



**Geoformas crionivales en la meseta Latorre,  
Patagonia austral extraandina, Argentina**

*Cryonival landforms in Meseta Latorre,  
southern extra-Andean Patagonia, Argentina*

Ercolano, B. <sup>(1)</sup>; Marderwald, G. <sup>(1)</sup>; Coronato, A. <sup>(2,3)</sup>; Tiberi, P. <sup>(1)</sup>; Corbella, H. <sup>(4)</sup>

(1) Instituto de Ciencias del Ambiente Sustentabilidad y Recursos Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Piloto "Lero" Rivero s/n, 9400, Río Gallegos, Argentina. [bercolano@yahoo.com.ar](mailto:bercolano@yahoo.com.ar)

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Centro Austral de Investigaciones Científicas. Houssay 200, 9410, Ushuaia, Argentina.

(3) Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Tierra del Fuego. Onas 450, 9410 Ushuaia, Argentina.

(4) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Museo Argentino de Ciencias Naturales. Av. Ángel Gallardo 470, CABA, 1405, Argentina.

**Resumen**

Se dan a conocer las geoformas crionivales activas que se presentan entre los 1064 y 700 m s.n.m. en la meseta Latorre, ubicada en el extremo sudoccidental de Argentina. Las geoformas fueron reconocidas inicialmente en el terreno y su distribución espacial cartografiada en forma digital una vez identificados sus patrones texturales. Se calcularon la temperatura media mensual del aire y media anual del aire del sector más alto de la meseta, Punta Gruesa, aplicando el cálculo de Gradiente Térmico Vertical a datos meteorológicos de la cercana estación del paraje El Turbio. Círculos de piedras, guirnaldas, lóbulos y terrazas de soliflucción acompañados por humedales de altura ("mallines") y vegetación de tundra, dominan este ambiente. Se interpretan como "tors" a los relictos de erosión de la Formación Santa Cruz originados, en parte, por criometeorización. Las observaciones realizadas permiten afirmar que la meseta Latorre se encuentra comprendida en un ambiente periglacial, sin permafrost, resultado de un intenso congelamiento estacional.

**Palabras clave:** periglaciario; congelamiento estacional; criometeorización; soliflucción; humedales de altura; Patagonia Argentina.

**Abstract**

Active cryonival features developed between 700-1064 m a.s.l. at Meseta Latorre, southwest Argentina, are presented for first time. Mean monthly air temperature and mean annual air temperature were calculated



using Vertical Thermal Gradient for the upper part of Meseta Latorre, Punta Gruesa, based on meteorological data from the nearest weather station located at El Turbio. Landforms were recognized during fieldwork and later by texture patterns recognition on imagery; then they were digitalized and mapped. Stone-circles, turf-banked terraces and solifluction lobes and stone-banked terraces are frequent. Santa Cruz Formation erosive remnants are interpreted as “tors”, partially formed by frost-weathering. High-elevation wetlands (“mallines”) and tundra vegetation are present. The results allow us to confirm that Meseta Latorre is located in a present intensive seasonal freezing periglacial environment.

**Key words:** periglacialism; seasonal freezing; frost-weathering; solifluction; high-elevation wetlands; Argentinian Patagonia.

## 1. Introducción

Se estima que el dominio periglacial ocupa un 25% de la superficie del planeta. Incluye ambientes donde los procesos de congelamiento son dominantes, con temperatura media anual del aire menor a  $-2^{\circ}\text{C}$  y otros en donde están subordinados, con temperatura media anual del aire entre  $-2^{\circ}\text{C}$  y  $3^{\circ}\text{C}$  (French, 2018). Consecuentemente, el periglacialismo ocurre en todas aquellas regiones donde la temperatura media anual del aire es inferior a  $3^{\circ}\text{C}$ .

La región patagónica, en el extremo austral de Sudamérica, estuvo sujeta a condiciones periglaciales en reiteradas oportunidades durante el Plio-Pleistoceno (Trombotto, 1998). Tanto la extensión superficial como los procesos y geoformas características de estos ambientes fríos fueron motivo de numerosas investigaciones desde la segunda mitad del siglo pasado. La amplia difusión de rasgos criogénicos relictos tales como moldes de cuñas de hielo (Corte, 1967; Galloway, 1985; Pérez Alberti *et al.*, 2008, entre otros), cuñas de arena (Bockheim *et al.*, 2009; Ribolini *et al.*, 2014) e involuciones (Corte, 1967; Ercolano *et al.*, 1997), documentan la existencia de permafrost durante los períodos glaciales que afectaron la región (para una reseña completa véase Rabassa, 2008). Trombotto (1998) propone un total de siete eventos criogénicos que abarcan el lapso entre 3,5 Ma - 24 ka, en los que el permafrost cubrió gran parte de la Patagonia. Grosso y Corte (1989) describen moldes de cuña de hielo en el piedemonte

andino incluso al norte de esa región, a latitudes tan bajas como  $34^{\circ}\text{N}$ .

En la actualidad, los ambientes periglaciales del extremo meridional de Argentina, se circunscriben casi enteramente a los Andes Patagónicos Australes, entre los 1300 y 1500 m s.n.m (Trombotto, 2008). A latitudes superiores a  $45^{\circ}\text{S}$ , se caracterizan por ser ambientes no englazados ubicados por encima del límite superior del bosque, donde la ocurrencia de permafrost y el dominio de los ciclos de congelamiento y descongelamiento afectan a las rocas y a la parte superior del suelo (Trombotto *et al.*, 2014). Geoformas criogénicas activas han sido referidas recientemente por Reato *et al.* (2017) a la latitud  $43^{\circ}\text{S}$  y 2150 m s.n.m., en el flanco andino oriental y en el sector cordillerano del territorio insular de Tierra del Fuego, a  $54^{\circ} 40'\text{S}$  y entre 750-1077 m s.n.m., por Redondo Vega (2004), Varcárcel Díaz *et al.* (2006) y Santos González *et al.* (2011), entre otros.

En la Patagonia Extraandina y particularmente en el extremo sur, los estudios referidos a geoformas criogénicas activas son aún más escasos. El presente trabajo se desarrolla en la meseta Latorre, localizada al pie de los Andes Patagónicos Australes, a  $51^{\circ}31'\text{S}$  (Fig. 1) y a unos 90 km al este del Campo de Hielo Continental Sur. Las únicas referencias específicas para el área de estudio pertenecen a Roig (1986) y Roig *et al.* (1985) quienes observaron permafrost en época estival (entre el 24 de enero y el 5 de febrero de 1978). En la zona de Punta Gruesa (990 m s.n.m.) constataron

un horizonte activo de 30 a 40 cm, mientras que en la cordillera Chica (cerro Punta Alta, 1100 m s.n.m., Fig. 1a) el espesor osciló entre 5 y 10 cm. El máximo cuantificado para el extremo austral de Patagonia continental fue de 70 cm de profundidad, en el límite entre las provincias de Chubut y Santa Cruz (Garce's, 1992 en Trombotto, 2008). De acuerdo con Corte (1983), el área de estudio se encuentra en una zona de congelamiento periódico del suelo. Durante el trabajo de campo realizado en enero de 2018, no se constató la presencia de permafrost. Este hecho puede estar relacionado con el calentamiento atmosférico estimado para la Patagonia, al cual se le atribuye que las temperaturas máxima y mínima muestren una tendencia positiva en las últimas décadas (Barros, 2015).

En este trabajo se identifican, describen y cartografían las geformas crionivales de pequeña escala, en su mayoría activas, que se localizan en el sector cuspidal de la meseta Latorre. Tiene por finalidad aportar información que contribuya a un mejor conocimiento de la extensión y características de los ambientes geocriogénicos extraandinos en Argentina, sobre todo de aquellos en donde los rasgos, por su tamaño, son de difícil reconocimiento en forma remota. Por otra parte, el interés en la identificación y delimitación de estos ambientes está motivado por las fuertes e inesperadas alteraciones que puedan producirse debido al aumento global de la temperatura del planeta. Por otra parte, y dado que la criósfera juega un papel crítico en el sistema climático mundial (Barry, 2002), es relevante y necesario el control de su estabilidad.

## 2. Área de estudio

La meseta Latorre es el relicto pedemontano más elevado y antiguo de la región (Borrello, 1969), cuya prolongación hacia el norte es la cordillera Chica (Fig. 1a). Constituye el nivel topográfico más elevado de la margen norte de la cuenca alta del río Gallegos y es la divisoria de aguas entre el valle de este río al sur y el Brazo Sur del río Coyle al norte. Está

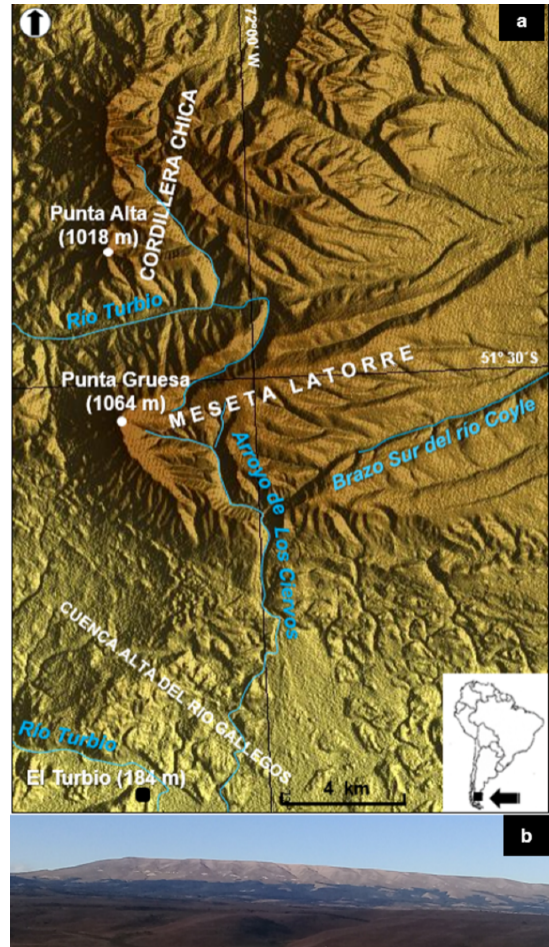


Figura 1: a) Mapa de ubicación de la meseta Latorre. Base cartográfica: modelo de elevación digital ALOS PALSAR (*High Resolution Terrain Corrected*, 12.5 m/pixel - 2011/01/04). b) Vista panorámica desde el sur de la meseta Latorre. Obsérvese la suave inclinación al este de la planicie superior.

*Figure 1: a) Location map of Meseta Latorre. Base map: digital elevation model ALOS PALSAR High Resolution Terrain Corrected, 12.5 m/pixel - 2011/01/04. b) Panoramic view of Meseta Latorre looking from the south. Note the gentle eastward tilting of the summit.*

separada del frente montañoso andino por una falla N-S (Brandmayr, 1945; Fosdick *et al.*, 2011; Furque y Caballé, 1993) luego remodelada por actividad glacial.

El área de estudio abarca alrededor de 230 km<sup>2</sup> de superficie, con valores altimétricos que varían entre 1064 m en el oeste y ~700 m en el este. La meseta se presenta como

una elevación prácticamente aislada, cuya cumbre, una amplia altiplanicie con inclinación general al este, está expuesta en los 360° (Fig. 1b). Esta enmarcada por un escarpe en casi todo su perímetro, excepto en el flanco oriental. Allí, el límite es impreciso debido a la elevada densidad de cárcavas y al volumen de materiales removilizados por actividad periglacial pasada y actual (Ercolano *et al.*, 2018).

El sustrato está formado por las sedimentitas miocenas continentales de la Formación Santa Cruz (Zambrano y Urien, 1970) que afloran en el escarpe occidental hasta muy cerca de la cumbre. Este tramo incluye los clásicos términos areno-limosos de carácter tobáceo típicos de esta formación, que en transición pasan a un miembro superior de conglomerados bien consolidados (Ercolano *et al.*, en prensa). El techo de la formación está representado por una superficie de erosión subhorizontal con leve inclinación al este. Sobre esta superficie se disponen estratos psefíticos con escasa matriz arenosa sobre los que se apoya un manto de till, consistente en un agregado polimíctico de cantos rodados y bloques en matriz limo-arenosa con variable proporción de arcilla (Ercolano *et al.*, 2018). Las fracciones granulométricas mayores corresponden a plutonitas ácidas e intermedias y metamorfitas, de procedencia andina. Este conjunto litológico de alrededor de unos 30 m de potencia corona la meseta Latorre y es el sustrato sobre el que evolucionan los rasgos crionivales que aquí se presentan. Ercolano *et al.* (en prensa) estiman, por relaciones estratigráficas, una edad miocena tardía para estos depósitos. Probablemente sea éste, uno de los registros glaciales más antiguos del continente.

El paisaje con suaves ondulaciones que exhibe el till expuesto en la cumbre, corresponde a una morrena de fondo sumamente degradada y disectada por profundos valles fluviales (Ercolano *et al.*, en prensa). Estos valles corresponden al tramo superior del río Turbio que drena hacia el este y al sistema hídrico del arroyo de Los Ciervos que hace lo propio hacia el sur (Fig 1a). Ambos están controla-

dos por lineamientos tectónicos y aportan sus aguas a la cuenca del río Gallegos. En el sector oriental, numerosos valles profundos y angostos sirven como vía de escurrimiento de las aguas de fusión nival y contribuyen a sostener el caudal del Brazo Sur del río Coyle que corre al pie de ese sector (Fig. 1a).

El clima de la región es de tipo “Patagónico sub-andino”, caracterizado como frío (temperatura media anual <10°C), subhúmedo (0,5 < índice de aridez < 0,75), de transición (16°C > rango de temperatura media anual >10°C), con marcada influencia de los vientos del oeste (Coronato *et al.* 2017). El área de estudio se sitúa entre el cinturón de altas presiones subtropicales del Pacífico Sur y la zona de bajas presiones subpolares, por lo que está íntegramente comprendida en la zona de circulación de los vientos del oeste del hemisferio sur (Coronato *et al.*, 2017). Las direcciones predominantes de viento son O, SO y NO, en ese orden de frecuencia. La mayor intensidad se alcanza en primavera-verano; enero y noviembre registran la mayor velocidad media mensual con 12 km/h, sin embargo, durante todo el año se verifican ráfagas superiores a 50 km/h y aún a 100 km/h.

Desde el pie de la meseta, a una altura promedio de 550 m s.n.m., hasta los 745 m, tanto la ladera del sector suroeste como las del valle del arroyo de Los Ciervos están tapizadas por bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) y lenga (*Nothofagus pumilio*) (Fig. 1b). La distribución del bosque sugiere que la humedad progresa desde el SO, cuadrante por donde ingresan los vientos húmedos provenientes del centro de altas presiones del Pacífico Sur, aprovechando la baja elevación de los Andes en este sector. Por encima de los 745 m s.n.m., la comunidad vegetal está representada por una tundra xérica (Roig, 1986). La especie arbustiva murtila (*Empetrum rubrum*) se destaca por su extensión, formando una carpeta mullida de vegetación leñosa que no supera los 20 cm de altura; ocupa tanto zonas planas como laderas y alterna entre los parches de suelo desnudo (Roig *et al.*, 1985). Se asocia a pastizales ricos en *Bolax gummifera* y

*Festuca gracillima*. La primera de las especies, con su clásica forma de cojín o almohadilla, domina en la cumbre de la meseta, particularmente en los numerosos humedales de altura, que allí se presentan.

### 3. Metodología

#### 3.1. Estudio de las geoformas

Las geoformas crionivales fueron inicialmente reconocidas en el campo. En gabinete se localizaron sobre imágenes satelitales provistas por la plataforma Google Earth™, situación que permitió reconocer su patrón textural y determinar su distribución espacial en toda la meseta. De forma complementaria se utilizaron para la interpretación visual, fotografías aéreas verticales e imágenes satelitales (Landsat ETM+ y ASTER) bajo un entorno SIG (*Global Mapper v.20*), a las que se aplicaron distintas técnicas de realce para mejorar su calidad. Las fotografías aéreas, obtenidas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:60.000 (16/09/1969), fueron escaneadas y georreferenciadas. Para analizar las pendientes se incorporaron modelos de elevación digital (MED) ALOS PALSAR (*High Resolution Terrain Corrected*, 12.5 m/pixel - 2011/01/04) de la *Japan Aerospace Exploration Agency* con el fin de resaltar los rasgos morfológicos. El software libre SAGA GIS (v.7.2.0) fue utilizado para elaborar el correspondiente mapa.

#### 3.2. Determinación de las variables meteorológicas

Dado que no existen datos meteorológicos para la meseta Latorre y son escasos y discontinuos los registros recabados en localidades cercanas, fue necesario utilizar métodos indirectos a efectos de reproducir las condiciones climáticas en el sector de la cumbre.

La información climática que se obtuvo provino tanto de estaciones meteorológicas en actividad como fuera de servicio ubicadas al sur de la meseta, en el valle del río Gallegos. De todas ellas se obtuvieron series de datos fragmentarias que, en el mejor de los casos, abarcan 10 años continuos. Dichos registros fueron evaluados en función de las necesidades del trabajo (Tabla 1). Finalmente, se consideró que la serie de datos más apropiada para caracterizar climáticamente la zona y modelar la temperatura en la porción cuspidal de la meseta es la del paraje El Turbio, situado a 13 km de su flanco sur (Fig. 1a). No sólo porque es la serie más completa, sino porque la estación está emplazada en una planicie alejada del bosque y de las aglomeraciones urbanas, lo cual reduce el efecto isla de calor. La limitante es que la serie de datos abarca sólo 10 años y por lo tanto no tendría el suficiente margen de confianza para estudios climáticos en general (Arenson *et al.*, 2004).

La temperatura media mensual del aire y la media anual para la cumbre de la meseta fue-

Tabla 1: Datos meteorológicos disponibles en cercanía al área de estudio.

Table 1: Available meteorological data near the study area.

Estación (m s.n.m.)	Coordenadas	Serie (años)	Observaciones	Fuente
28 de Noviembre (280 m)	-51.591°/-72.220°	2014-2019	5 años discontinuos.	SMN
El Turbio (184 m)	-51.680°/-72.091°	1941-1950	Completa	SMN
Julia Dufour (238 m)	-51.592°/-72.220°	09/2009-05/2010	7 meses. <i>Efecto topografía</i>	Davis Vantage Pro2
Río Turbio (304 m)	-51.532°/-72.328°	2001-2009	8 años discontinuos <i>Efecto isla de calor</i>	Davis WeatherLink 4.04. Ejército Argentino
Río Turbio (348 m)	-51.537°/-72.341°	2009-2019	10 años <i>Efecto isla de calor</i>	Davis Weather Monitor II
Yac. Río Turbio (252 m)	-51.533°/-72.262°	2017-2019	2 años	Davis Vantage Pro2 Plus

ron extrapoladas a partir de los datos mensuales de El Turbio, mediante el análisis de los cambios térmicos adiabáticos (Cuadrat y Pita, 1997) y el cálculo de disminución de temperatura del aire según el gradiente vertical de temperatura. La diferencia altimétrica entre El Turbio (184 m s.n.m) y el punto más elevado de la meseta Latorre, Punta Gruesa (1064 m s.n.m.) es de 880 m (Fig. 1a). El valor de gradiente vertical se aplicó según la propuesta De Fina (1992) para la zona, utilizando los valores medios de  $0,53^{\circ}\text{C}$  y  $0,48^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  para los meses de enero y julio, respectivamente. El valor medio ( $0,5^{\circ}\text{C}$ ) aplicado a la diferencia de altura entre la estación meteorológica y Punta Gruesa resulta en una variación de la temperatura de  $0,44^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Este valor fue aplicado a cada valor mensual de temperatura registrado en el paraje El Turbio.

Otra variable de interés para caracterizar climáticamente el área es la precipitación nival. Ante la falta de información, se analizaron imágenes satelitales (Landsat MSS, 5, ETM7 y 8 OLI, Sentinel-2) incluidas en distintos servidores, entre el año 1972 y 2018, a fin de determinar visualmente tanto la permanencia como la extensión de la cobertura nival. Se tomaron en cuenta coberturas mayores a 50%. No obstante, la falta de registros satelitales para algunos años o de imágenes con alta nubosidad, la información obtenida se consideró lo suficientemente consistente para determinar la evolución anual de este parámetro.

#### 4. Resultados

A continuación, se presenta la descripción de los rasgos crionivales presentes en la meseta Latorre así como el análisis de las condiciones climáticas que determinan su desarrollo y el de la vegetación de tundra asociada.

##### 4.1. Temperatura media anual del aire y cobertura nival en la meseta Latorre

La temperatura media anual del aire para la zona del paraje El Turbio (1941-1950) es de  $5,7^{\circ}\text{C}$ . Julio es el mes más frío con una media

de  $0,4^{\circ}\text{C}$ , aunque el mínimo absoluto corresponde al mes de agosto con  $-27^{\circ}\text{C}$ . Enero es el mes más caluroso, con una temperatura media de  $10,4^{\circ}\text{C}$  y un registro máximo absoluto de  $31,5^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media mensual del aire nunca es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2).

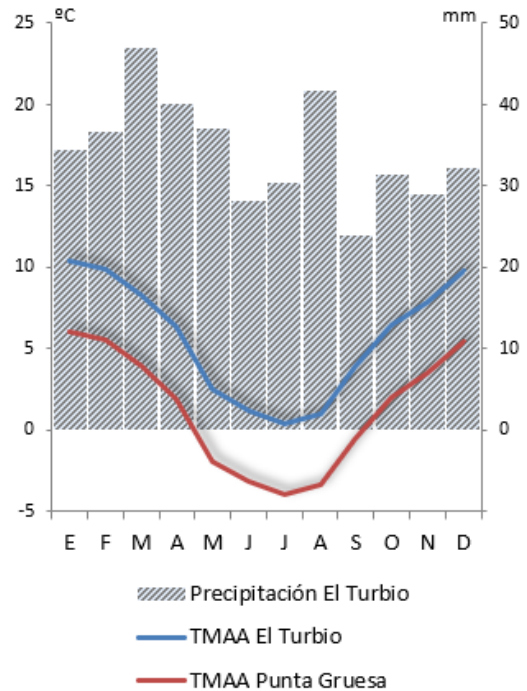


Figura 2: Climograma del paraje El Turbio y curva de temperatura media mensual del aire de Punta Gruesa según cálculo por gradiente vertical de temperatura (TMAA: Temperatura media mensual del aire).

Figure 2: Climogram of El Turbio site and mean monthly air temperature curve of Punta Gruesa calculated by vertical thermal gradient (TMAA: Mean monthly air temperature).

La precipitación líquida media anual del período alcanza los 411 mm, en tanto que para períodos húmedos se cuantificaron valores anuales de hasta 530 mm. La distribución de las lluvias es bimodal. Durante marzo (47 mm) y abril (40 mm) ocurre el primer período de concentración de lluvias y en agosto (41,7 mm) el segundo. El mes más seco es septiembre (23,8 mm) (Fig. 2).

Aplicado el cálculo del gradiente vertical de temperatura a los datos meteorológicos de

El Turbio, se calcula que la temperatura media anual del aire en la meseta Latorre sería de 1,25°C, con valores inferiores a 0°C entre mayo y septiembre y una temperatura media mínima de -4°C en julio (Fig. 2).

El análisis sistemático de imágenes satelitales llevado a cabo para determinar la presencia de nieve, muestra que la meseta Latorre tiene una cobertura nival total y permanente entre mayo y octubre (Fig. 3). Si se consideran coberturas parciales no inferiores al 50 %, el lapso puede extenderse entre abril y noviem-

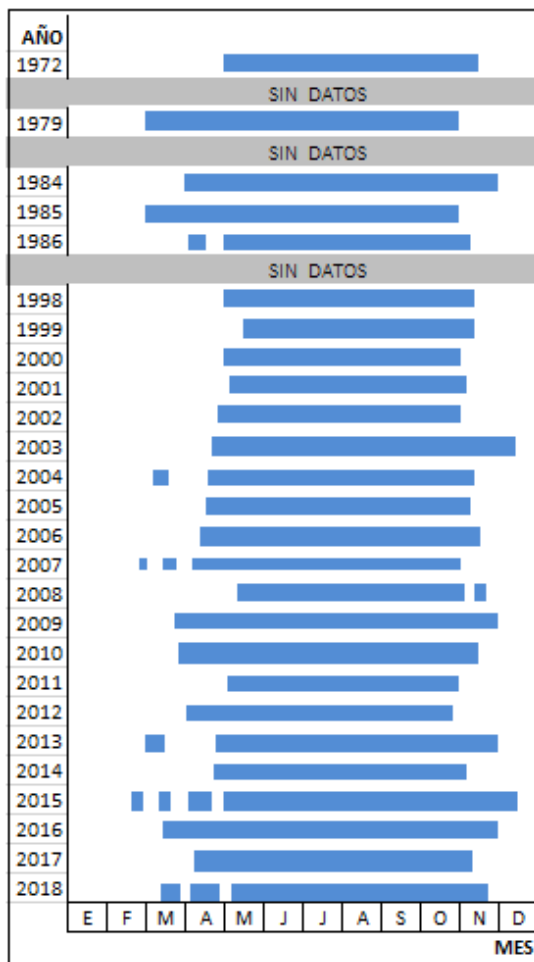


Figura 3: Cobertura mensual de nieve en la meseta Latorre. Fuentes: imágenes satelitales Landsat MSS, Landsat 5, ETM7, 8 OLI, Sentinel-2.

Figure 3: Monthly snow coverage on Meseta Latorre. Sources: Landsat MSS, Landsat 5, ETM7, 8OLI, Sentinel-2 satellite images.

bre para la mayor parte del período analizado (1972-2018), incluyendo 1998 (IPCC, 2001) y 2016 (WMO, 2020), años con valores máximos de temperatura media en el planeta.

#### 4.2. Humedales de altura (“mallines”)

Los humedales de altura son característicos de zonas que tuvieron y tienen fenómenos asociados con permafrost o con procesos periglaciales (Ahumada, 2007). Los mallines son más numerosos y extensos en el flanco occidental de la meseta donde se escalonan entre los 1025 y 950 m s.n.m., siguiendo la pendiente regional al este. En este sector se caracterizan por ser alargados en sentido N-S, alcanzar hasta 500 m de longitud y poseer un margen recto al oeste (Fig. 4). Esta última característica y el escalonamiento sugieren algún tipo de control estructural ligado probablemente a lineamientos tectónicos regionales en sentido meridiano. Otros mallines acompañan el tramo superior de los drenajes tributarios al arroyo de Los Ciervos y al río Coyle (Fig. 1a). Durante el hemicycle otoño-invierno permanecen por debajo de la cobertura nival en tanto en primavera-verano retienen el agua asociada al descongelamiento del suelo (Ahumada, 2007) y a la fusión nival. El agua infiltra escasamente en cuanto se desarrollan sobre los depósitos till.

#### 4.3. Geoformas crionivales

Además del clima, la topografía regula la distribución de las geoformas crionivales cuya distribución se presenta en la (Fig. 5). La pendiente general de la meseta es E-SE con valores que varían de suaves a moderados (1-6°). A lo largo del escarpe que la enmarca por el norte, oeste y sur, las mismas son moderadas (8-11°) hasta la mitad de la ladera, mientras que pasan a fuertes (>15°) en proximidad de la cima. También registran pendientes fuertes los profundos valles en “V” que la disectan.

La asociación de geoformas criogénicas activas registradas es la siguiente: círculos de piedras junto a guirnaldas, lóbulos y terrazas de



Figura 4: Imagen satelital Google Earth™ (27/02/2018) orientada de los mallines (M), humedales de altura con borde rectilíneo que evolucionan en el sector occidental de la meseta. Las flechas señalan el frente festoneado de las terrazas.

Figure 4: A Google Earth™ image (02/27/2018) of the "mallines" (M), high-elevation wetlands with rectilinear west edges. Arrows point to the festooned shaped terraces fronts.

solifluxión. En tanto, en las laderas del arroyo de los Ciervos se presentan geoformas, aquí definidas como "tors", expresión relicta de procesos criogénicos del pasado (Fig. 5).

4.3.1. Círculos de piedras. Este tipo de suelo ordenado se localiza en los sectores subhorizontales de la superficie cuspidal de la meseta donde aflora till, entre los 1050 y 930 m s.n.m (Fig. 5). Las celdas tienen diámetros variables entre 2 y 3 m. Están delimitados por bloques bien redondeados de 0,2 a 0,3 m de largo que encierran un sector central con material más fino y vegetación degradada (Fig. 6a). Los procesos de crioturbación que dan origen a estos círculos son el levantamiento diferencial de materiales por congelamiento estacional y su desplazamiento lateral debido a celdas de convección (Washburn, 1979; Holness, 2003; French, 2018; entre otros). El crecimiento de

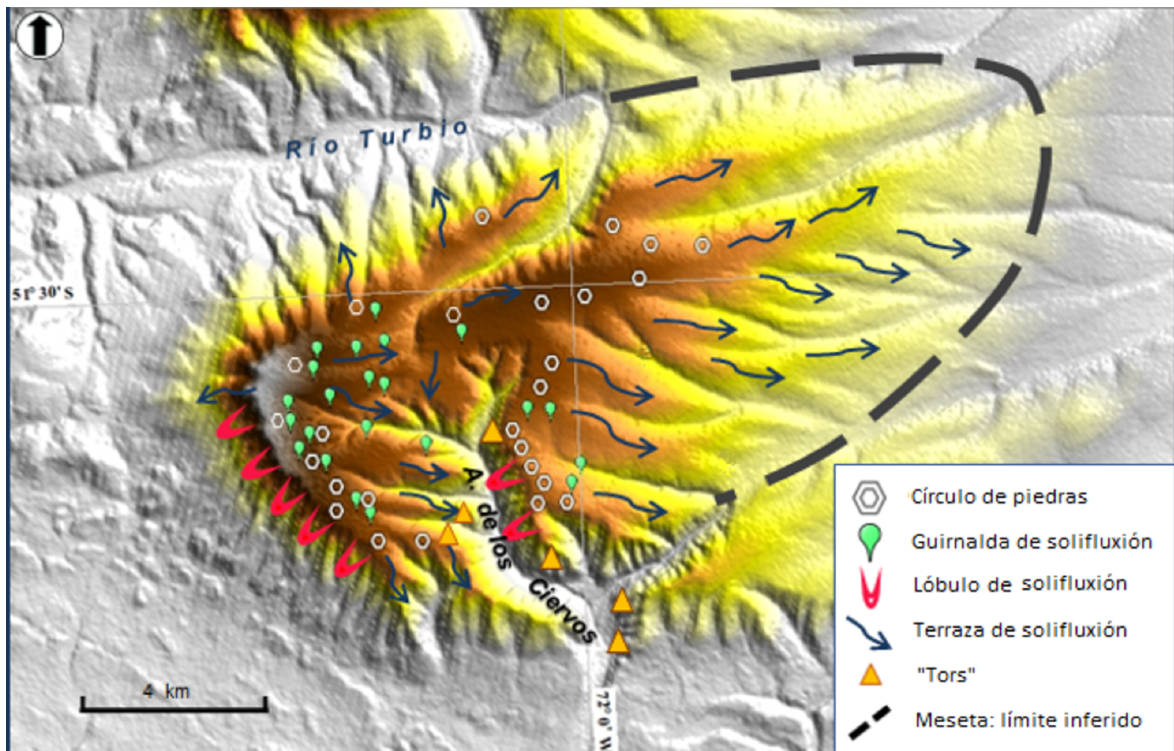


Figura 5: Mapa con la localización de las geoformas criogénicas de la meseta Latorre elaborado sobre modelo de elevación digital ALOS PALSAR (High Resolution Terrain Corrected, 12.5 m/pixel - 2011/01/04).

Figure 5: Location map of cryogenic landforms of Meseta Latorre made using ALOS PALSAR digital terrain model (High Resolution Terrain Corrected, 12.5 m/pixel - 2011/01/04).



la vegetación se ve afectado por el desarrollo de hielo acicular que levanta las raíces de las plantas y provoca su muerte (Corte, 1955). En las imágenes satelitales de alta resolución, el patrón textural de estas geoformas se reconoce también en los sectores subhorizontales de la cumbre de la cordillera Chica, algo más al norte. La actividad relacionada con el congelamiento provoca además la expulsión de clastos que son extruidos del terreno en forma vertical (Fig. 6b).

4.3.2. Guirnaldas de solifluxión. Igual que las formas anteriores, se presentan en los sectores de la cumbre de la meseta orientados al este (Fig. 5). Se originan por deformación de los círculos cuando la pendiente del terreno aumenta y pasa a moderada ( $6 - 8^\circ$ ), debido a una combinación de procesos de congelamiento estacional y remoción en masa (Kessler y Werner, 2003). Se las observa como semicírculos abiertos convexos en el sentido de la pendiente, cuyo frente está formado por bloques a los que se asocia vegetación en cojín (6c) (Corte, 1955). Algunas formas individuales llegan a unirse por los extremos solapándose unas con otras por lo cual el conjunto toma el aspecto de un festón. Particularmente en estos casos, puede presentarse una superficie subhorizontal y amplia pendiente arriba. Sobre estas superficies aterrazadas con sustrato impermeable suelen evolucionar ecosistemas de “mallines” (Fig. 4).

4.3.3. Lóbulos de solifluxión. Son frecuentes en la parte superior de las laderas de la meseta y del valle del arroyo de los Ciervos que están orientadas al noroeste y tienen pendientes fuertes ( $>15^\circ$ , Fig. 5). Se distribuyen por encima de los 880 m de altura. Son formas estrechas y alargadas, sin confinamiento, que alcanzan un largo promedio de 60 m y anchos cercanos a 10 m. Debido a que se desarrollan en relación con las capas de grava y bloques que infrayacen al till, en varios sectores la parte superior es un depósito mantiforme desde donde se proyectan los lóbulos (Fig. 6d). El agregado de bloques y grava que los compone

está bien redondeado y cuenta con poco material fino intersticial (Fig. 6e). La ausencia de material fino en superficie podría deberse al lavado por agua, en su mayor parte de fusión nival (Potter y Moss, 1968) y/o acción eólica. Asimismo, la porosidad del agregado impide la instalación de vegetación. Dado que los lóbulos se desarrollan en las laderas más insoladas, orientadas al N y NO, en donde el deshielo es más acelerado, se presume que el movimiento está inducido por la alta provisión de agua de fusión nival en primavera (cf. Ahumada, 1990). En situaciones de deshielo súbito, la movilización rápida de la nieve parcialmente fundida junto a los detritos genera avalanchas que, si alcanzan la parte superior del bosque, dejan un rastro de árboles muertos a lo largo de una canaleta de transporte (Fig. 6f).

4.3.4. Terrazas de solifluxión. Son las formas periglaciales de pequeña escala más difundidas en el área, allí donde las pendientes tienen valores leves a moderados ( $4 - 8^\circ$ ), sin que se advierta una orientación preferencial de las laderas donde se desarrollan (Fig. 5). En el sector oriental de la meseta son los únicos rasgos crionivales que se presentan. Jalonan los interfluvios donde se escalonan regularmente acompañando el diseño de las curvas de nivel. Afectan la mayor parte de las laderas, cuyo tapiz de vegetación pierde continuidad por el desarrollo de pequeños peldaños con frente rectilíneo limitados por una orla de cantos rodados y bloques pequeños (Fig. 6g). La distancia vertical entre los sucesivos peldaños es de escasos decímetros, en tanto su extensión longitudinal alcanza varios metros de desarrollo.

4.3.5. “Tors”. Se interpretan como “tors” a los afloramientos aislados del sustrato rocoso que conforman pináculos o torres en la parte alta de las laderas del valle de los Ciervos, donde las pendientes son fuertes (Fig. 5). En esos sectores, el perfil longitudinal de la ladera adquiere un aspecto dentado. Están modelados en los conglomerados cuspidales de la Formación Santa Cruz, de cuyos estratos parecen emerger (Fig. 6h). Tienen formas redondeadas y no sobrepasan los 10 m de

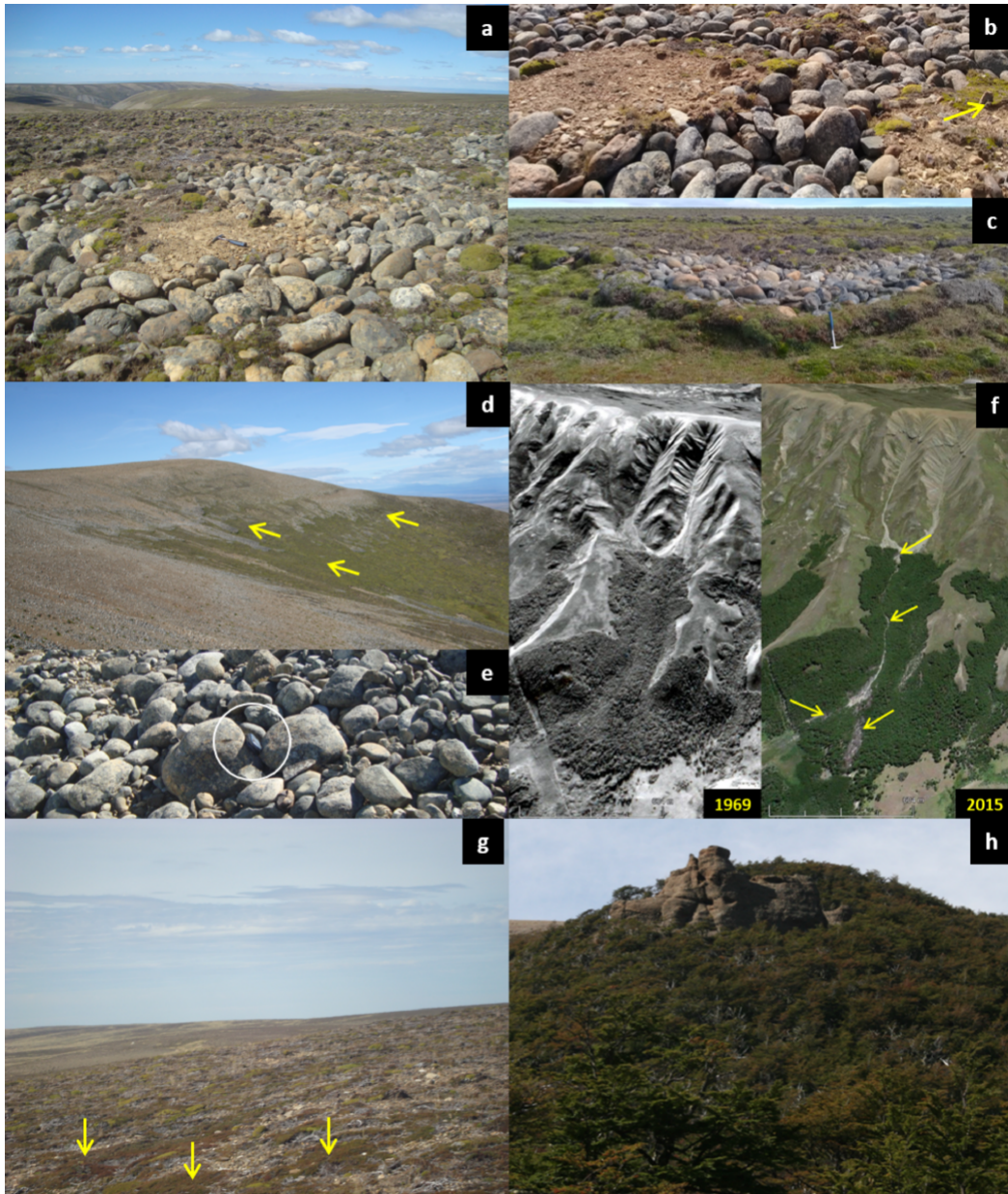


Figura 6: a) Círculos de piedras de entre 2 y 3 m de diámetro. b) Detalle de los bloques extruidos por criogénesis (flechas). c) Guirnaldas. Obsérvese la morfología festoneada del frente. d) Lóbulos de soliflucción (flechas). e) Agregado psefítico que compone los lóbulos; escala 10 cm. f) Imágenes comparativas del ángulo suroccidental de la meseta (1969, Aerofotografía 1:60.000, IGN - 25/02/2015 Imagen Google Earth™). Las flechas enfatizan el rastro de árboles muertos y la canaleta originada por una avalancha de nieve parcialmente fundida. g) Terrazas de soliflucción (flechas). h) "Tors" en conglomerados de la FSC, expuestos en la ladera superior del arroyo de los Ciervos.

Figure 6: a) Stone circles between 2 and 3 m in diameter. b) Detail of blocks extruded by cryogenic processes (arrows). c) Turf-banked terraces. Note the festooned shape of the front. d) Solifluction lobes (arrows). e) Psefitic material of lobes. Scale: 10 cm. f) Comparative images of the southwestern corner of Meseta Latorre (1969, Aerial photograph 1:60.000, IGN - 02/25/2015, Google Earth™ image). The arrows emphasize the track of dead trees and the channel originated by a wet snow-avalanche. g) Stone-banked terraces (arrows). h) Tors in SCF conglomerates, at the upper slope of the Los Ciervos creek.

altura. Debido a su posición topográfica, es posible que en su génesis haya influido inicialmente la erosión fluvial, pero se estima que sucesivos procesos de criometeorización han contribuido a desarrollar su morfología actual. Asimismo, se infiere que su modelado está condicionado por la induración diferencial de la roca (*cf.* Pullan, 1959).

#### 4. Discusión

El estudio llevado a cabo confirma la existencia de condiciones ambientales propicias para el desarrollo de geoformas crionivales en el ambiente mesetiforme localizado al pie de los Andes Patagónicos Australes.

La temperatura media mensual del aire en la planicie superior de la meseta Latorre es inferior a 0°C entre los meses de mayo y agosto, con un mínimo de -4°C en julio, según la variación térmica por gradiente vertical de temperatura calculada sobre la base de datos meteorológicos del paraje El Turbio. El análisis multi-temporal de registros satelitales llevado a cabo aporta evidencia que confirma el modelo. En efecto, se pudo constatar que la superficie de la meseta presenta una cobertura nival total entre los meses de mayo y agosto. En tanto, si se amplía el lapso de análisis desde abril hasta noviembre, la cobertura disminuye pero siempre supera el 50% de la superficie.

La influencia de la cobertura nival en la génesis de los suelos seleccionados es difícil de evaluar (Goodrich, 1982; Mott y Lehning, 2010). Debido a su baja conductividad térmica, alto albedo y el contenido de aire intersticial, la nieve es un efectivo aislante y aún pocos decímetros pueden reducir el período en que el sustrato está expuesto a la acción del congelamiento (Zhang, 2005). Otro tanto ocurre con la vegetación y la materia orgánica (Ahumada *et al.*, 2017). En general, en regiones donde el suelo se congela estacionalmente, esto ocurre antes de que se produzca la cobertura total de nieve. Una vez que esto sucede y el espesor de la nieve aumenta, el suelo helado puede comenzar a

descongelarse y para el fin del invierno puede haber desaparecido totalmente (Zhang *et al.*, 1999). Además de la temperatura, la presencia de humedad en el sustrato es un factor crítico para el levantamiento diferencial de materiales por congelamiento (Corte, 1955, 1966; Washburn, 1979; entre otros), principal proceso criogénico involucrado en la génesis de los círculos de piedra. En la región se registran en marzo y abril los mayores volúmenes de precipitación. Se presume entonces que es durante el otoño, justo antes de la temporada nival, que el proceso de selección sería más activo. La movilidad vertical de clastos y su eventual extrusión del terreno también ocurriría en esa estación. Por su parte, la fusión de la nieve provee del agua necesaria para el proceso de solifluxión que ocurre en las pendientes y que resulta en la formación de guirnaldas, lóbulos y terrazas. En primavera cuando comienza el deshielo, en la parte superior de las laderas sin vegetación donde están expuestas las capas psefticas, la alta provisión de agua de fusión nival induce la solifluxión en lóbulos. Cuando la fusión es extrema es cuando ocurren las avalanchas de nieve húmeda que se movilizan por las laderas boscosas.

Las observaciones realizadas permiten corroborar que el sector cuspidal de la meseta Latorre, ubicada entre los 1064 y ~700 m s.n.m, se encuentra afectada por procesos de génesis crionival resultado de intenso congelamiento estacional, sin evidencias de permafrost. La morfodinámica criogénica y nival es la que mantiene activas a estas geoformas en relación con ciclos estacionales de congelamiento y deshielo de poca profundidad. Los procesos criogénicos dominantes incluyen la criometeorización, la formación de agujas de hielo y la solifluxión. La formación de círculos de piedra sugiere una mayor rigurosidad de las condiciones por encima de los 930 m s.n.m.

Este estudio permite ampliar el rango altitudinal de ocurrencia de procesos criogénicos, determinado entre 1300-1500 m para los Andes Patagónicos Australes (Trombotto, 2008). En las mesetas de la Patagonia austral

Extraandina, este rango descendería hasta los 700 m s.n.m., favorecido por la disminución altitudinal del límite del bosque y la consecuente exposición de la superficie a las variaciones atmosféricas.

Los “tors” de la meseta Latorre, son interpretados como relieves relícticos generados bajo condiciones climáticas más rigurosas que las actuales, si bien pueden experimentar procesos crionivales en la actualidad. La meseta Latorre no estuvo englazada desde el Mioceno tardío (Ercolano et al., en prensa). Sin embargo, la presencia de geoformas activas durante el presente período interglacial sugiere que el área ha estado sujeta a condiciones climáticas periglaciales relativamente sostenidas desde el final del Terciario. De acuerdo con Trombotto (2008), el área ha formado parte de un ambiente de tundra periglacial desde el Plioceno, lapso en el cual ocurrieron los procesos de criometeorización necesarios para la evolución de estos rasgos. Geoformas semejantes, desarrolladas sobre idéntica litología, fueron descritas 50 km al este, en la margen norte del valle medio del río Gallegos (Ercolano et al., en prensa). En los Andes Fueguinos, Valcárcel Díaz et al. (2006) describen “tors” cuyo origen periglacial no confirman, en cambio sí los vinculan con procesos de criometeorización.

## 5. Conclusiones

En la meseta Latorre, localizada al pie de los Andes Patagónicos Australes, tienen lugar condiciones climáticas propicias para la evolución de un piso crionival ubicado entre los 1064 y 700 m s.n.m. En consecuencia, se amplía el rango altitudinal de ocurrencia de procesos criogénicos previamente determinado para la región.

Las geoformas crionivales activas que se presentan en el sector cuspidal resultan de procesos de crioturación, representados por círculos de piedras, y de soliflucción que determinan el desarrollo de guirnaldas, lóbulos y terrazas, cuya evolución se da en depósitos de till y capas psefiticas poco consolidadas. Comunida-

des vegetales con caracteres típicos de tundra (Roig, 1986) acompañan a estas geoformas.

Los relictos rocosos en forma de pináculos, aquí definidos como “tors”, se habrían originado por criometeorización en períodos climáticos fríos del pasado. No obstante, este proceso pudo haber actuado aún durante los intervalos más cálidos, tal como ocurre en el presente.

La situación térmica actual, en un período climático cálido o interglacial, genera condiciones ambientales propicias para el desarrollo de geoformas crionivales en las mesetas extraandinas a una latitud media-alta.

## Agradecimientos

La investigación fue financiada con fondos del Proyecto PI29/A365 de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (Santa Cruz, Argentina) y fondos propios de los autores. Se agradece a los propietarios y al administrador de la estancia «El Palenque» por permitir el acceso a sus campos. Piotr Migon (Universidad de Wroclaw, Polonia) contribuyó a nuestra interpretación de los “tors” con sus dedicados comentarios. Finalmente, agradecemos los comentarios de los revisores que contribuyeron a mejorar el trabajo.

## Bibliografía

- Arenson, L.U.; Johansen, M.M.; Springman, S.M. (2004). Effects of volumetric ice content and strain rate on shear strength under triaxial conditions for frozen soil samples. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15(3), 261-271. <https://doi.org/10.1002/ppp.498>
- Ahumada, A.L. (1990). Ambientes, procesos y formas periglaciales o geocriogénicas en Quebrada Benjamín Matienzo, Cordillera Principal, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45(1-2), 85-97.
- Ahumada, A.L. (2007). Geoindicadores criosféricos en los Andes Centrales del NW de Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 20(1), 9-17.
- Ahumada, A.L.; Ibañez Palacios, G.P.; Toledo, M.A.; Saccone, P.; García, A.K.; Paez, S.V.; González Díaz, L.N. (2017). La criósfera en el noroeste argentino. *Relatorio del XX Congreso Geológico*

- Argentino. Asociación Geológica Argentina, San Miguel de Tucumán, 851-872.
- Barros, V. (2015). Estudio de los Cambios Climáticos observados en el clima presente y proyectados a futuro en la República Argentina, Aspectos Regionales ([http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN\\_CIMA\\_Vbarros\\_2015.pdf](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN_CIMA_Vbarros_2015.pdf)) [Consulta 26 de agosto de 2019].
- Barry, R. G. (2002). The role of snow and ice in the global climate system: a review. *Polar Geography*, 24, 235-246. <https://doi.org/10.1080/789610195>
- Bockheim, J.; Coronato, A.; Rabassa, J.; Ercolano B.; Ponce J. (2009). Relict sand wedges in southern Patagonia and their stratigraphic and paleo-environmental significance. *Quaternary Science Review*, 28, 1188-1199. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.12.011>
- Borrello, A.V. (1969). Los geosinclinales de la Argentina. *Anales de la Dirección Nacional de Geología*, XIV, 15-188.
- Brandmayr, J. (1945). Contribución al conocimiento geológico del extremo sud-sudoeste del Territorio de Santa Cruz (Región Cerro Cazador-Alto Río Turbio). *Boletín de Informaciones Petroleras*, 256, 415-437.
- Coronato, A.; Mazzoni, E.; Vázquez, M.; Coronato, F. (2017). *Patagonia. Una síntesis de su Geografía Física*. UNPAedita, Río Gallegos, 219 pp.
- Corte, A. E. (1955). El congelamiento del suelo y la distribución circular de *Deyeuxia chrysostachia* dentro de la zona de procesos criopedológicos en la Alta Cordillera de Mendoza, Argentina. *Revista Argentina de Agronomía*, 22(3), 121-133.
- Corte, A.E. (1966). Particle sorting by repeated freezing and thawing. *Biuletyn Peryglacjalny*, 15, 175-240.
- Corte, A.E. (1967). Informe preliminar del progreso efectuado en el estudio de las estructuras de crioturbación pleistocénicas fósiles en la Provincia de Santa Cruz. *Terceras Jornadas Geológicas Argentinas*, Vol., 2. Asociación Geológica Argentina, Comodoro Rivadavia, 9-19.
- Corte, A.E. (1983). Los conceptos: geocriogénico - parageocriogénico y glacial - paraglacial en los Andes Centrales de Argentina, latitud 30°. *Acta Geocriogénica 1*. CONICET-CRCYT-IANIGLA, Mendoza, 48-66.
- Cuadrat, J.M.; Pita, M.F. (1997). *Climatología*. Ediciones Cátedra, Madrid, 496 pp.
- De Fina, A. L. (1992). *Aptitud Agroclimática De La República Argentina*. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, 402 pp.
- Ercolano, B.; Mazzoni, E.; Rabassa, J. (1997). Rasgos criogénicos del Cuaternario en el extremo meridional de la provincia de Santa Cruz, Argentina. *Actas VI Congreso de ABEQUA y Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur*. ABEQUA, Curitiba, 189-193.
- Ercolano, B.; Marderwald, G.; Coronato, A.; Tiberi, P.; Corbella, H. (2018). Geomorfología periglacial en la Meseta Latorre, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Naturalia Patagonia*, 10, 225-226.
- Ercolano, B.; Corbella, H.; Tiberi, P.; Coronato, A.; Marderwald, G. (en prensa). Piedmont glaciations, volcanism and landscape evolution in southernmost Patagonia, Argentina. En: *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina* (P. Bouzas; A. Bilmes; J. Rabassa, eds.). Springer, Berlín.
- Fosdick, J.; Romans, B.W.; Fildani, A.; Bernhardt, A. (2011). Kinematic evolution of the Patagonian retroarc fold-and-thrust belt and Magallanes foreland basin, Chile and Argentina, 51°30'S. *Geological Society of America Bulletin*, 123 (9-10), 1679-1698. <https://doi.org/10.1130/B30242.1>
- French, H.M. (2018). *The periglacial environment*. 4th Ed. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, 515 pp.
- Furque, G.; Caballé, M.F. (1993). *Geología de la Cuenca Superior del Río Turbio, Provincia de Santa Cruz. Investigaciones aplicadas*. Consejo Federal de Inversiones, Buenos Aires, 39 pp.
- Galloway, R. (1985). Fossil ice wedges in southern Patagonia and their paleoclimatic significance. *Acta Geocriogénica 3*. CONICET-CRCYT-IANIGLA, Mendoza, 106-113.
- Goodrich, L. E. (1982). The influence of snow cover on the ground thermal regime. *Canadian Geotechnical Journal*, 19, 421-432. <https://doi.org/10.1139/t82-047>
- Grosso, S.A.; Corte, A.E., (1989). Pleistocene ice-wedge casts at 34°S, eastern Andes piedmont, southwest of South America. *Geografiska Annaler A*, 71, 125-136. <https://doi.org/10.1080/04353676.1989.11880281>
- Holness, S.D. (2003). Sorted circles in the maritime Subantarctic, Marion Island. *Earth Surface Processes Landforms*, 28, 337-347. <https://doi.org/10.1002/esp.430>
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. En: *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (J.T. Houghton; Y. Ding; D.J. Griggs; M. Noguer; P.J. van der Linden; X. Dai; K. Maskell; C.A. Johnson, eds.). University Press, Cambridge, 881pp.
- Kessler, M.A.; Werner, B.T. (2003). Self-organization of sorted patterned ground. *Science*, 299, 380-

383. <https://doi.org/10.1126/science.1077309>
- Mott, R.; Lehning, M. (2010). Meteorological modelling of very high resolution wind fields and snow deposition for mountains. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 934-949. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1216.1>
- Pérez Alberti, A.; Coronato, A.; Costa Casais, M.; Valcarcel Diaz, M.; Rabassa, J. (2008). Wedge structures in Southernmost Argentina (Río Grande, Tierra del Fuego). *9th. International Conference on Permafrost*. International Permafrost Association, Fairbanks, 1381-1385.
- Potter, N.; Moss, J.H. (1968). Origin of the Blue Rocks block field and adjacent deposits, Berks County, Pennsylvania. *Geological Society of American Bulletin*, 79, 255-262. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1968\)79\[255:OOTBRB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1968)79[255:OOTBRB]2.0.CO;2)
- Pullan, R.A. (1959). Tors. *Scottish Geographical Magazine*, 75,51-55. <https://doi.org/10.1080/00369225908735766>
- Ribolini, A.; Bini, M.; Consoloni, I.; Isola, I.; Pappalardo, M.; Zanchetta, G.; Fucks, E.; Panzeri, L.; Martini, M.; Terrasi, F. (2014). Late-Pleistocene Wedge Structures Along the Patagonian Coast (Argentina): Chronological Constraints and Palaeo-Environmental Implications. *Geografiska Annaler A*, 96, 161-176. <https://doi.org/10.1111/geoa.12038>
- Rabassa, J.R. (2008). Late Cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. In: *The late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego* (J. Rabassa, ed.). Developments in Quaternary Sciences 11, Elsevier, Amsterdam, 151-204. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(07\)10008-7](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(07)10008-7)
- Reato, A.; Martínez, O.; Serrat, D.; Cano, M. (2017). Glaciarismo y periglaciarismo cuaternario en el cerro Nahuel Pan, sector extraandino del Chubut, Argentina. *XX Congreso Geológico Argentino*. Asociación Geológica Argentina, San Miguel de Tucumán, ST18, 78-83.
- Redondo Vega, J.M. (2004). El glaciar rocoso de Cerro Krund, Tierra del Fuego, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30, 169-180. <https://doi.org/10.18172/cig.1139>
- Roig, F.A. (1986). Tundra y tundrización en el SW de Santa Cruz, Argentina. *Acta Geocriogénica 4*. CONICET-CRCYT-IANIGLA, Río Gallegos, 129-140.
- Roig, F.A.; Anchorena, J.; Dollenz, O.; Faggi, A.; Méndez, E. (1985). Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral. En: *Transecta Botánica de la Patagonia Austral* (O. Boelcke; D. Moore; F.A. Roig, eds.). CONICET - Instituto de la Patagonia - Royal Society, Buenos Aires, 350-456.
- Santos González, J.; Redondo Vega, J.M.; Gómez Villar, A.; González Gutiérrez, R.B. (2011). Nuevas evidencias de la existencia de permafrost en los Andes Fueguinos (Argentina): régimen térmico del glaciar rocoso activo del Cerro Krund. En: *Aportaciones al conocimiento de los ambientes fríos (2009-2011)* (M. Valcárcel Díaz, ed.). Monografías del Grupo de Investigación, 2. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 37-53.
- Trombotto, D. (1998). Palaeo-permafrost in Patagonia. *Bamberger Geographische Schriften*, 15, 133-148.
- Trombotto, D. (2008). Geocryology of Southern South America. In: *The late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego* (J. Rabassa, ed.). Developments in Quaternary Sciences 11, Elsevier, Amsterdam, 255-268 pp. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(07\)10012-9](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(07)10012-9)
- Trombotto, D.; Wainstein, P.; Arenson, L.U. (2014). *Guía terminológica de la geociología sudamericana*. 1ª Ed. Vázquez Mazzini, Luján de Cuyo, 128 pp.
- Valcárcel Díaz, M.; Carrera Gómez, P.; Coronato, A.; Castillo Rodríguez, F.; Rabassa, J.; Perez Alberti, A., (2006). Cryogenic Landforms in the Sierras de Alvear, Fuegian Andes, Subantarctic Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, 17, 371-376. <https://doi.org/10.1002/ppp.564>
- Washburn, A.L. (1979). *Periglacial processes and environments*. St. Martin Press, London, 320 pp.
- Zambrano, J.; Urien, C. (1970). Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation of the Atlantic shore. *Journal of Geophysical Research*, 75(8), 1363-1396. <https://doi.org/10.1029/JB075i008p01363>
- WMO (2020). WMO Statement of the State of the Climate 2019. *World Meteorological Organization*, 1248, 44pp. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10211](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211). [Consulta 2 de marzo de 2020].
- Zhang, T. (2005). Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Review of Geophysics*, 43, RG4002, 23 pp. <https://doi.org/10.1029/2004RG000157>
- Zhang, T.; Barry, R. G.; Knowles, K.; Heginbottom, J. A.; Brown, J. (1999). Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere. *Polar Geography*, 23(2), 132-154. <https://doi.org/10.1080/10889379909377670>

Recibido el 1 de mayo de 2020

Aceptado el 2 de septiembre de 2020