



ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y MORFOMÉTRICO DE LAGUNAS DE ALTURA DE LOS ANDES FUEGUINOS MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA E IMÁGENES SATELITALES

Cristina N. SAN MARTÍN^{1,2}, Juan F. PONCE^{1,2}, Andrea CORONATO^{1,2}

¹Laboratorio de Geomorfología y Cuaternario (CADIC-CONICET) - Bernardo Houssay 200, CP 9410, Ushuaia, Argentina.

²Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (UNTDF) - De Los Niños 2382, CP 9410, Ushuaia, Argentina. cristinasm89@outlook.com*, jfedeponce@gmail.com, andrea.coronato@gmail.com

ABSTRACT

Geomorphologic and morphometric analysis of high mountain lakes in the Fuegian Andes using GIS and remote sensing imagery. Fuegian Andes are characterized by the development of glacial cirques and valleys. Many of these landforms are occupied by lakes. The objective of this study is to obtain a morphometric characterization of high altitude lakes of the Fuegian Andes, in the area between the south shore of the Lake Fagnano and the north shore of the Beagle Channel and the Argentina-Chile boundary at the W to 65°58'W at the E. Also the study presents the relationship between the morphometry, lithology and geomorphology emplacement and climatic characteristics. The identification, mapping and morphometric characterization of 187 lakes was carried out with a Geographic Information System (GIS) free and of open code QGIS 2.18.0 and with satellite imagery Landsat and Digital Elevation Models (DEM). The main orientation is to the SSE, like the major cirques in Fuegian Andes and South Hemisphere. The lakes have an area less than 1 km² and the circular lakes are the predominant ones, there is no lithological control. The recognition of Little Ice Age moraines around them allowed assigning a relative age to 32 of the lakes; lakes near to cirque glaciers show their recent retreat.

Palabras clave: geomorfología, morena, glaciar, Pequeña Edad de Hielo.

Keywords: geomorphology, moraine, glacier, Little Ice Age.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo realizar la primera caracterización morfométrica de lagunas de altura de los Andes Fueguinos, en el área comprendida entre la costa S del Lago Fagnano y la costa N del Canal de Beagle y entre el límite Argentina-Chile al O y los 65°58'O al E. Además se plantean las relaciones existentes entre morfometría, emplazamiento litológico y geomorfológico y características climáticas. Los Andes Fueguinos, al igual que gran parte del resto de la Isla Grande de Tierra del Fuego, fueron englazados en reiteradas oportunidades durante el Pleistoceno. Las principales geoformas producto de la erosión glacial son los circos y valles glaciales, que son el rasgo más distintivo y abundante del paisaje de los Andes Fueguinos. Turberas, tarns, lagunas en rosario, pequeños lagos y lagunas de altura ocupan actualmente el piso de varios de estos circos y valles desarrollándose entre 350 y 1030 m s. n. m. El área de estu-

dio presenta un clima templado-húmedo influenciado por los frentes de aire antártico y subantártico del Anticiclón del Pacífico Sur (Tuhkanen, 1992). La temperatura media anual al nivel del mar es de 5,9°C y de 2,4°C en el límite de bosques (elevación de 600±100 m) (Puigdefábregas *et al.*, 1988). Los vientos dominantes provienen del O-SO y la precipitación media anual al nivel del mar es de 546 mm/año. En alturas elevadas no existen registros instrumentales, pero los cálculos estadísticos sugieren que a una elevación de 535 m, la precipitación es el triple que al nivel del mar (Iturraspe *et al.*, 1989). En los Andes Fueguinos se encuentran presentes las formaciones Lemaire, Yahgán y Beauvoir (Jurásico-Cretácico). La Fm. Lemaire presenta la mayor extensión en el área de estudio y se compone principalmente de esquistos y pizarras. Las Fms. Yahgán y Beauvoir comprenden mayormente pizarras producto del metamorfismo de sedimentitas marinas. Ocupando valles y depresiones se desarrollan depósitos glacifluviales y till producto de la ac-

ción glacial del Pleistoceno y Holoceno (Olivero *et al.*, 2006).

La identificación, mapeo y caracterización morfométrica de lagunas y lagos se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) libre y de código abierto QGIS 2.18.0 con la utilización de imágenes Landsat (U. S. Geological Survey) y Modelos Digitales de Elevación (DEM - *Digital Elevation Model*) SRTM (*Space Shuttle Radar Topography Mapping Mission*) de los satélites ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) y Alos Palsar de 12,5 m de resolución espacial, de los cuales se tomaron las cotas de las geoformas de interés. El trabajo además se complementó con imágenes temporales disponibles en Google Earth[®]. Para cada laguna y lago se midieron perímetro (P), área (A), longitud máxima (L) y ancho máximo (I). Con la capa de polígonos y el DEM, mediante una operación del GIS, se obtuvo el valor de altura media (H_m), sobre el nivel del mar para cada lago y laguna. Se calculó el valor de desarrollo del perímetro (DL) para clasificarlas en forma circular o elíptica (Hutchinson, 1957). Este representa la relación entre la longitud de la línea de costa y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la del lago, y se obtiene mediante la fórmula: $DL=L/2\sqrt{\pi A}$. Las lagunas irregulares fueron identificadas como tal. También se identificaron glaciares y morenas cercanas a los cuerpos de agua.

Se analizaron un total de 187 lagunas. La orientación predominante es hacia el SSE. La H_m es 644,58 m s. n. m. La mayor cantidad de lagunas se posiciona entre 600 – 699 m s. n. m. con el 26%, y entre 700 – 799 y 500 – 599 m s. n. m. con el 19,89% y 17,74% respectivamente. En general se trata de lagunas pequeñas, menores a 1 km² de superficie. El A media es 0,04263 km², con valores mínimos de 0,0004 km² y máximos de 0,6763 km². La clasificación según DL arroja un 72% de lagunas circulares y 19% elípticas, el 9% restante corresponde a lagunas irregulares.

Respecto a la posición geomorfológica, 88 (47,83%) lagunas se encuentran en circos (tarns), 72 (39,13%) en valles, de éstas, 44 (23,91%) corresponden a valles colgantes, 23 (12,5%) están en cols y 1 (0,54%) en una depresión de ladera; en los valles y cols hay desarrollo de lagunas en rosario. Se realizó una comparación entre la posición geomorfológica, tomando las lagunas que se ubican en circos y valles (N=160), y la forma. Se obtuvo que de las lagunas de circo, el 85% presentan forma circular, el 14% son elípticas y el 1% es irregular. De las que se encuentran en valles el 55% son circulares, el 25% elípticas y el 20% irregulares.

En cuanto al emplazamiento litológico, el 72,73% se encuentra sobre la Fm. Lemaire, el 18,72% en Fm. Yaghan, el 1,60% en Fm. Beauvoir y el 6,95% restante se encuentran en una zona donde no se han definido los li-

mites entre las tres formaciones meta-sedimentarias (Sierra de Lucio Lopez y hacia el NO de la misma). En la Fm. Lemaire la mayoría de las lagunas se desarrollan en circos y valles en similar proporción (42,65% y 41,18%, respectivamente). Para la Fm. Yaghan 62,86% de las lagunas están en circos y 31,43% en valles. Las 3 lagunas ubicadas en rocas de la Fm. Beauvoir se encuentran en cols. En las metasedimentitas indiferenciadas hay 61,54% en circos y 38,46% en valles. Al comparar los datos de litología y forma de los cuerpos de agua se obtuvo que para la Fm. Lemaire el 69,85% son circulares, el 22,79% son elípticas y el 7,35% son irregulares. Para la Fm. Yaghan el 68,57% son circulares, el 11,43% son elípticas y el 20% irregulares. Para la Fm. Beauvoir y las metasedimentitas indiferenciadas todas las lagunas son circulares.

Del total de lagunas analizadas 32 se ubican en circos o valles con presencia de morenas. De éstas, 13 se ubican a menor cota que la/s morena/s asociada/s, 17 se encuentran aguas arriba de la/s morena/s y 2 lagunas se han desarrollado entre morenas.

Se registraron también 27 lagunas con presencia de glaciar en su cuenca. Los datos cruzados de lagunas con glaciar y con morena/s dieron un total de 16 lagunas con dichas características. De éstas, 7 lagunas se encuentran entre glaciar y morena.

El análisis morfométrico de lagos y lagunas de altura aquí presentado permite realizar algunas interpretaciones preliminares. La orientación predominante de las lagunas hacia el SSE es coincidente con la orientación predominante de los circos de Tierra del Fuego (Oliva *et al.*, 2012). La menor radiación solar en esa posición y la influencia de las precipitaciones habrían beneficiado las condiciones para la formación de glaciares (Coronato, 1996) y el posterior desarrollo de lagunas como parte de la acción erosiva del hielo. La forma circular predominante de las lagunas analizadas deriva de la acción erosiva glacial, la cual habría generado las cubetas necesarias para el emplazamiento de los cuerpos de agua. El desarrollo lateral de muchas lagunas estuvo restringido por la presencia de paredes escarpadas propias del relieve glacial y las rocas duras que las conforman. No se observa un control litológico respecto a la forma de las lagunas, ya que predominan las lagunas circulares para las cuatro formaciones. Esto hace suponer que tuvieron similar resistencia frente a la erosión glacial, principalmente en los circos y la mayoría de los valles.

Las morenas identificadas corresponderían a la PEH, esto se presume en base a su morfología fresca, no erosionada y a su proximidad a los frentes de hielo actuales (Menounos *et al.*, 2013, Ponce *et al.*, 2015). La identificación de estas morenas dentro de las cuencas lacustres analizadas permitió asignar una edad relativa para algunas lagunas. Las lagunas que se ubican a menor cota que las morenas podrían ser más antiguas que la PEH mien-

tras que las que se encuentran aguas arriba serían post-PEH. Las lagunas ubicadas entre morenas podrían haberse originado en un momento más cálido entre dos pulsos de avance glacial o ser post-PEH, acumulándose el agua por endicamiento de la morena más antigua. Luego de la PEH se habrían originado 17 lagunas, de las cuales 7 son lagunas proglaciales formadas posiblemente durante el último siglo y evidencian el retroceso reciente de glaciares actuales. Estos se ubican en la parte O de la Sa. de Alvear (4), en la Sa de Sorondo (2) y en la Sa. de Vinci-guerra (1).

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Coronato, A., 1996. Desarrollo de circos glaciares en el sector sudoccidental de los andes fueguinos (Argentina). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso Argentino de Hidrocarburos, Actas 4: 347, Buenos Aires.
- Hutchinson, E. 1957. A treatise on Limnology. Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons, Inc, 1015 pp. New York.
- Iturraspe, R., Sottini, C., Escobar, J., 1989. Generación de información hidro-climática en Tierra del Fuego. Hidrología y variables climáticas en Tierra del Fuego. Información Básica. Contribución Científica. 7, CADIC, 196 pp. Ushuaia, Argentina.
- Menounos, B. Clague, J., Osborn, G., Ponce, J. F., Davis, P. T., Goehring, B., Maurer, M., Rabassa, J., Coronato, A., Maar, R. 2013. Latest Pleistocene and Holocene Glacier Fluctuations in southernmost Tierra del Fuego, Argentina. *Quaternary Science Reviews* 77: 70-79.
- Oliva, L., Cioccale, M. A., Rabassa, J. O. 2012. Análisis morfológico de circos glaciares. Cordillera Fueguina, Tierra del Fuego, Argentina. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: 1122-1123, Córdoba.
- Olivero, E.B., Malumián, N., Martinioni, D.R. 2006. Mapa Geológico a escala 1:400 000 de la Isla Grande de Tierra del Fuego e Isla de los Estados, Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. República Argentina. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Ponce, J.F., Menounos, B., Fernandez, M., Schaefer, J. 2015. Chronology and extent of outermost cirque moraines in the southernmost Fuegoian Andes and Canadian Cordillera. 6° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Libro de resúmenes: 225, Ushuaia.
- Puigdefábregas, J., Del Barrio, G., Iturraspe, R., 1988. Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al límite superior del bosque. *Pirineos* 132: 37-48.
- Tuhkanen, S., 1992. The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica* 125: 4-17.
- United States Geological Survey. <http://earthexplorer.usgs.gov/>