

III ENCUENTRO DE JÓVENES INVESTIGADORES

**Resultados del inventario de Glaciares de
escombros realizado en la cuenca del río
Frío, Calingasta. San Juan.**

Línea Temática: Estudios de la tierra y el espacio, Cambio
Climáticos y Naturales. Catástrofes Naturales.

INGEO - FCEFyN - UNSJ

RESULTADOS DEL INVENTARIO DE GLACIARES DE ESCOMBROS REALIZADO EN LA CUENCA DEL RÍO FRÍO, CALINGASTA. SAN JUAN.

1- INTRODUCCION

El presente trabajo muestra los resultados generales obtenidos en los procesos de relevamiento, inventario y caracterización de las geoformas asociadas al ambiente periglacial presente en la subcuenca del río Frío. Dicho estudio ha sido realizado para la realización de la tesis final de licenciatura en Ciencias Geológicas de la autora de la presente publicación. La investigación ha estado enmarcada en el Proyecto: "*Inventario de Glaciares de la Cuenca del Río San Juan*", convenio entre el Gobierno de la Provincia de San Juan y la Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan. La finalidad del proyecto es brindar información para la, recientemente sancionada, *Ley Nacional 26639 de Presupuestos Mínimos para la Preservación de Glaciares y Ambiente Periglacial* en la República Argentina.

La zona de estudio corresponde al Departamento de Calingasta, sector centro- oeste de la provincia de San Juan, Argentina.. Las coordenadas geográficas de referencia son: 70°18'23" O y 70°11'44" O de longitud y 31°2'27" S hasta los 31°11'23" S de latitud (Figura 1). La zona se encuentra en el ámbito de la provincia geológica de Cordillera Frontal.

La zona de estudio está limitada por la divisoria de agua de la subcuenca del río Frío. Dicho curso hídrico, drena hacia el río Salinas, que es un importante afluente del río Blanco, el que a su vez, alimenta el río Los Patos, el afluente más importante del río San Juan. La zona limita hacia el noreste, una conspicua divisoria de aguas a 4.200 m.s.n.m., con las nacientes de la cuenca del río Castaño. Es importante mencionar que el proyecto minero Los Azules, se encuentra dentro de esta subcuenca.

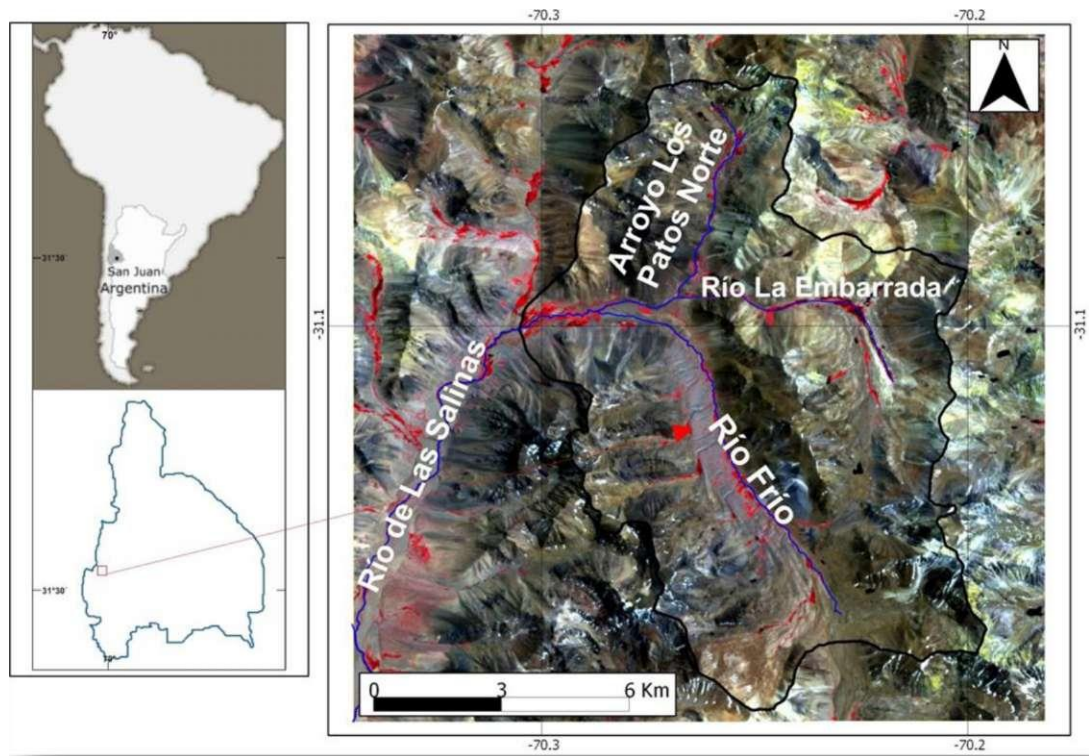


FIGURA 1: Subcuenca del río Frío.

2- FUNDAMENTACION

Argentina cuenta con un amplio desarrollo de ambiente glacial y periglacial, principalmente en su territorio andino, donde nacen importantes ríos que recorren el país de oeste a este, hasta el océano Atlántico. De acuerdo con cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km² cubiertos por glaciares, con un 75% del área total ubicada en Chile. Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, con cerca del 15% del área total de glaciares sudamericanos. (Williams y Ferrigno 1999; WGMS-UNEP 2007). Estos porcentajes otorgan tanto a Chile como a la Argentina un mayor grado de responsabilidad para el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta.

La importancia ambiental, científico-académica, geopolítica, socio-económica de los cuerpos de hielo, ha llevado a que el 28 de Octubre de 2010, el Congreso de la Nación de Argentina, promulgue la Ley Nacional 26.639 de "Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente

Periglacial". El Artículo 4 de dicha ley contempla, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares, que individualice y registre todos los glaciares y geoformas periglaciales que actúan como recursos hídricos estratégicos en el territorio nacional, estableciendo su dimensión y su estado (en avance, retroceso, o estacionarios) a fin de conocerlos, monitorearlos y poder planificar la gestión y uso del recurso agua. Este tipo de información y el conjunto de normas de protección establecidas por la mencionada ley son fundamentales para un desarrollo sustentable y armonioso del medio ambiente cordillerano, disminuyendo particularmente la vulnerabilidad de sectores productivos en el oeste argentino que dependen de los escasos recursos hídricos que se generan casi en su totalidad a partir del derretimiento de la nieve y los cuerpos de hielo en la Cordillera de los Andes (IANIGLA, 2010).

Actualmente existen proyectos cuyos objetivos es inventariar todos los glaciares del mundo. Los dos proyectos más importantes de inventarios globales de glaciares son: *World Glacier Inventory (WGI)*, coordinado por el *World Glacier Monitoring Service (WGMS)* con sede en Suiza, y el *Global Land Ice Measurements From Space (GLIMS)*. Los datos son manejados por el *National Snow and Ice Data Center (NSIDC)* en Colorado, USA. Ambos proyectos están relacionados, pero *el WGI* depende en gran medida del análisis de fotografías aéreas y mapas mientras que *GLIMS* se basa en imágenes satelitales y modelos digitales de elevación, que permiten estimar el área y otros parámetros importantes para caracterizar y poder hacer un seguimiento de los glaciares a través del tiempo. Una iniciativa más reciente es el *GlobGlacier* Proyecto de la *European Space Agency (ESA)*.

Las cuencas hídricas cordilleranas de la provincia de San Juan, forman parte del sector Los Andes Centrales, que conforma uno de los sistemas orográficos más elevados de la Cordillera de los Andes argentina, con cotas de alrededor de 6.000 m de altura en los picos más altos, entre los que se destacan el Cerro Aconcagua de 6.960,8 msnm y el Cerro Mercedario de 6.770 msnm. El clima es continental con reducidas precipitaciones, intensa radiación, congelamiento y descongelamiento diarios, y un relieve muy accidentado (Corte y Espizúa, 1981). En estos ambientes se han desarrollado gran cantidad de glaciares descubiertos, cubiertos y de escombros, que constituyen parte fundamental del sistema hidrológico.

3- METODOLOGIA Y DESARROLLO

La metodología utilizada está basada en las sugeridas por IANIGLA (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales), que es la institución del CONICET, a cargo de la coordinación del inventario a nivel nacional. Con la finalidad, de homogeneizar criterios en el modo de trabajo y presentación de los resultados de todos los núcleos de investigación del país. Para la obtención del mapeo del sistema hidrográfico, se aplicó la metodología de análisis digital de terreno en diversos modelos digitales de elevación: ASTER GDEM 2 y SRTM; los mapas obtenidos son posteriormente editados en GIS como KOSMO 2.01. Para el mapeo de glaciares descubiertos y manchones de nieve se realizó delimitación automática de hielo descubierto, basada en el uso de clasificaciones espectrales supervisadas sobre imágenes del satélite Terra, del sensor ASTER de los años 2005 y 2009, con el software Spring 5.1.8, provisto por el Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil (INPE). Para el mapeo de glaciares cubiertos, de escombros y geoformas criogénicas menores, en el SIG KOSMO 2.01, se utilizó la metodología de la digitalización manual a partir de imágenes satelitales de buena resolución espacial (ASTER del satélite Terra y HRC del satélite CBERS 2B), por ser las que mejores resultados ofrecen en esta tarea. La realización de una base de datos para todos los cuerpos de hielo mapeados dentro del área de estudios, ha sido fundamental para la obtención de diversos parámetros físicos y descriptivos para cada uno de ellos, requeridos para el Inventario Nacional de Glaciares. El modo de presentación de la información obtenida: gráficos, mapa final y tablas, también está basada en las sugerencias del IANIGLA (2012). La ejecución del Inventario de Glaciares y geoformas del ambiente Periglacial en la República Argentina, sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS 1970; Müller 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) (Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010).

4- RESULTADOS Y DISCUSION

La zona de estudios se caracteriza por un amplio desarrollo de ambiente periglacial. Se han identificado, dentro de la subcuenca del río Frío 105 cuerpos de hielo que cubren una superficie de 7,0948 Km², lo que representa el 6,83% del área total de la subcuenca (104 Km²). En la Tabla 1 puede observarse el área que ocupan las diferentes geoformas inventariadas. No se han encontrados manchones de nieve, glaciares descubiertos, cubiertos y ninguna geoformas del ambiente glacial.

Los glaciares de escombros y los prótalus, han sido digitalizados manualmente, a partir de visualización de imágenes de alta resolución espacial complementada con observaciones en el terreno. Tomando como base Imágenes del sensor ASTER del satélite TERRA. Y las imágenes del sensor HRC (High-Resolution Panchromatic Camera), del satélite CBERS 2B (China Brasil Earth Resources Satellite) fueron las utilizadas para visualizaciones. Como soporte visual, además, se han observado las cartografías y fotografías satelitales otorgadas por los programas informáticos Google Earth y Nasa World Wind.

Tabla 1: Superficie total inventariada en la subcuenca del río Frío. Cuenca del río Blanco.

Tipo de geoformas inventariadas.	Área total ocupada (km ²).	Numero de Cuerpos.
Glaciar escombros activos	2,7884	10
Glaciar escombros inactivos	1,632	29
Glaciar escombros probablemente fósiles	0,891	7
Prótalus Rampa	1,7834	59

En el grafico de torta (Fig. 2) puede observarse la distribución por área de cada una de las geoformas inventariadas con respecto a la superficie de la cuenca donde se ubican. Este resultado es muy importante para futuras investigaciones, ya que a medida que se vaya actualizando el inventario, se podrán comparar las variaciones en superficie que presenten cada una de las clases inventariadas.

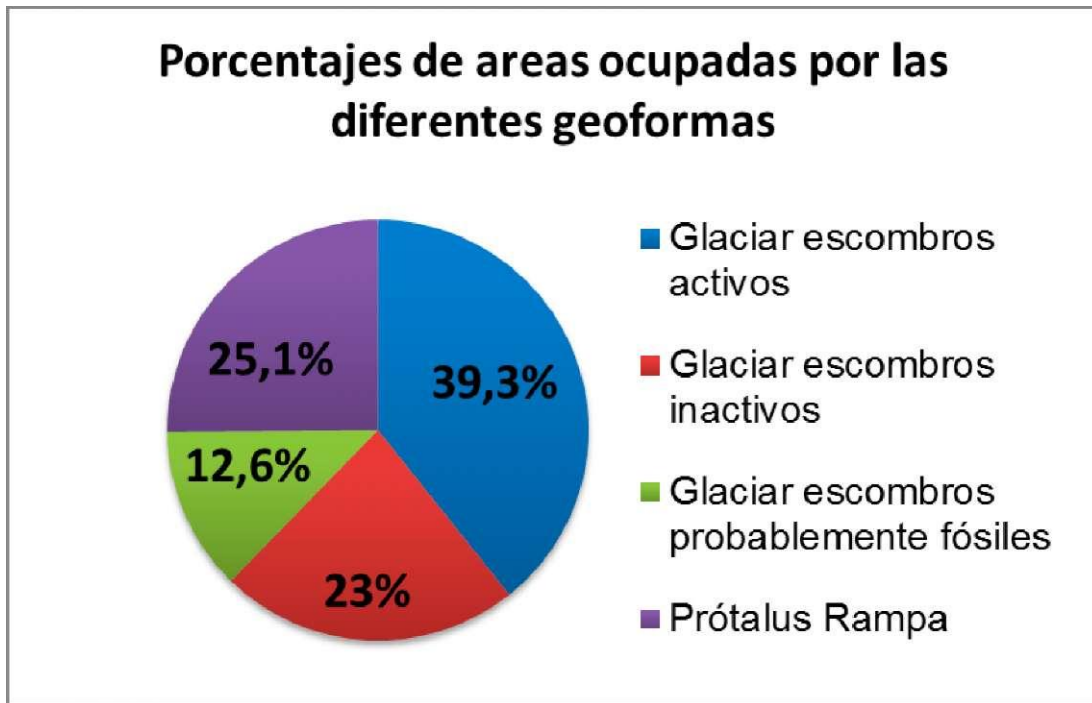


Figura 2: Distribución de acuerdo a las superficies ocupadas por los cuerpos de hielo inventariados en Subcuenca del río Frío.

Los resultados de los cálculos de Orientación media, han sido comparados con la superficie de los diferentes cuerpos de hielo (Ver tabla 2). Dicha comparación se expresa en un gráfico de rosa de los vientos, los cuales nos indicarán la orientación predominante de las geoformas inventariadas de la Subcuenca. (Fig. 3).

Tabla 2: Orientaciones medias

Orientación	Superficie ocupada (Km)	Cantidad de cuerpos
Norte	1,0359	9
NE	0,139	7
E	1,9625	23
SE	0,6901	19
S	1,0303	27
SO	1,118	5
O	0,461	10
NO	0,581	5

Orientacion Media

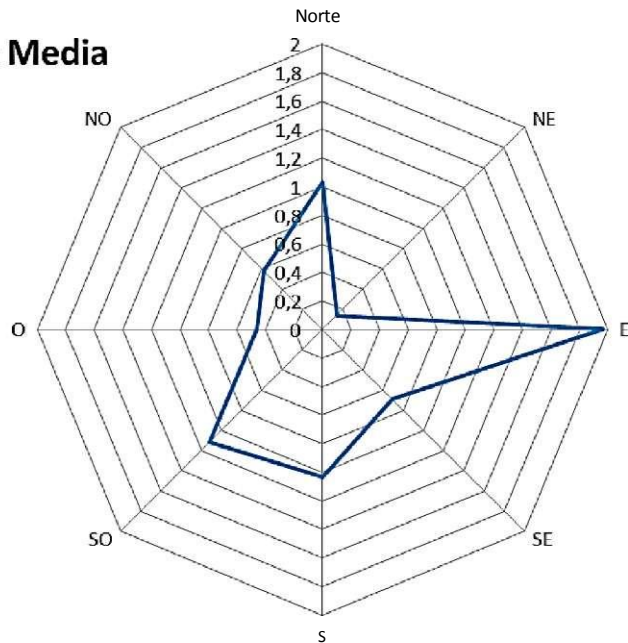


Figura 3: Rosa de los vientos de orientaciones de acuerdo con la superficie de los cuerpos de hielo en la Subcuenca del río Frío. La orientación predominante de los cuerpos de hielo es el Este.

Otro de los resultados importantes que fueron obtenidos a partir del análisis de los datos de la base de datos fue la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo que ha permitido realizar diferentes resultados y conclusiones. En la tabla 3 puede visualizarse que los cuerpos de pequeño tamaño ($<0,05 \text{ km}^2$) son claramente mucho más numerosos que los cuerpos más grandes. Sin embargo, cuando se analizan las superficies relativas cubiertas por las distintas clases de áreas, se puede observar que a pesar de ser muy pocos, los cuerpos entre 0,1 y 0,5 km^2 , cubren en total mucha más superficie que la gran cantidad de cuerpos pequeños de la cuenca (Fig. 4).

Tabla 3: Sumatorias de áreas y cantidad de geofomas que se encuentran dentro de cada intervalo de superficies.

Área Mín (km ²)	Área Max (km ²)	Superficie (km ²)	Cantidad de Polígonos
0,001	0,01	0,1315	21
0,01	0,05	1,297	51
0,05	0,1	1,1533	17
0,1	0,5	3,325	14
0,5	1	1,188	2

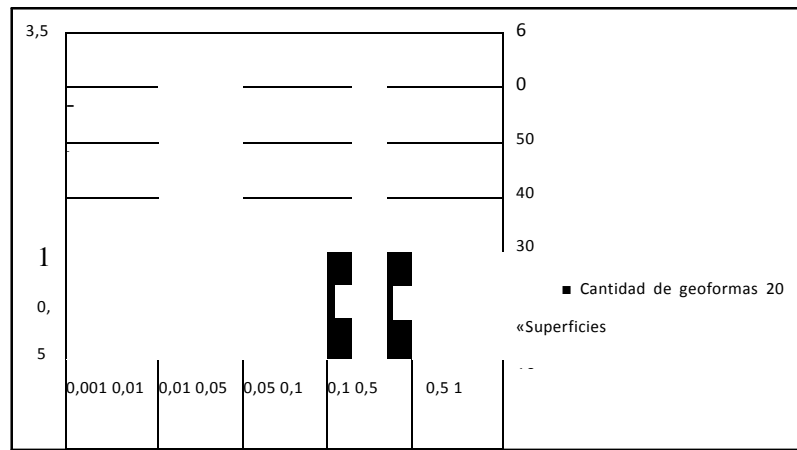


Figura 4: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Blanco, clasificados en siete categorías o clases de áreas.

Las geoformas periglaciales mapeadas en subcuenca del río Frío (Glaciares de escombros y Prótalus Rampart), presentan una disposición de altitudes medias entre los 4233 y 3624 m.s.n.m. (Figura 5). Representando un rango altitudinal de aparición de geoformas de 609 metros.

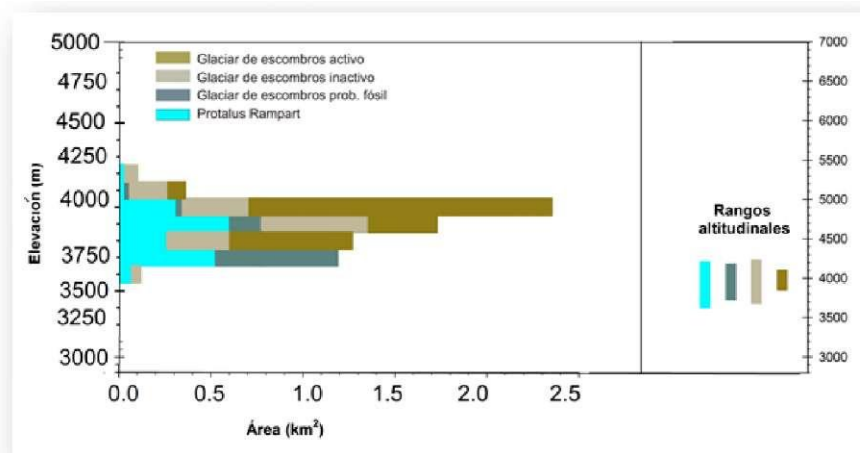


Figura 5: Hipsometría de alturas medias de los cuerpos de hielo en la subcuenca del río Frío.

Como puede apreciarse en la Tabla N° 4 los glaciares de escombros activos poseen una altitud media promedio de 3999 m.s.n.m. La altura media mínima de estas geoformas es de 3850 m.s.n.m. y la máxima de 4107 m.s.n.m. Poseen el menor rango de distribución altitudinal con 257 m. Los glaciares de escombros inactivos poseen una altitud media promedio de 3957,5 m.s.n.m. La altura media

mínima de estas geoformas es de 3682 m.s.n.m. y la máxima de 4233 m.s.n.m. Con un rango de distribución altitudinal de 511 m. Los glaciares de escombros probablemente fósiles poseen una altitud media promedio de 3966 m.s.n.m. La altura media mínima de estas geoformas es de 3729 m.s.n.m. y la máxima de 4186 m.s.n.m. Con un rango de distribución altitudinal de 457 m. Los prótalus Rampart poseen una altitud media promedio de 3944 m.s.n.m. La altura media mínima de estas geoformas es de 3624 m.s.n.m. y la máxima de 4211 m.s.n.m. Poseen el menor rango de distribución altitudinal con 587 m.

Tabla N° 6: Máximas y mínimas cotas medias de los diferentes tipos de Geoformas.

Tipo de Geoforma	Altura Mínima	Altura Máxima.
<i>Glaciar de escombros activo</i>	3850	4107
<i>Glaciar de escombros inactivo</i>	3682	4233
<i>Glaciar de escombros probablemente fósil</i>	3729	4186
<i>Protalus Rampart</i>	3624	4211

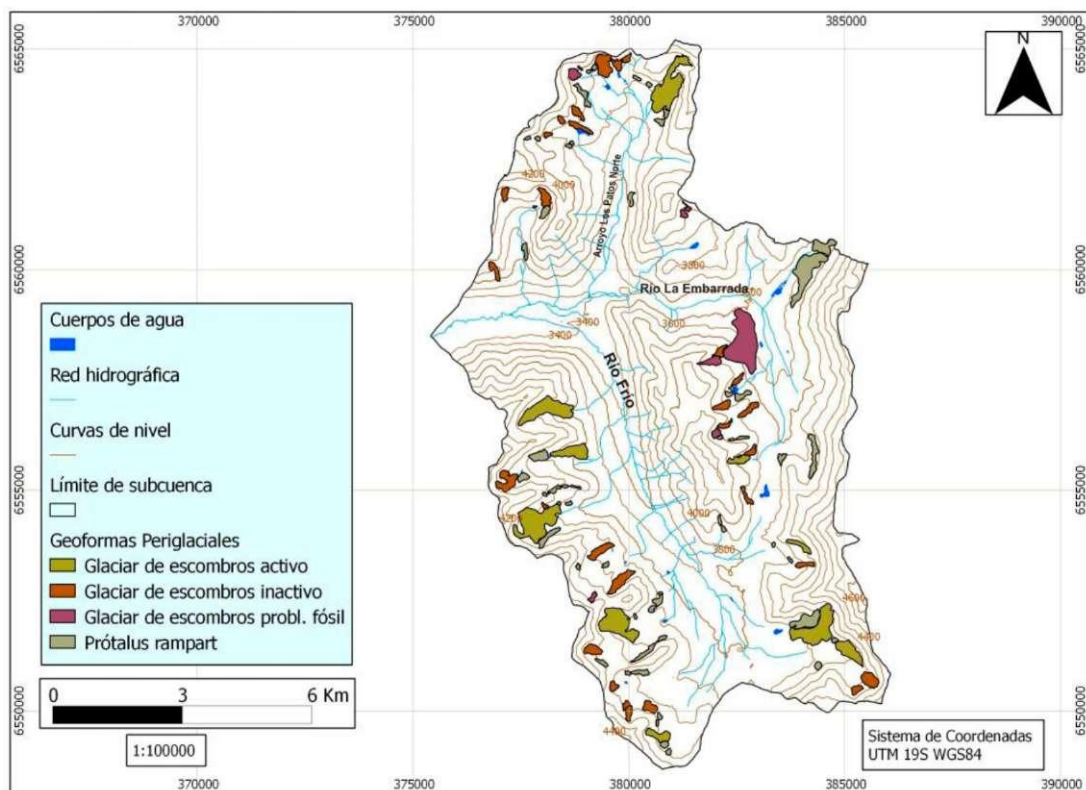


Figura 6: Mapa de la subcuenca del río Frío, con el mapeo de glaciares de escombros y prótalos identificadas.

5- CONSIDERACIONES FINALES

Es fundamental, la realización de inventarios de cuerpos de hielo, individualizando y registrando todos los glaciares y geoformas periglaciales que actúan como recursos hídricos estratégicos, para estudios, monitoreos, planificaciones de gestión y uso del recurso agua, y protección de los diferentes recursos para un desarrollo sustentable y armonioso del medio ambiente cordillerano. Disminuyendo particularmente la vulnerabilidad de sectores productivos en el oeste argentino que dependen de los escasos recursos hídricos que se generan casi en su totalidad a partir del derretimiento de la nieve y los cuerpos de hielo en la Cordillera de los Andes. (IANIGLA, 2010).

El uso de plataforma SIG es importante al momento de la realización de inventarios de cuerpos de hielo, ya que un proyecto SIG permite vincular la información espacial contenida en la base de datos del proyecto con otros proyectos; además de estar abierto a cambios, correcciones o ampliaciones futuras. El trabajo de control de campo es muy importante, para todo inventario, ya que muchas estructuras, geoformas y características no pueden ser percibidas desde imágenes satelitales. En este inventario el control de campo del inventario, reveló una alta coincidencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de imágenes satelitales. Sin embargo, en el campo se lograron detectar criofomas que no habían sido mapeadas porque se ubicaban en sectores con sombra o por mala resolución en las imágenes satelitales. También se detectaron errores en la clasificación de geoformas, ya que muchos cuerpos mapeados como glaciares de escombros inactivos, eran glaciares de escombros fósiles o morenas. Además, muchos glaciares de escombros mapeados como activos, se comprobó que eran inactivos en el campo, a través de detección de vegetación sobre la superficie de la mesoforma, mediciones de pendiente, observaciones superficiales y de subsuelo (métodos geofísicos).

6- BIBLIOGRAFIA

Castro, M., Delgado, S., Ferrari Hidalgo L., Zalazar L., Falaschid D., Lenzano G., Masiokas M., Pitte P., Ruíz L. 2012. "Manual para la realización del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente periglacial" IANIGLA-CONICET.

Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.

Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalbar. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS

Forte, A. 2014. Inventario de Glaciares y Geoformas del Ambiente Periglacial en la subcuenca del río Frío. Cordillera Frontal. Provincia de San Juan. Argentina. Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas. FCEF. UNSJ. Inédito.

IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico - CONICET Mendoza.

Müller, F.1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.

Racoviteanu, A.E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S. Y Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. Annals of Glaciology 50 (53).

WGMS. 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSU)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 p.

WGMS, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.

Williams, R.S., Jr., Ferrigno, J.G. (eds.) 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World - South America. USGS Professional Paper 1386-I.