

# ***Inventories of the cryosphere in the Andes: the cases of Chile and Argentina***

**Xavier BODIN**

Laboratoire EDYTEM

CNRS / Université Savoie Mont-Blanc

Le Bourget-du-Lac, France

*Laboratoire EDYTEM, Le Bourget-du-Lac, France, 20 March 2019*

*Preparatory workshop IPA Action group "Rock glaciers inventory  
and kinematics"*



**Quebrada del Medio, Mendoza area, AR**  
3300 → 4000 m asl, 32.97°S



**El Paso, San Juan area, AR**  
4600 → 5100 m asl, 30.23°S








La Paloma, Santiago area, CL  
3600 → 3900 m asl, 33.19°S





Mina Los Bronces, Santiago area, CL  
3200 → 4500 m asl, 33.15°S



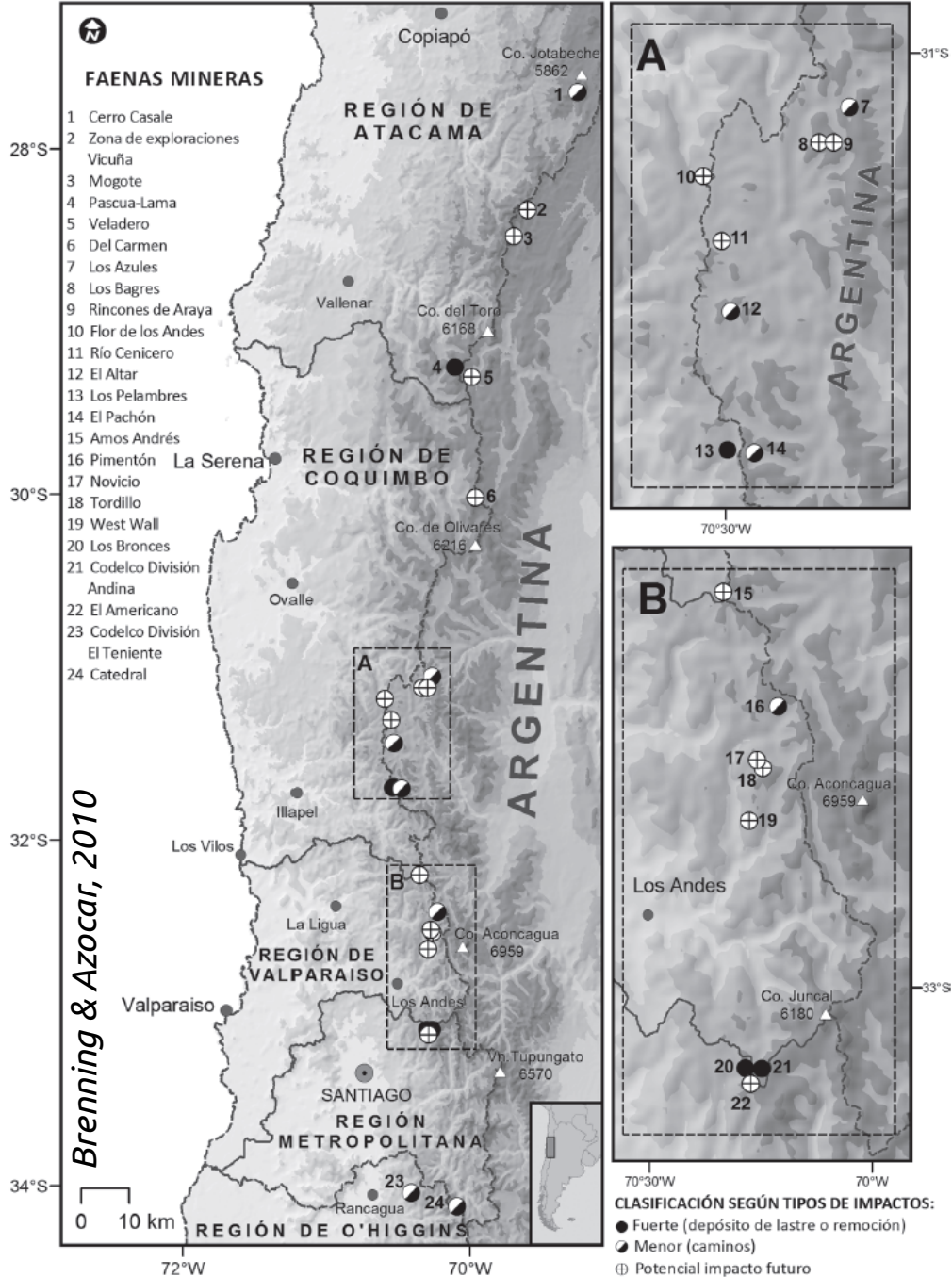


Glaciar de escombros Morenas Coloradas, Mendoza

# Términos geocriológicos



# Context | Why studying rock glaciers in the Andes ?



Societal demand:

- rgl as a water resource
- socio-political issues...



# Context | Why studying rock glaciers in the Andes ?

Societal demand:

- rgl as a water resource
- socio-political issues...

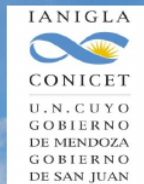
## Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

IANIGLA-CONICET

Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza



REPÚBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE PROYECTOS UC

**DINÁMICA DE GLACIARES ROCOSOS**

**EN EL CHILE SEMIÁRIDO:**

**VOLUMEN II**

**INVENTARIO DE GLACIARES ROCOSOS**

**CUENCAS DE LOS RÍOS**

**ELQUI, LIMARÍ Y CHOAPA**

**REALIZADO POR:**

**UNIDAD DE GESTIÓN DE PROYECTOS UC**











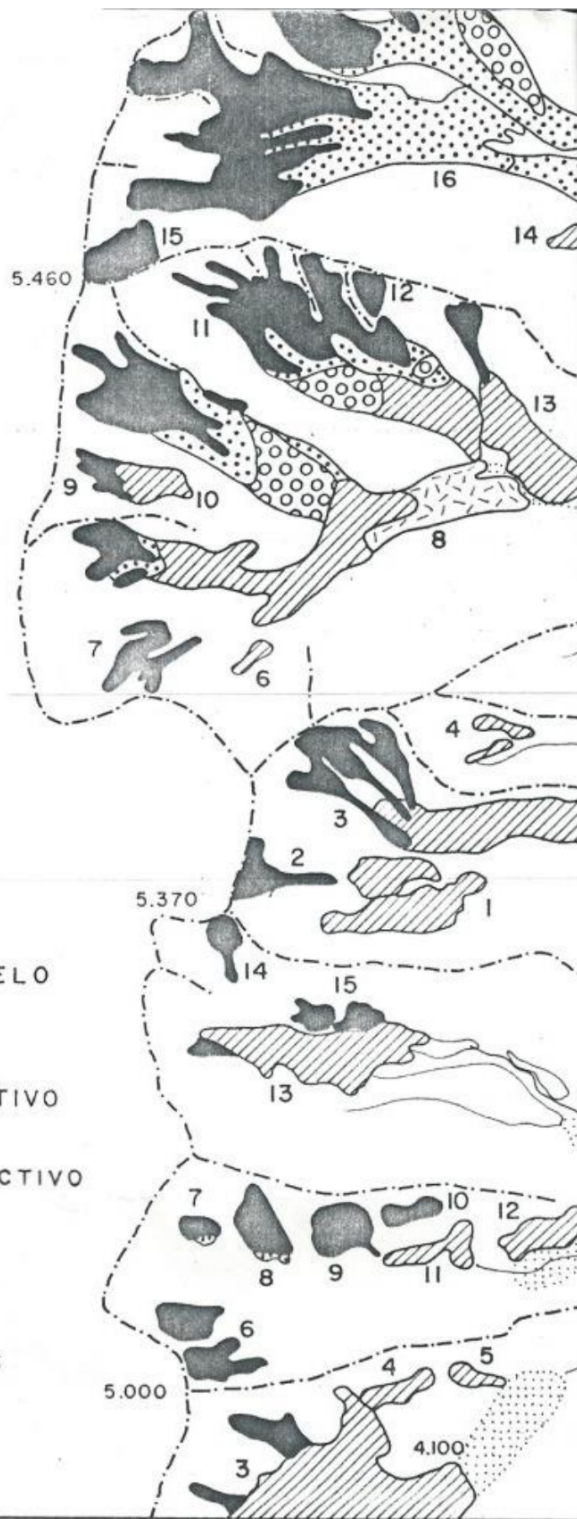




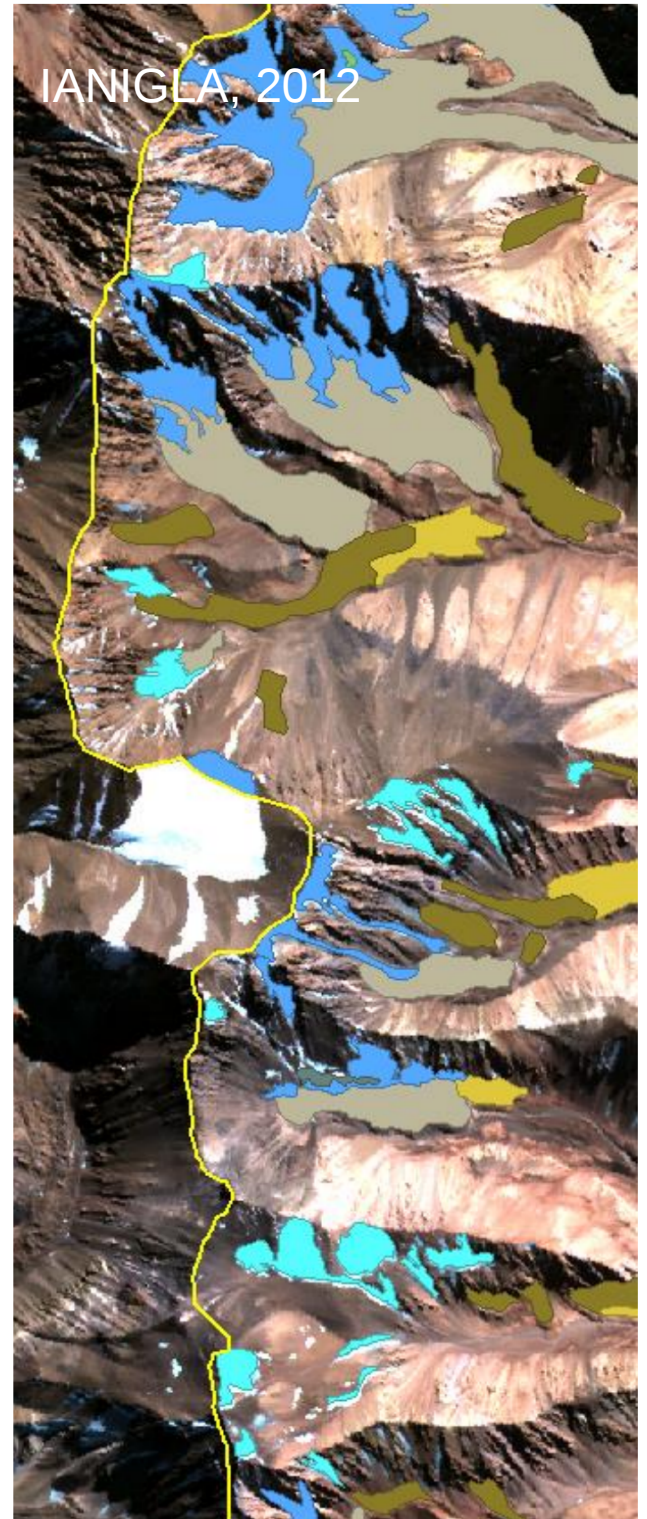


Espizua, 1983

-  HIELO DESCUBIERTO
-  MORENA CON NUCLEO DE HIELO
-  TERMOCARST
-  GLACIAR DE ESCOMBROS ACTIVO
-  GLACIAR DE ESCOMBROS INACTIVO
-  MORENAS PLEISTOCENICAS
-  VEGA Y/O TURBERA
-  DEPOSITOS GLACIOFLUVIALES



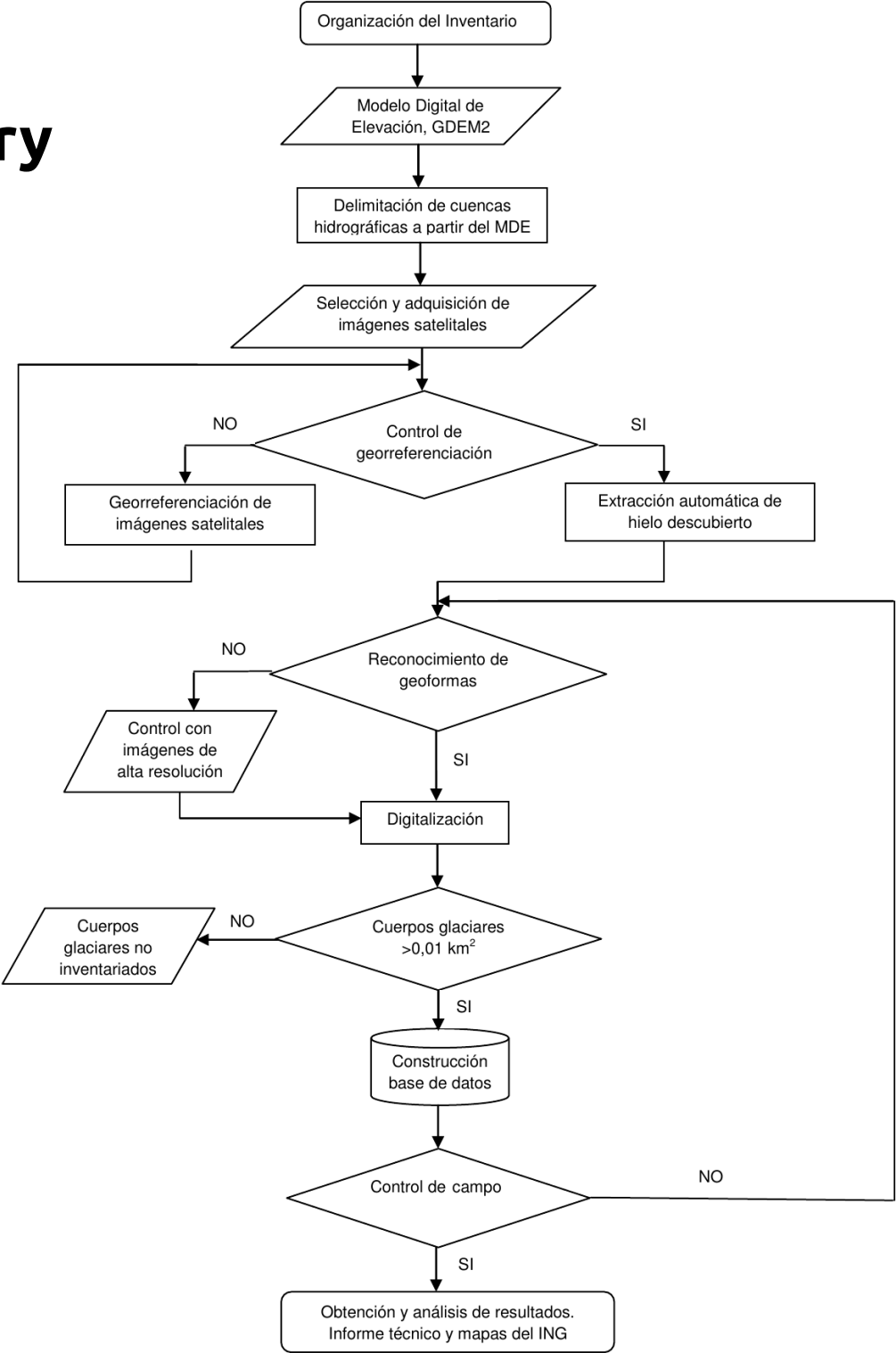
IANIGLA, 2012



33° 15'  
69° 45'



# Workflow of the Argentinean inventory





# IANIGLA definition of rock glacier

*Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea). Los glaciares de escombros pueden tener diferentes morfologías (ver Anexo 1).*



# Influence of image quality

Landsat (15m), ASTER (10m), ALOS-PRISM (2.5m), SPOT + Google Earth database



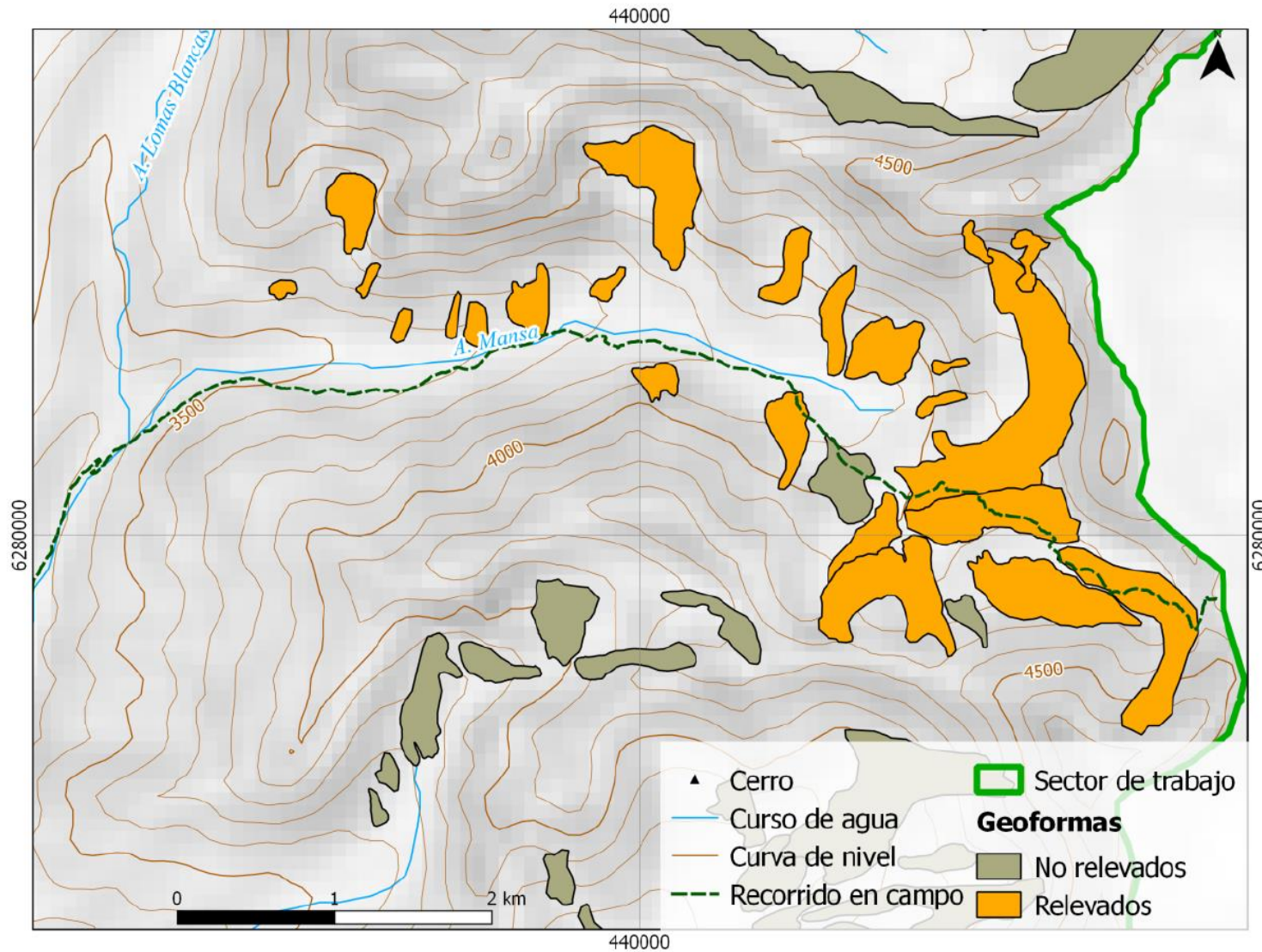


# Field verification (Argentinean inventory)

## 7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

A continuación se detallan algunas de las geoformas observadas durante el trabajo de campo.

### Quebrada Portillo Argentino Oeste





Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Tiene una característica forma de lengua y se observan surcos y crestas muy marcados en su superficie.



**Glaciar de escombros G696332O336058S**



# Database: attributive fields for rock glaciers (IANIGLA, 2012; Argentina)

## 18. Origen GE

0. Incierto
1. Criogénico: aquellos glaciares de escombros sin relación actual con los glaciares y generados a partir de taludes y canaletas nivo-detriticas.
2. Glacigénico: aquellos glaciares de escombros originados a partir de un glaciar descubierto o cubierto.
3. Combinado 1 y 2

## 19. Actividad del GE

0. Incierto
1. Activo: presenta evidencias de movimiento pendiente abajo y señales del mismo en superficie. En general este tipo de glaciares tiene una topografía superficial muy irregular y desarrollan pendientes frontales muy pronunciadas (35°-45°).
2. Inactivo: no presentan movimiento pendiente abajo, pero que todavía contienen hielo.

## 20. Forma del GE

0. Incierto
1. Lengua: largo del glaciar mayor que el ancho
2. Lobado: ancho del glaciar mayor que el largo
3. Espatulado
4. Coalescente
5. Otras



# Database:

## attributive fields for rock glaciers (Azocar et al, 2016; Chile)

CARACTERÍSTICAS DE IDENTIFICACIÓN					
Nº	CÓDIGO	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	FUENTE
1	COD_GLA	Código identificador	Código identificador definido según normas del World Glacier Inventory (WGI), de 6 caracteres:  2 Caracteres para país ( Chile = RC) 1 Carácter para continente ( Sudamérica = 1) 3 Caracteres para código de cuenca 3 Caracteres para código local del glaciar rocoso <i>Ejemplo:</i> RC            1            045            001 CHILE /SUDAMERICA/ COD.CUENCA /COD. LOCAL	-	Convención del World Glacier Monitoring Service
2	NOMBRE	Nombre	Cuando sea aplicable	-	-
3	REGION	Región	División política administrativa regional	-	-
4	COMUNA	Comuna	Código de la división política administrativa según código censal 2002: 4305 = Río Hurtado 4303= Monte Patria 4302 = Combarbala 4201 = Illapel 4204 = Salamanca 4106 = Vicuña 4105 = Paihuano	-	INE Censo 2002
5	CUENCA_HID	Cuenca Hidrográfica	Código de la cuenca hidrográfica según la división de cuencas hidrográficas DGA 043= Cuenca del río Elqui 045= Cuenca del río Limarí 047= Cuenca del río Choapa	-	Shapefile cuencas DGA



CARACTERÍSTICAS DEL GLACIAR ROCOSO					
POSICIÓN Y MORFOMETRÍA					
Nº	CÓDIGO	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	FUENTE
11	XPIE, YPIE	Coordenada inferior	Coordenada UTM a los pies del glaciar rocoso.	m	ASTER GDEM
12	XCTR, YCTR	Coordenada central	Coordenada UTM en el centro geométrico o visual.	m	ASTER GDEM
13	ZPIE	Altitud del pie	Altitud a los pies del glaciar rocoso, según la dirección del flujo	m	ASTER GDEM
14	AREA	Área	Área planimétrica del glaciar rocoso incluyendo frente	km <sup>2</sup>	Polígono digitalizado
15	ANCHO	Ancho	Ancho promedio del glaciar rocoso, calculando el ancho en la parte superior, central e inferior	m	Línea digitalizada
16	LARGO	Largo	Máximo largo superficial del glaciar rocoso, excluyendo la pendiente del frente y medido a lo largo del patrón de flujo	m	Línea digitalizada
17	ORIENTA	Orientación	Derivado del patrón de flujo de la estructura superficial: N – NE – E – SE – S – SW – W – NW	-	Fotografías aéreas GEOTEC y ASTER GDEM
18	FORMA	Forma	1= Lóbulo (largo < ancho) 2= Transicional 3= Lengua 4= Complejo	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
19	ESTRUCTURA	Estructura	Singular: Una sola unidad en relación a su frente. Compleja: Varios frentes, unidades de lóbulos o diverso origen del material en el glaciar rocosos.	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
20	ESPESOR_EST	Espesor	Aplicación de la fórmula propuesta por Brenning (2005a), en la que el espesor estimado es: Espesor = $50 \times (\text{área [km}^2])^{0.2}$	m	Polígono digitalizado
21	VOLUMEN 40 VOLUMEN 60	Volumen	Volumen estimado en relación al área y ESPESOR del glaciar rocoso, utilizando una densidad del hielo de 0,9 g /cm <sup>3</sup> y un contenido volumétrico promedio de hielo de un 40 y 60%. (Brenning, 2005a; Azócar & Brenning, 2010a)	m <sup>3</sup>	Área del polígono y ESPESOR estimado

## CARACTERÍSTICAS DEL GLACIAR ROCOSO

### GENÉTICA Y DINÁMICA

Nº	CÓDIGO	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	FUENTE
22	TIPO	Clasificación genética	<p><i>De talud:</i> Los glaciares rocosos de talud se desarrollan principalmente a partir del material detrítico proveniente de los taludes de escombros.</p> <p><i>Morrénico:</i> Los glaciares rocosos morrénicos están conectados y se desarrollan a partir de morrenas terminales y laterales de glaciares existentes o retrocedidos.</p>	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
23	ACTIVIDAD	Actividad	<p><i>Activo:</i> Exposición de material fino en la parte superior del frente indica actividad, reflejándose por una textura clara en la fotografía aérea.</p> <p><i>Inactivo:</i> Una suave transición entre la pendiente del frente y la superficie del glaciar rocoso indica inactividad.</p> <p><i>Intacto:</i> Si la información disponible no permite distinguir entre activo e inactivo. A la vez intacto indica que el glaciar rocoso no es relictos ("fósil"). No está previsto incluir glaciares rocosos relictos en el inventario porque no contienen hielo. (Brenning, 2005a)</p>	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
24	ACT_CERTI	Certidumbre actividad	<p>Nivel de confianza en la estimación de la actividad del glaciar rocoso</p> <p>1= Comprobado (p.ej. por mediciones geodésicas) 2= Certeza alta en base a fotografías aéreas e imágenes satelitales 3= Medianamente cierto 4= Poco cierto</p>	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth y estudios existentes
25	ESTABILID	Estabilidad estructural	<p><i>Estable:</i> Sin evidencia de aceleramiento o inestabilidad.</p> <p><i>Inestable:</i> Presenta grietas, arranques u otra evidencia de aceleramiento o potencial inestabilidad del glaciar rocoso. Los glaciares rocosos con sobrecarga de material depositado en forma natural o antropogénica también se consideran potencialmente inestables.</p>	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth y estudios existentes



**CARACTERISTICAS DEL GLACIAR ROCOSO****TOPOCLIMA**

<b>Nº</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FUENTE</b>
26	PENDIENTE	Pendiente promedio	Pendiente promedio del glaciar rocoso calculada con el SIG SAGA utilizando el algoritmo de Zevenbergen y Thorne (1987)	°	ASTER GDEM
27	SOLRAD	Radiación promedio	Promedio de radiación potencial directa para los meses de enero y febrero. Calculada con R-SAGA usando los siguientes parámetros: Constante solar 1.367 W/m <sup>2</sup> , transmisividad de la atmosfera 0,8 e intervalo de tiempo 5 días.	kW/m <sup>2</sup>	ASTER GDEM

**CARACTERISTICAS DE SITUACIÓN****CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO**

<b>Nº</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FUENTE</b>
28	POSICION	Posición	1 = Cabecera del valle incluyendo circo 2 = Ladera del valle 3 = Fondo de valle	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
29	CONEXION	Conexión al área de origen	Directa, No Directa	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth
30	GLACIAR	Relación a glaciares y termokarst	1= Ausencia de glaciares o hielo masivo con fenómenos de termokarst en la cuenca de alimentación. 2= Conectado a glaciares o áreas de termokarst 3= Presencia de glaciares o termokarst en la cuenca de alimentación pero no hay conexión	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth

## CARACTERÍSTICAS DE SITUACIÓN

### INTERVENCIÓN HUMANA

Nº	CÓDIGO	NOMBRE DE LA VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	FUENTE
31	INTERVEN	Tipo de Intervención	Tipo de intervención según Brenning & Azócar (2010b): <i>Ninguna:</i> No intervenido <i>Remoción :</i> Remoción parcial o completa <i>Menor:</i> Menor intervención, p.ej. corte de camino, construcción de andariveles sobre glaciar rocoso <i>Fuerte:</i> Intervención que afecta fuertemente la dinámica o estructura interna del glaciar rocoso, p.ej. depósito de lastre sobre glaciar rocoso.	-	Fotografías aéreas GEOTEC, Imágenes Landsat ETM+ y Google Earth