, T. (2006): "Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps", *Geomorphology*, 78, pp. 373-386.
- Bayona Celis, A.; Rivera Sánchez, E.; Valtierra, J.G.; Martínez Reséndiz, W.E. y Montoya Martínez, A. (2006): *Caracterización de los ecosistemas, cambios en el uso del suelo y unidades paisajísticas en la reserva de la biósfera "Sierra Gorda" de Querétaro*. Reporte Técnico, Tomo XII, Llata Gómez, R. coord., Conciteq, México. [Consulta: 15-11-2010]. Disponible en: <http://www.concyteq.edu.mx/PDF/TOMO%20XII.pdf>

- Blaschke, T. y Strobl, J. (2003): "Defining landscape units through integrated morphometric characteristics", en Buhmann, E.; Ervin, S. (Eds.): *Landscape Modeling: Digital Techniques for Landscape Architecture*. Wichmann-Verlag, Heidelberg, pp. 104-113.
- Bolongaro-Crevenna, A.; Torres-Rodríguez, V.; Sorani, V.; Frame, D. y Ortiz, M.A. (2005): "Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico", *Geomorphology*, 67, pp. 407-422.
- Burrough, P.A.; van Gaans, P.F. y MacMillan, R.A. (2000): "Highresolution landform classification using fuzzy k-means", *Fuzzy Sets Syst.*, 113, pp. 37-52.
- Busteros, A.; Giacosa, R.; Lema, H. y Zubia, M. (1998): *Descripción de la Hoja Geológica Hoja 4166-IV- Sierra Grande, Provincia de Río Negro*. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- CEOTMA (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Serie Manuales, n° 3, Segunda edición, MOPU.
- Clennon, J.A.; Kamanga, A.; Musapa, M; Shiff, C. y Glass, G.E. (2010): "Identifying malaria vector breeding habitats with remote sensing data and terrain-based landscape indices in Zambia", *International Journal of Health Geographics*, 9, pp.1-13. , [Consulta: 20-11-2010]. Disponible en: <http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/58>
- Codignotto, J.O.; Kokot, R. y Marcomini, S.C. (1993): "Desplazamientos verticales y horizontales de la costa argentina en el Holoceno", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48, pp. 125-132.
- Conejo Muñoz, R.; Morales Bueno, R.; Pérez de la Cruz, J.L. y Urbano Montero, J.A. (1992): "Conjuntos difusos y reconocimiento de rasgos del terreno". II Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, Madrid.
- Coseriu, E. (1985): "La creación metafórica del lenguaje" en *El hombre y su lenguaje*. Madrid, Gredos, pp. 66-102.
- Cuomo, A. y Guida, D. (2010): "Orographic barriers GIS-based definition of the Campania-Lucanian Apennine Range (Southern Italy)", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, [Consulta: 20-11-2010]. Disponible en: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-5846.pdf>
- Drăguț, L. y Blaschke, T. (2006): "Automated classification of landform elements using object-based image analysis", *Geomorphology*, 81, pp. 330-344.
- ESRI (1998). Disponible en: <http://arcscripits.esri.com>
- Evans, I.S. (1972): "General geomorphology, derivatives of altitude and descriptive statistics", en Chorley, R.J. (Ed.): *Spatial Analysis in Geomorphology*. Harper and Row, NY, pp. 17-90.
- Fidalgo, F. y Riggi, J.C. (1970): "Consideraciones geomórficas y sedimentológicas sobre los rodados patagónicos", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 25, pp. 430-443.
- Franchi, M; Remesal, M. y Ardolino, A. (1998): *Hoja Geológica Hoja 4166-III- Cona Niyeu, Provincia de Río Negro*. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Genchi, S.A.; Carbone, M.E.; Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E. (2010): "Déficit hídrico en San Antonio Oeste, Argentina", *Revista de Climatología*, 10, pp. 29-43.
- Germaine, M.A.; Puissant, A.; Lespez, L. y Ballouche, A. (2006): "Analyse spatiale et typologie des petites vallées bas-normandes", *SAGEO'2006*, France, pp. 1-12. [Consulta: 20-11-2010]. Disponible en: http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/27/83/60/PDF/SAGEO06_Germaine_et_al.pdf

- González Díaz, E.F. y Malagnino, E.C. (1984): "Geomorfología", en Ramos, V.A. (ed.): *Geología y recursos naturales de la Provincia de Río Negro*. Relatorio del IX Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, pp. 347-364.
- Guzzetti, F. y Reichenbach, P. (1994): "Toward the definition of topographic divisions for Italy", *Geomorphology*, 11, pp. 57-75.
- Irigaray Fernández, C.; Fernández del Castillo, T. y Chacón Montero, J. (1997): "Aplicación de un sistema de información geográfica al análisis del medio físico en el sector de Rute (Córdoba)", *Cuaternario y Geomorfología*, 11, pp. 99-112.
- Jenness, J. (2006): *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a*. Jenness Enterprises. [Consulta: 15-10-2010]. Disponible en: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
- Jiménez Olivencia, Y. y Moreno Sánchez, J.J. (2007): "Los SIG en el análisis del paisaje. El caso del río Guadix (Parque Nacional de sierra Nevada)", *Cuadernos Geográficos*, 39, pp. 103-123.
- Julián Andrés, A. y Chueca Cía, J. (2005): "Modelización de la distribución del permafrost en la Sierra de Telera (Pirineo central español) a partir del empleo de Sistemas de Información Geográfica", *Rev. C. & G.*, 20, pp. 25-46.
- Kellndorfer, J.; Walker, W.; Pierce, L.; Dobson, C.; Fites, J.A.; Hunsaker, C.; Vona, J. y Clutter, M. (2004): "Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets", *Remote Sensing of Environment*, 93, pp. 339-358.
- León, R.J.C.; Bran, D.; Collantes, M.; Paruelo, J.M. y Soriano, A. (1998): "Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina", *Ecología Austral*, 8, pp. 125-144.
- Llambías, E.J.; Caminos, R. y Rapela, W. (1984): "Las plutonitas y vulcanitas del ciclo eruptivo gondwánico", en Ramos, V.A. (Ed.): *Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro*. Relatorio del IX Congreso Geológico Argentino, Asociación Geológica Argentina, pp. 85-119.
- Marcomini, S.C. (1996): *Evolución costera durante el Cuaternario del Norte de la Provincia de Santa Cruz*. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas de tomos I a VI, Buenos Aires.
- Martínez, H.; Nández, C.; Lizuain, A.; Dal Molin, C.; Turel, A.; Dalponte, M. y Faroux, A. (2001): *Descripción de la Hoja Geológica 4166-II-San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro*. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Martínez-Zavala, L.; Jordán, A.; Anaya, M.; Gómez, I. y Bellinfante, N. (2005): "Clasificación automática de elementos geomorfológicos en la cuenca del río tepalcatepec (México) a partir de un modelo digital de elevaciones", *Rev. C&G*, 19, pp.3-4. [Consulta: 25-11-2010]. Disponible en: http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol19_3_4/Cuaternario%2019%283-4%29%2803%29Lorena.pdf
- Paruelo, J.M.; Jobbágy, E.G. y Sala, O.E. (1998): "Biozones of Patagonia (Argentina)", *Ecología Austral*, 8, pp. 145-153.
- Remesal, M.B.; Mendez, M.J. y Gagliardo, M.L. (2002): "Petrología de la secuencia volcánica cenozoica en el área del arroyo Ranquil Huao: Meseta de Somún Curá. Patagonia Extraandina", *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 57, [Consulta: 25-11-2010], pp. 260-270. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222002000300005&lng=es&nrm=iso. ISSN 1851-8249
- Salani, F.M.; Remesal M.B.; Cerrado, M.E.; Franchi, M. y Ardolino, A.A. (2006): *Contribution to the age of the somún curá post-plateau events. Extra andean argentinean Patagonia*. V South

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

American Symposium on Isotope Geology, Punta Del Este. [Consulta: 20-11-2010]. Disponible en: <http://www.vssagi.com/igcp478/AbstractsVSSAGI/425.pdf>

Sánchez Serrano, F.; Tejero López, R. y Bergamín de la Vina, J.F. (1998): "Análisis de la variabilidad del relieve a partir de modelos digitales del terreno", *Rev. Soc. Geol. España*, 11, pp., 139-149.

Schmidt, J. y Hewitt, A. (2003): "Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position", *Geoderma*, 121 pp. 243-256.

Schröder, H. y Schmidt, D. (2000): "Morfología climática y morfogénesis del Volcán Llullaillaco (Chile/Argentina)", *Revista de Geografía Norte Grande*, 27, pp. 69-92.

SSRH-INA (2002): *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación-Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, CD-Rom.

Tagil, S. y Jenness, J. (2008): "GIS-based automated Landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey", *Journal of Applied Sciences*, 8, pp. 910-921.

Trapero, M. (1995): *Para una teoría lingüística de la toponimia (Estudios de toponimia canaria)*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Valeriano, M.M. y Abdon, M.M. (2007): "Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal, RBC", *Revista Brasileira de Cartografia*, 59, pp. 63-71.

van Zuidam, R. y van Zuidam-Cancelado, F.I. (1979): *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs*. ITC Books VII-6; Enschede; The Netherlands.

Verstappen, H.T. y van Zuidam, R.A. (1991): *The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards*. ITC Publication.

Verstappen, H.T (1977): *Remote Sensing in Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam.

Verstappen, H.T. (1983): *Applied Geomorphology: Geomorphological survey for environmental development*. Elsevier, The Netherlands.

Weber, E.I. (1983): *Descripción geológica de la Hoja 40j, Cerro El fuerte, Provincia de Río Negro*. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires.

Weiss, A. (2001): *Topographic Position and Landforms Analysis*. ESRI User Conference San Diego, CA.

TABLAS

Tabla 1. Parámetros del TPI y la pendiente para la elaboración de la clasificación geomorfológica

Criterio	Clase	TPI Radio Menor [Unid. est.]	TPI Radio Mayor [Unid. est.]	Pendiente [°]
1	Bajos, valles en V	≤ 1	< 1	S/D
2	Valles en U	>-1 y <1	≤ -1	S/D
3	Planicie	>-1 y <1	>-1 y <1	<1
4	Pendiente abierta	>-1 y <1	>-1 y <1	>1
5	Pendiente Alta	>-1 y <1	≥ 1	S/D
6	Lomas, cerros, sierras	≥ 1	>-1	S/D

Fuente: Elaboración propia. [S/D: Sin dato]

Tabla 2. Porcentaje de las clases de formas del terreno para los distintos niveles de aterrazamiento

Clase	Nivel I		Nivel II		Nivel III	
	Superficie [km ²]	%	Superficie [km ²]	%	Superficie [km ²]	%
Bajos, valles en V	710,8	6,8	1.612,9	8,0	62,2	7,3
Valles en U	95,6	0,9	842,4	4,2	28,2	3,3
Planicie	3.690,1	35,5	6.492,8	32,1	326,4	38,3
Pendiente abierta	4.777,2	45,9	9.071,2	44,8	353,6	41,5
Pendiente alta	337,6	3,2	486,5	2,4	13,9	1,6
Lomas, cerros, sierras	790,2	7,6	1.729,3	8,5	67,7	8,0
Total	10.401,5	100	20.235,0	100	852,0	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Estadística aplicada al TPI y la pendiente para los distintos niveles de aterrazamiento

Nivel de terraza	Variable	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Desvío estándar
Nivel I	TPI ₃₅₀ [m.]	94,8	-52,9	0,18	±3,8
	TPI ₇₀₀ [m.]	139,8	-77,4	0,6	±7
	Pendiente [°]	48,6	0	1,98	±2,5
Nivel II	TPI ₃₅₀ [m.]	80,1	-53,5	-0,07	±3
	TPI ₇₀₀ [m.]	113,1	-60	-0,27	±5,7
	Pendiente [°]	33,9	0	1,9	±1,9
Nivel III	TPI ₃₅₀ [m.]	44	-26,5	-0,03	±2
	TPI ₇₀₀ [m.]	63,7	-29,2	-0,13	±3,6
	Pendiente [°]	34	0	1,4	±1,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Porcentaje de las clases de formas del terreno para las distintas superficies topográficas del nivel de aterrazamiento II

Clase	peniplanicie exhumada		antigua planicie aluvial		abanicos aluviales	
	Superficie [km ²]	%	Superficie [km ²]	%	Superficie [km ²]	%
Bajos, valles en V	1.582,1	9,1	5,3	0,4	24,4	1,6
Valles en U	834,5	4,8	1,3	0,1	10,7	0,7
Planicie	4.276,9	24,6	1.038,1	78,2	1.172,7	77
Pendiente abierta	8.553,8	49,2	240,3	18,1	271,1	17,8
Pendiente alta	469,4	2,7	11,9	0,9	12,1	0,8
Lomas, cerros, sierras	1.669	9,6	30,5	2,3	32	2,1
Total	17.385,8	100	1.327,5	100	1.523	100

Fuente: Elaboración propia.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

FIGURAS

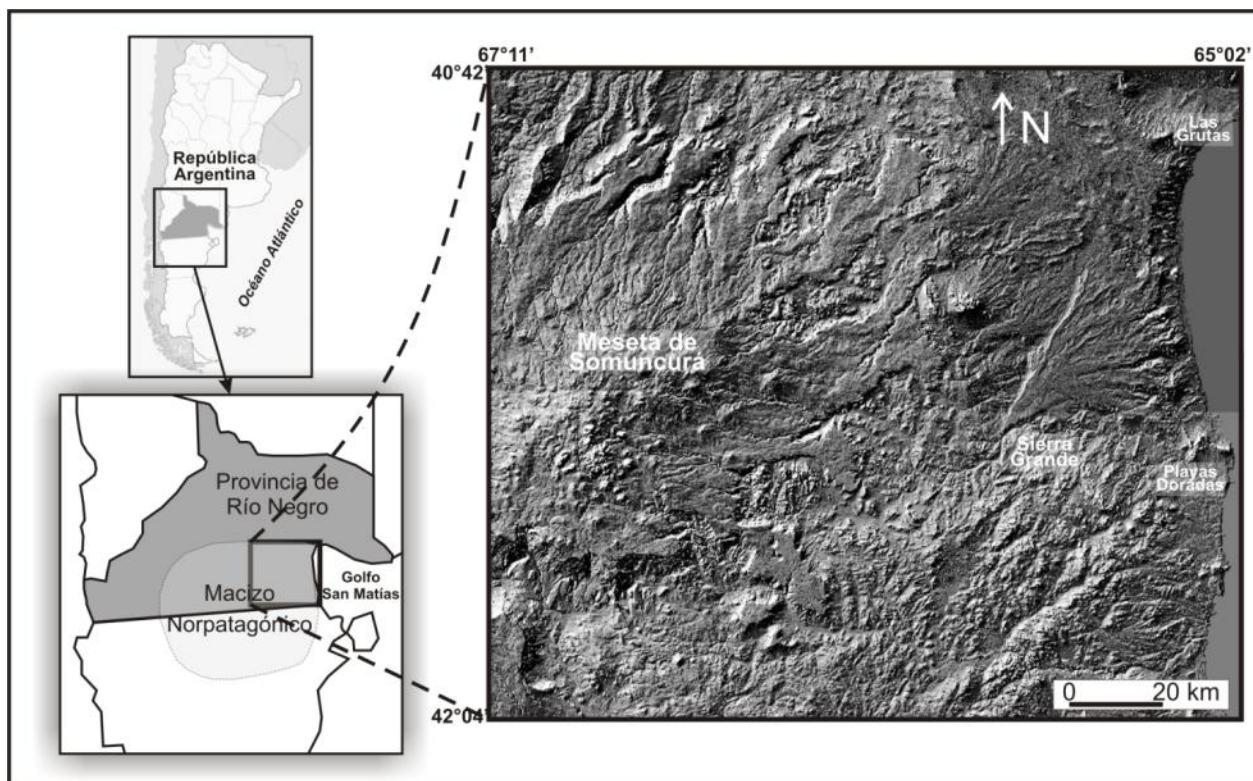


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

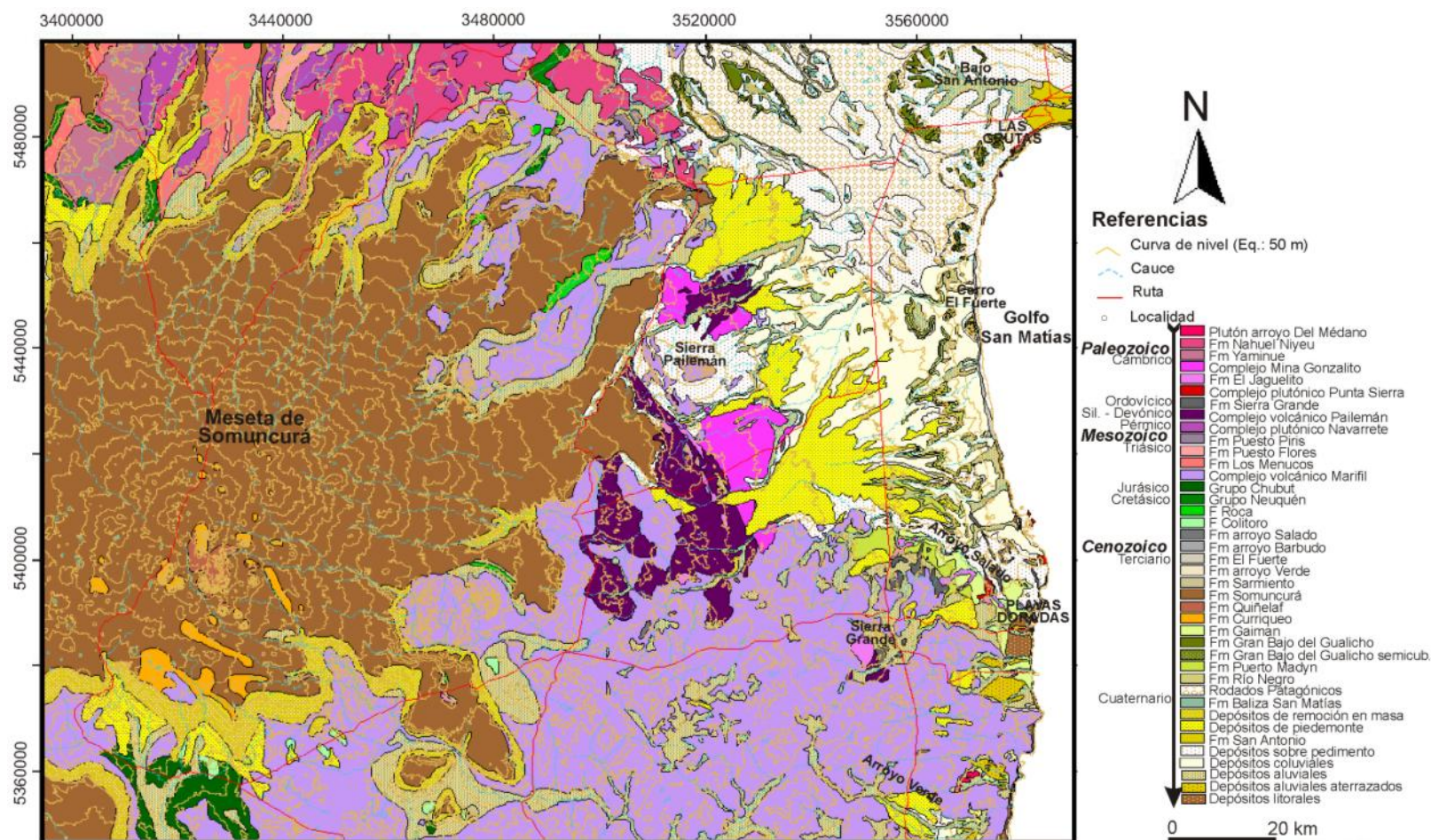


Figura 2. Unidades geológicas simplificado de Franchi *et al.* (1998), Busteros *et al.* (1998) y Martínez *et al.* (2001).

Fuente: Elaboración propia.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

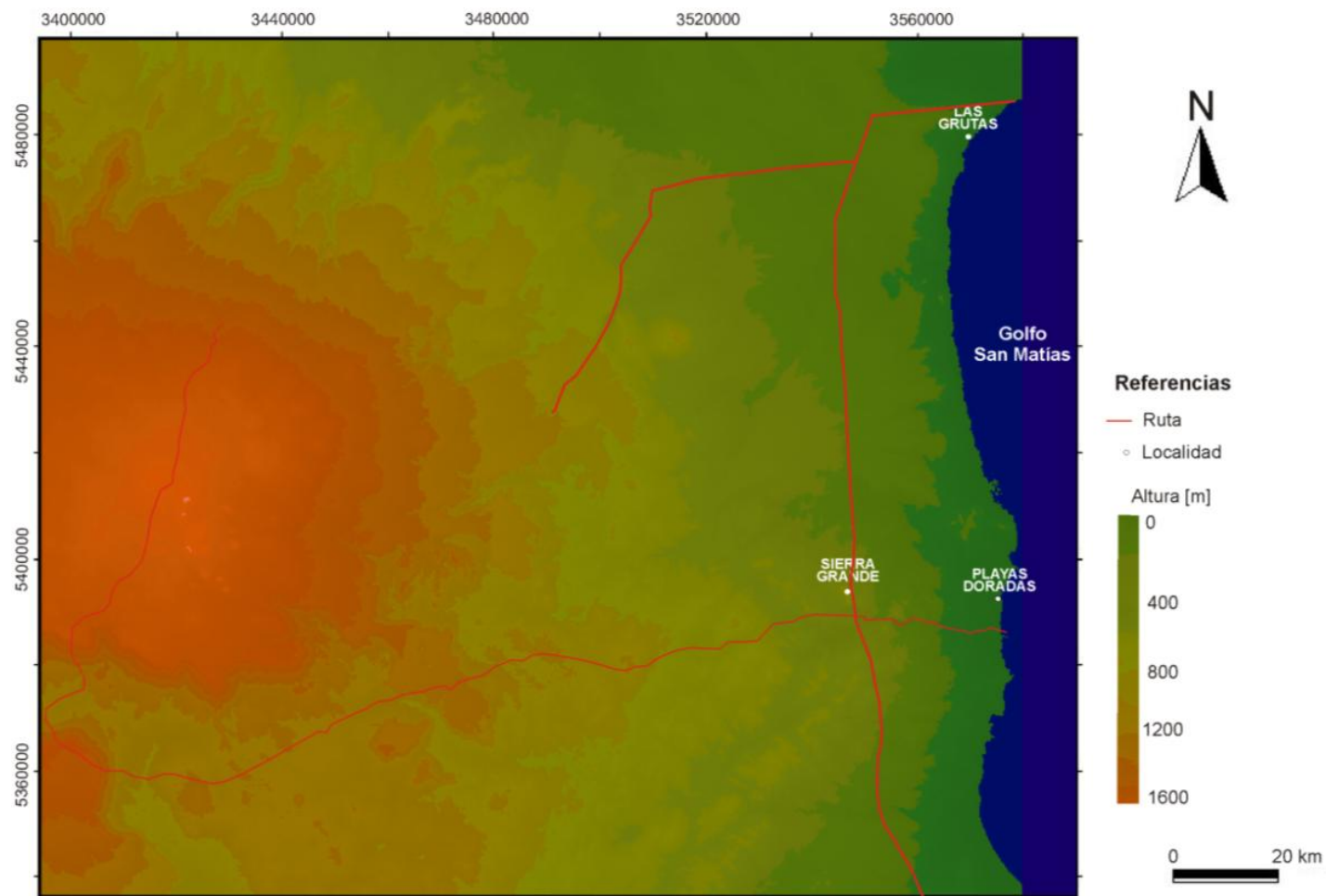


Figura 3. MDE (SRTM) remuestreado a 30 m. de resolución horizontal en el NE del Macizo Norpatagónico.

Fuente: Elaboración propia sobre datos SRTM.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157



Figura 4. Mapa de TPI a 350 m. de escala en el NE del Macizo Norpatagónico.

Fuente: Elaboración propia.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

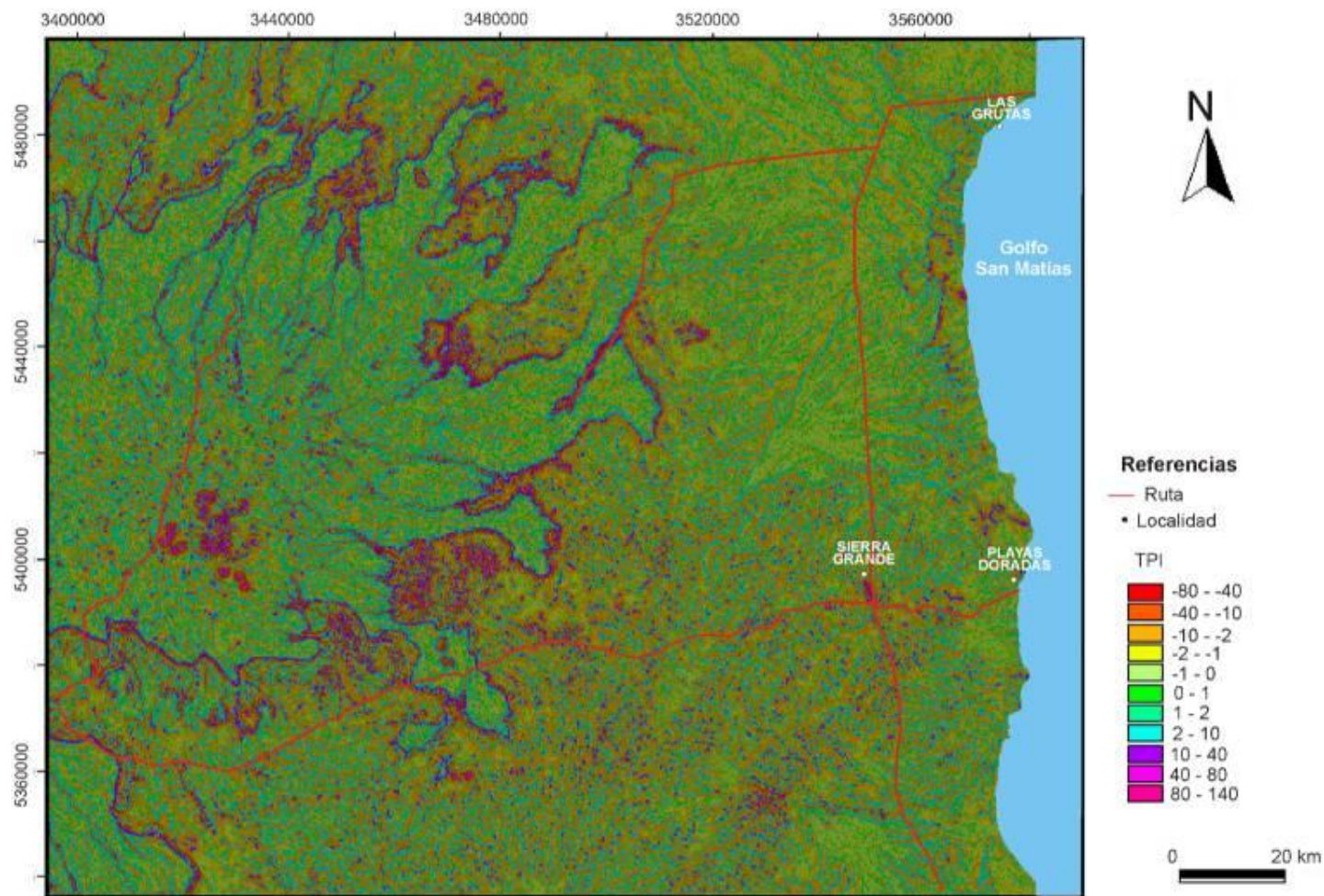


Figura 5. Mapa de TPI a 700 m. de escala en el NE del Macizo Norpatagónico.

Fuente: Elaboración propia.

© Los autores
www.geo-focus.org

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

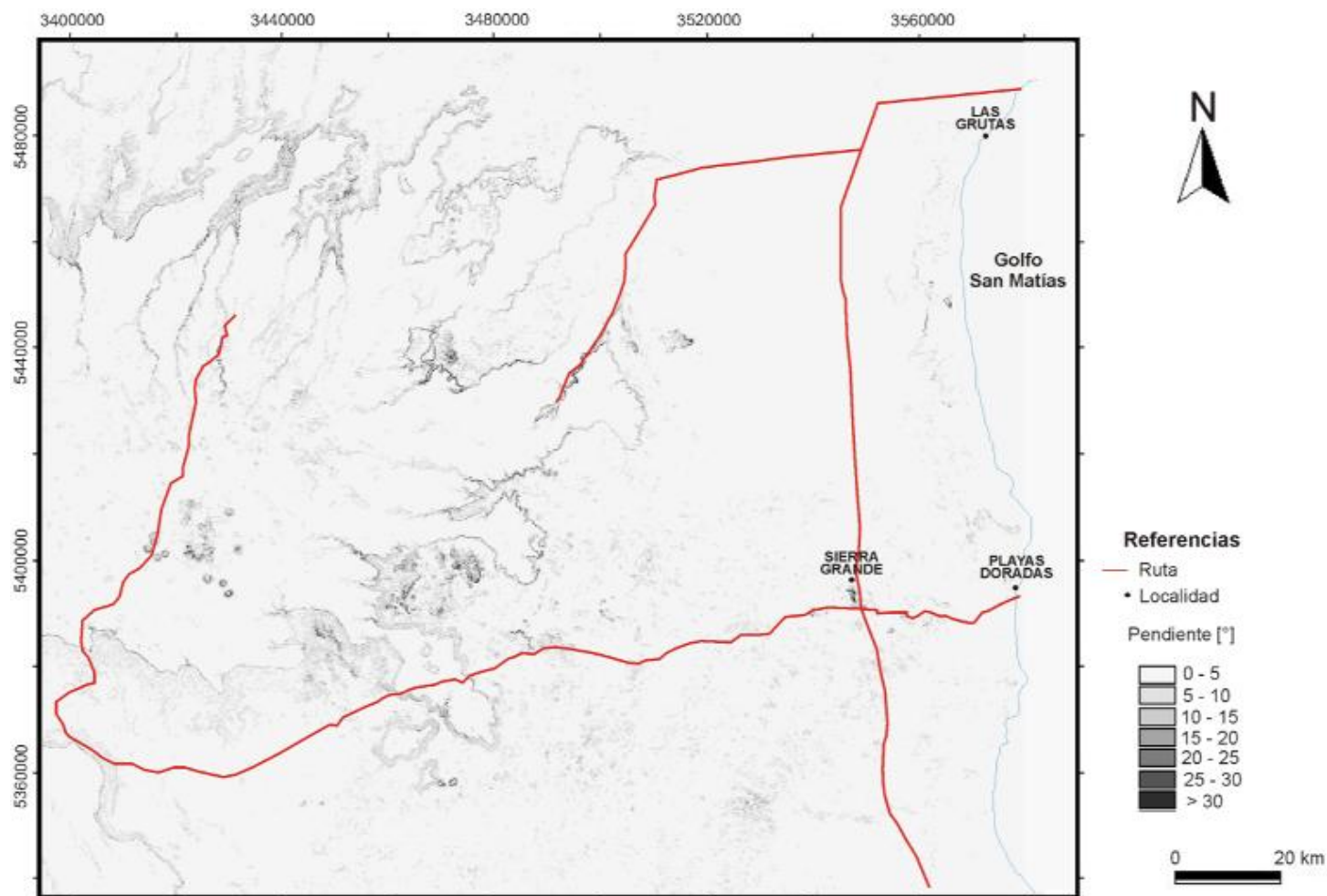


Figura 6. Mapa de pendiente (en grados) en el NE del Macizo Norpatagónico.

Fuente: Elaboración propia.

© Los autores
www.geo-focus.org

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

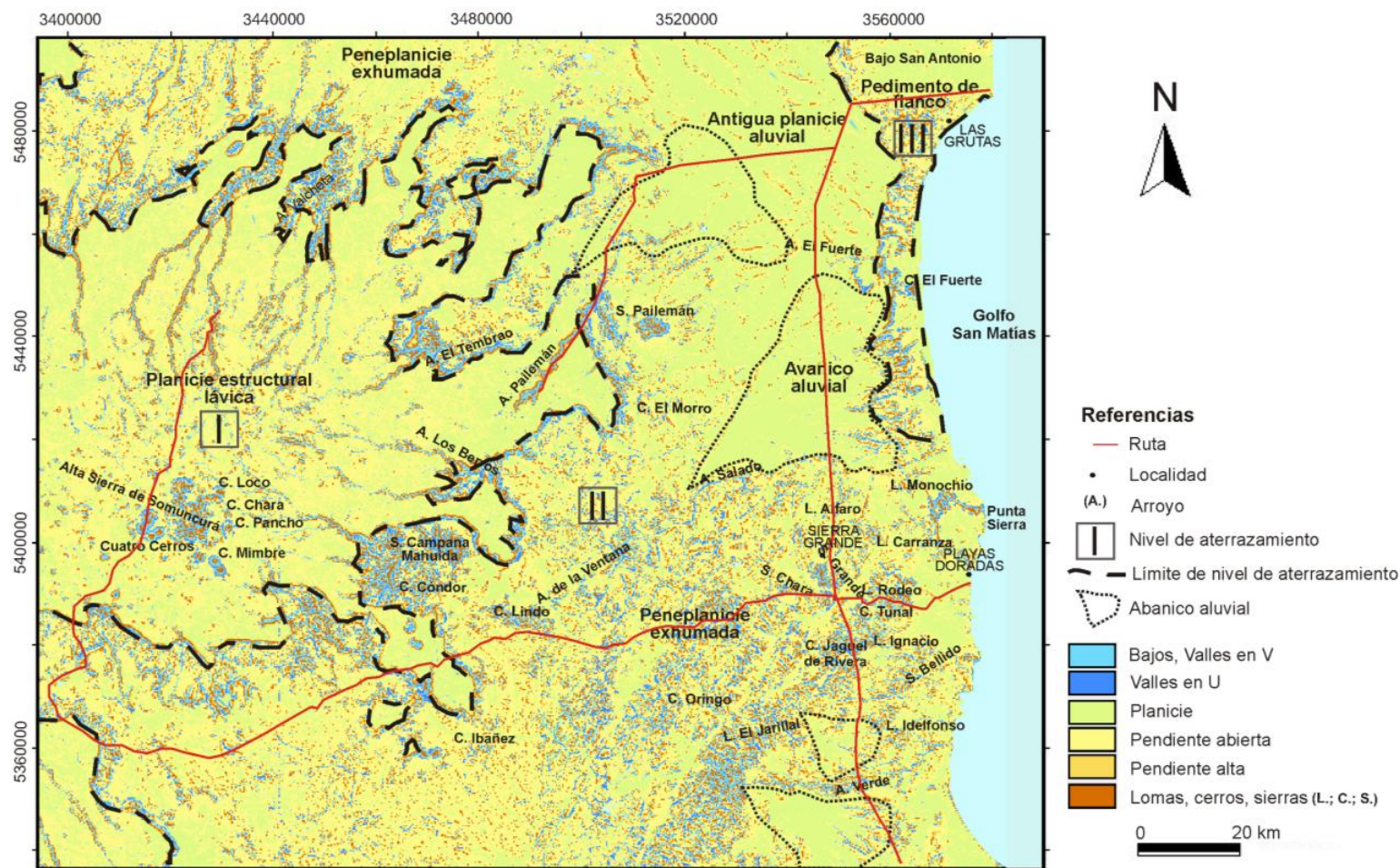


Figura 7. Mapa de clases geomorfológicas en el NE del Macizo Norpatagónico.

Fuente: Elaboración propia.

© Los autores
www.geo-focus.org

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

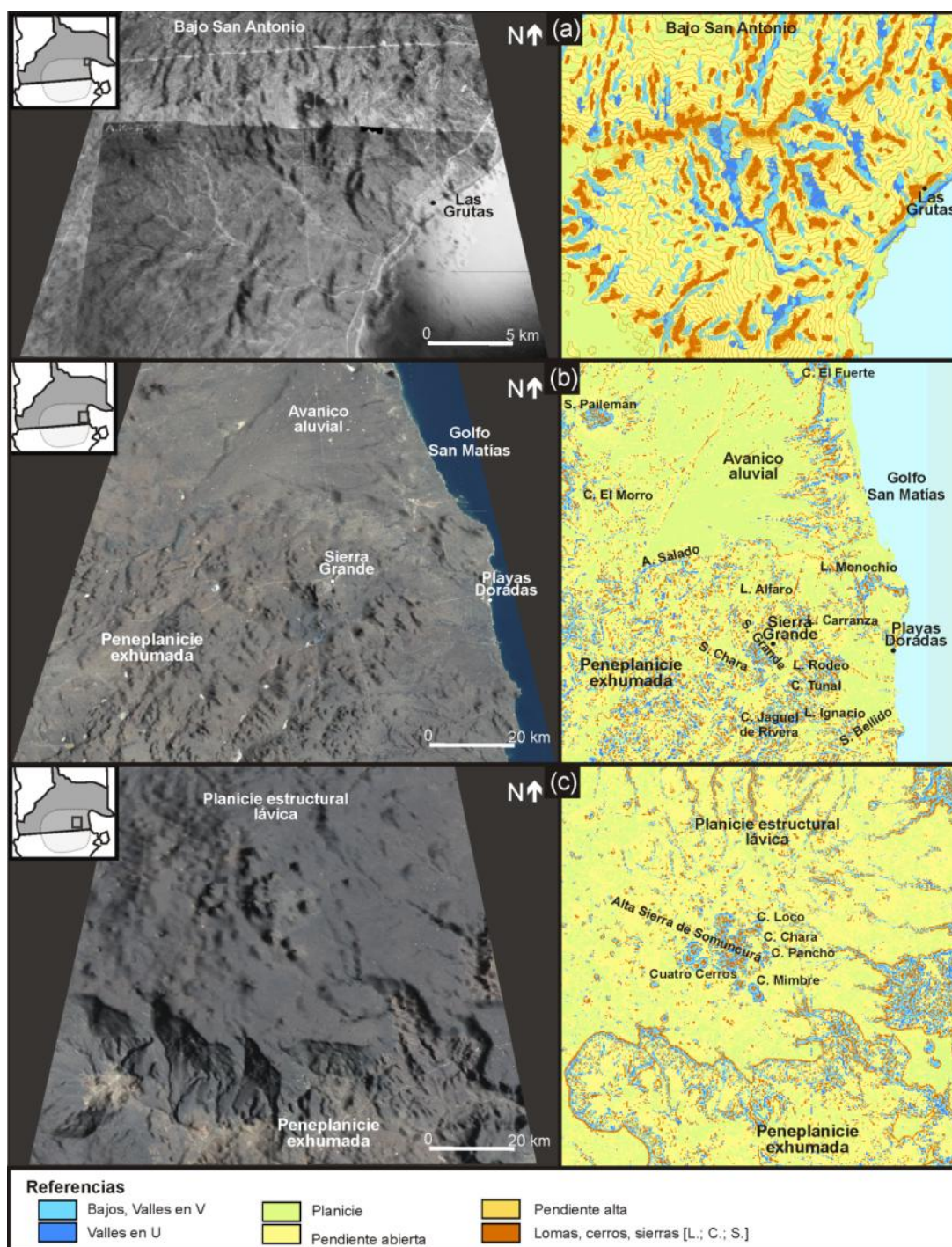


Figura 8. Visualización topográfica en 3D sobre el MDE a partir de imagen aérea (a) e imágenes Landsat 7 ETM+ (b y c) (izda.) y el mapa resultante de clases de *geoformas* (dcha.).

Fuente: Elaboración propia.

Genchi, S. A., Carbone, M. E., Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. (2011): "Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del Noreste del Macizo Norpatagónico, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 182-206, ISSN: 1578-5157

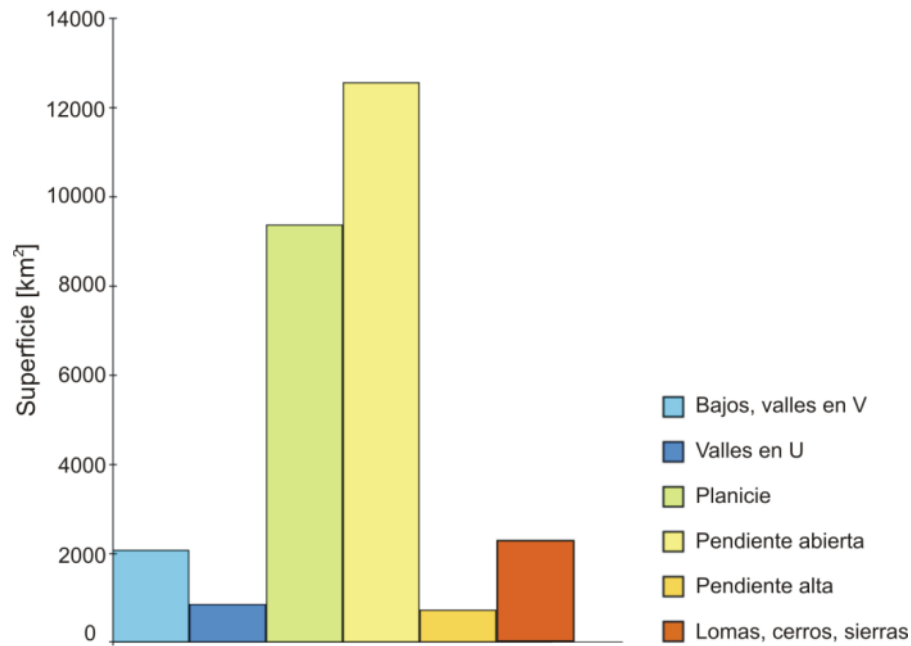


Figura 9. Superficie de las diferentes clases geomorfológicas presentes en el área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

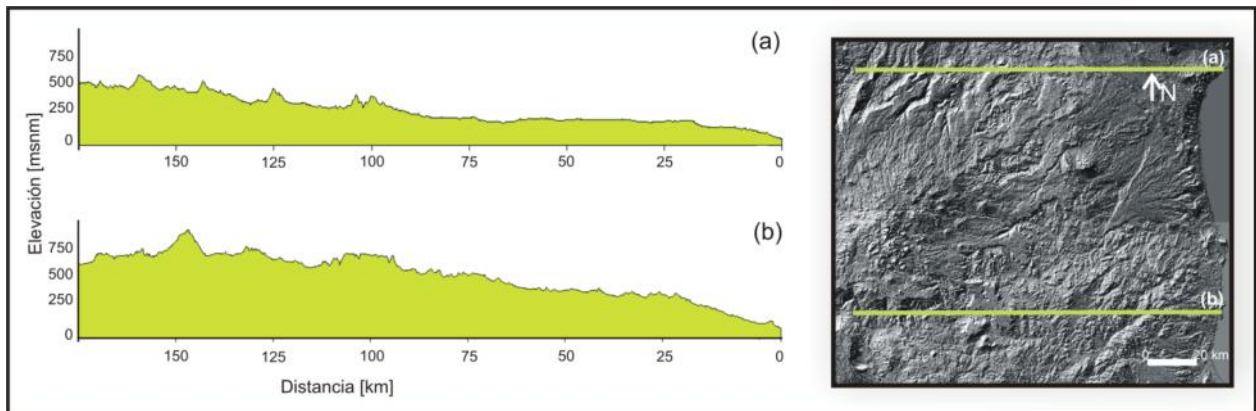


Figura 10. Perfiles topográficos en dos secciones representativas. El perfil (a) comprende bajos de variado origen. El perfil (b) muestra una mayor rugosidad representada por numerosas y bajas elevaciones resultantes de una erosión diferencial.

Fuente: Elaboración propia.