



# El Ambiente Periglacial y La Minería en la República Argentina

*La Ley de Glaciares y los Suelos Congelados*

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
© 2012 Google  
© 2012 Inav/Geosistemas SRL  
US Dept of State Geographer

Google earth

40°51'00.60" S 73°36'34.42" W elev -157 m

Eye alt 4174.90 km

Suelos Congelados del Ambiente Periglacial en Territorio Argentino. Fuente: *Google earth* y Universidad de Zurich

Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA)

Versión: 9 noviembre 2012  
Actualización Parcial: enero 2026



Se invita al lector de este informe a bajar de la página de la Universidad de Zúrich, el mapeo mundial de suelos congelados (permafrost), un archivo con extensión *.kmz* que es visible en *Google earth*. Cuando el lector abre el archivo, cualquier lugar del mundo que visite en *Google earth*, se verá superimpuesto un mapeo de suelos congelados. Respecto al tema de discusión en este trabajo, éstas zonas ya mapeadas por la Universidad de Zúrich, coincide en gran zonas donde se ubica el *ambiente periglacial* protegido por el **Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**, más comúnmente conocida en Argentina como “la Ley de Glaciares”.

Para bajar el archivo de permafrost ir al siguiente link:

[http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf\\_global/GlobalPermafrostZonationIndexMap\\_2018.kmz](http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf_global/GlobalPermafrostZonationIndexMap_2018.kmz)

Podrá obtener más información sobre el trabajo de la Universidad de Zúrich en:

[http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf\\_global/](http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf_global/)

Podrá obtener más información sobre CEDHA y su labor en la protección de glaciares en la siguiente página:

<https://center-hre.org/glaciares/?lang=es>

Para más información:

[ambienteperiglacial@gmail.com](mailto:ambienteperiglacial@gmail.com)

## Agradecimientos

Agradecemos a los expertos en glaciología y geocriología Juan Pablo Milana, Alexander Brenning, y Mateo Martini, siempre disponibles para evacuar dudas sobre el contenido técnico de nuestra tarea. A nuestros ilustres maestros, Cedomir Marangunic (Geo Estudios, de Chile), a Juan Carlos Leiva (IANIGLA) a Benjamín Morales Arnao (Patronato de las Montañas Andinas, Perú), y a Bernard Francou (IRD), nuestros instructores en los cursos que hicimos sobre reconocimiento de glaciares ofrecidos por el *Programa de Naciones Unidas de Medio Ambiente*. Cedomir, Juan Carlos, Benjamín, y Bernard fueron extremadamente pacientes en atender a nuestras dudas sobre el reconocimiento de glaciares por imágenes satelitales. A Darío Trombotto Liaudat, uno de los expertos latinoamericanos más reconocidos en temas de geocriología y quien nos ofreció una extensa bibliografía sobre el *ambiente periglacial*. Darío evacuó numerosas consultas que le hicimos sobre aspectos técnicos del ambiente periglacial. A Ricardo Villalba quién también como Director del IANIGLA respondió a varias consultas nuestras durante la confección de este informe. A los instructores de BGC quienes ofrecieron recientemente y muy oportunamente por su relevancia del momento en el país, un curso especializado en Argentina y en Chile sobre el ambiente periglacial. Pudimos asistir y aprovechar este curso. Y a Stephan Gruber, de la Universidad de Zúrich quien nos evacuó consultas sobre su mapa y modelo mundial de permafrost. Debemos también agradecer al equipo de CEDHA quien colaboró con el informe, su edición y las numerosas versiones que se prepararon, especialmente a Anabel Bohl, Soledad Kobylanski y Alejandro Vera. Y finalmente a Romina Picolotti, quien como Secretaria de Ambiente de la Nación (2006-2008), ayudó a abrir un espacio hacia la protección de los glaciares y quien ha inspirado esta y tantas otras causas ambientales.

# Tabla de Contenidos

Agradecimientos .....	3
Contexto.....	5
Resumen Ejecutivo .....	5
Antecedentes al Tema .....	7
¿Qué es el Ambiente Periglacial? .....	10
¿Podemos Identificar Ambiente Periglacial con Imágenes Satelitales? .....	24
El Ambiente Periglacial y Su Importancia para los Ecosistemas.....	28
La Ley de Glaciares y el Ambiente Periglacial .....	33
¿Dónde está el Ambiente Periglacial en el Territorio Argentino? .....	36
Método 1: Registro por Identificación de Glaciares de Escombros .....	37
Método 2: Por Mapeo Mundial de Permafrost.....	40
El Territorio Nacional y el Ambiente Periglacial.....	43
Los Ambientes Periglaciales y la Minería en Argentina.....	52
Los Proyectos Mineros en Zonas de Ambiente Periglacial .....	55
¿Porqué debemos distinguir a los ambientes periglaciales?.....	59
Los Impactos de la Minería y otras Obras en Ambientes Periglaciales?.....	62
Los Riesgos de la Minería en Zonas de Ambiente Periglacial .....	75
El Inventario Nacional de Glaciares y del Ambiente Periglacial .....	80
Conclusiones.....	81
ANEXO: Proyectos Mineros y Obras en Curso en Ambientes Periglaciales .....	83
Bibliografía .....	85

## Contexto

Esta publicación apunta a identificar los elementos y características esenciales para poder considerar y valorar la relevancia de la protección de las reservas hídricas contenidas en el *ambiente periglacial* y el eventual impacto que puede tener en el mismo la actividad humana, incluyendo, pero no limitado a la industria minera en la República Argentina.

El fin de este informe es compartir y difundir información al público en general, no-experto en la materia, respecto a lo que es (y lo que no es) el ambiente periglacial, y brindar los elementos básicos desde la política pública para que personas que no necesariamente se dedican al estudio científico de los glaciares, o más específicamente a la geocriología (combinación del estudio de la geología y del hielo), puedan tomar los recaudos necesarios para proteger este importante recurso hídrico. Los ambientes periglaciales, *que son distintos a los glaciares* (y que *no son* como muchas personas piensan, las áreas entorno a glaciares), también son importantísimos recursos hídricos y también regulan cuencas hídricas, la razón por la cual la Ley de Glaciares los protege. Es importante agregar que pueden existir ambientes periglacial en montañas donde no hay glaciares.

## Resumen Ejecutivo

El ambiente periglacial, a pesar de los escasos estudios (al día de hoy) realizados en el mismo en la región, es una de las mayores fuentes de aporte hídrico en zonas de alta montaña y proveniente de hielo, luego del derretimiento de la nieve invernal y del aporte hídrico de los glaciares. Este aporte es mayor al de los glaciares, y mayor también al aporte de los glaciares de escombros—también conocidos como *glaciares de roca* (estos últimos son *uno* de los elementos dentro del ambiente periglacial). Las tendencias de cambio climático sobre los glaciares descubiertos que aceleran su derretimiento implican que el ambiente periglacial irá creciendo en su importancia relativa como fuente hídrica en comparación con el aporte de los glaciares. Es decir, con el tiempo, al reducirse la superficie de glaciares descubiertos, el ambiente periglacial irá aportando cada vez más agua en términos porcentuales, en comparación con los glaciares descubiertos.

Hay zonas extensivas de ambiente periglacial, saturados en hielo, con suelos *permanentemente y temporalmente* congelados, y que se congelan y se descongelan cíclicamente, que actúan como reguladores de cuencas y/o como reservas hídricas en la zona andina central, y en otros cordones montañosos del territorio argentino, en provincias tales como San Juan, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut, Catamarca, La Rioja, Tucumán, Salta y Jujuy. A pesar de que la Ley de Glaciares establece la protección del ambiente periglacial y la necesidad de que el gobierno realice un inventario del mismo, no existe hoy un mapeo oficial de los ambientes periglaciales del territorio nacional. El IANIGLA ya ha realizado un inventario de “cuerpos” o “crioformas” o “geoformas”, en el ambiente periglacial, pero aun existe (y probablemente no existirá en el futuro próximo) un inventario de los recursos hídricos presentes en extensos suelos congelados (permafrost), independientemente de las crioformas que se encuentran en el mismo. Es importante aclarar además que el IANIGLA solamente ha relevado una pequeña porción del extensivo ambiente periglacial, dejando afuera del inventario nacional muchos recursos hídricos del mismo—y esto es porque solamente relevan algunos de los elementos del ambiente periglacial. Los suelos congelados del ambiente periglacial también son elementos claves porque funcionan como reguladores de cuencas hídricas. Inclusive, el ambiente periglacial podría ser más significativo en su rol de regulador de cuencas que los glaciares mismos.

La ley federal de protección de glaciares y *del ambiente periglacial* establece la obligatoriedad de realizar *inventarios prioritarios* de glaciares y de ambiente periglacial donde se está llevando a cabo emprendimientos mineros y/o obras de infraestructura que pudieran afectar a estos recursos, por su valor como reservas hídricas y reguladores de cuencas. Según el cronograma del inventario oficial llevado a cabo por el IANIGLA:

Los análisis de inventario en zonas prioritarias deben ser realizados en 180 días y por lo tanto no se ajustan al cronograma general presentado para el resto de las zonas del país. Por el momento no se han

identificado zonas prioritarias en cordillera y por lo tanto se desconoce la magnitud de las tareas, la necesidad de personal, fondos, y otros pormenores que seguramente se definirán en un futuro cercano. <sup>1</sup>

Sabiendo donde existen los emprendimientos en alta montaña, las zonas prioritarias son fácilmente identificables por *Google earth*. De hecho, el Centro de Derechos Humanos y Ambiente ha publicado numerosos informes mostrando actividad minera en zona de glaciares, en proyectos tales como Filo Colorado (Xstrata Copper), Agua Rica (Yamana/Xstrata), Los Azules (McEwen Mining), El Altar (Peregrine/Stillwater), Del Carmen (Malbex), Pascua Lama (Barrick), El Pachón (Xstrata Copper), Amos Andres (Rio Tinto), Rincones de Araya (Amansa), Amiches y Sancarron (Argentina Mining), Potrerillos (Golden Arrow), José María (NGX Resources), Las Flechas y Vicuña (NGX Resources), entre varios otros (para más información ver: <https://center-hre.org/documents-about-glaciers/>).

Si bien no existe al momento un registro oficial del ambiente periglacial—solamente existe el mapeo de glaciares de escombros activos, hay maneras de identificar precisamente las zonas aproximadas donde se encuentra, por inferencia y por identificación directa. Ya existe la tecnología para que cualquier persona, con una mínima capacitación, y con una conexión de Internet, pueda identificar las zonas de montaña donde se encuentra el ambiente periglacial. La técnica para hacerlo, si bien es una aproximación inicial hacia su identificación, es extremadamente útil y arroja cálculos claves, indicativos, y muy confiables sobre la probabilidad de encontrar suelos congelados saturados en hielo y protegidos por ley. La Universidad de Zúrich ha publicado recientemente un mapeo interactivo de permafrost (de suelos congelados) del mundo entero. Este mapeo es ofrecido públicamente y gratuitamente y se puede visualizar en *Google earth* desde cualquier computadora con conexión a Internet. Nuestra experiencia luego de realizar numerosos inventarios de glaciares y de geformas periglaciales (como los glaciares de escombros) verifica que el mapa la Universidad de Zúrich es altamente preciso para pronosticar ambiente periglacial. De hecho, todos los glaciares y glaciares de escombros a la fecha inventariados por el IANIGLA se encuentran en el mapeo ofrecido por la Universidad de Zúrich, prueba de la eficacia de la herramienta para inferir ambientes periglaciales.

También existen casos de trabajos realizados por profesionales de renombre en materia de geociología, como es el caso de la consultora URS (quien realizó el estudio geomorfológico del proyecto El Pachón (de Xstrata Copper)) cuyos relevamientos de glaciares y de permafrost, que confirman la exactitud del modelo de permafrost de la Universidad de Zúrich. La URS reveló que un 20% aproximadamente de la zona de El Pachón es permafrost, y esto corresponde en gran medida con el mapeo de la misma zona, obtenible con la herramienta de la Universidad de Zúrich.

El mapeo de permafrost de la Universidad de Zúrich incluye todo el territorio argentino, y por lo tanto, este trabajo es una buena base, *con rigor científico indiscutible*, para estipular al menos en una primera aproximación, sobre dónde se encuentra el ambiente periglacial en el territorio nacional. Con esta información podemos aportar una base fundamental para realizar posteriormente un trabajo más preciso de identificar estos suelos estratégicos y tomar los pasos necesarios para su protección. Cruzando esta información inferida con la base de datos de proyectos mineros, podemos rápidamente definir las zonas donde se deben realizar inventarios prioritarios y estudios precisos sobre cualquier actividad humana y los suelos congelados protegidos por ley.

Se puede fácilmente corroborar en este mapeo del permafrost argentino que existen numerosos emprendimientos mineros y otras obras de infraestructura (tales como caminos viales) o caminos de acceso a zonas mineras, en zonas periglaciales. Estos proyectos mineros y obras de infraestructura, en estas zonas de ambiente periglacial, se están llevando a cabo sin los estudios que deben hacerse según lo establece la ley federal 26.639 (el Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial). Las provincias interesadas no cuentan hoy con los *inventarios prioritarios de glaciares y de ambiente periglacial*, y si alguna entidad privada ha realizado un inventario de glaciares, como sabemos que han hecho varias empresas extractivas, esta información en muchos casos no es pública, y es sistemáticamente denegada a quienes tienen interés en conocer la información relevada. Si bien la sociedad no siempre encuentra la información deseada respecto a las zonas donde se ubican estos emprendimientos mineros, los mismos son fácilmente visibles por imágenes satelitales disponibles públicamente por programas de libre acceso como *Google earth*.

---

<sup>1</sup> En: [Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución](#). IANIGLA. P.48.

Este informe lista en la sección de anexo, al menos 53 casos diversos en la provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza donde habría conflictos entre proyectos mineros y/o obras de infraestructura, u otros emprendimientos comerciales, con ambientes periglaciales.

En cada uno de estos casos, tal como lo indica la ley, deberían cesarse todas la actividades que pudieran impactar en este recurso hídrico hasta tanto se hayan realizado los estudios pertinentes para determinar la presencia de glaciares, glaciares de escombros y de ambientes periglaciales con el fin de determinar si la actividad pasada, presente o futuro, impactará en el recurso hídrico. De confirmarse se deberá trasladar, modificar o cesar la actividad.

Instamos a las autoridades públicas provinciales y nacionales, y a las empresas responsables de estas actividades a cumplir con la Ley de Glaciares, y a suspender todo tipo de actividades en ambientes periglaciales hasta tanto se pueda asegurar que no impactan en glaciares, en glaciares de escombros, y/o en ambientes periglaciales.

**Ambiente periglacial impactado por plataformas de perforación el proyecto Altar (de Aldebaran Resources), San Juan**



## Antecedentes al Tema

Hasta hace muy poco tiempo, aproximadamente a finales del año 2008, muy poca gente en el mundo conocía el término "ambiente periglacial". Prácticamente nadie (salvo glaciólogos, y algunos pocos geógrafos y geólogos, sabían lo que era un *ambiente periglacial*). En Argentina, prácticamente nadie había escuchado hablar del término.

En Argentina, gracias a la promulgación de la Ley de Glaciares en el 2008, su posterior veto, y la vuelta de la ley en 2010, ya muchas personas, académicos, organizaciones, medios, legisladores y funcionarios públicos, hablan del *ambiente periglacial* y de la necesidad de proteger a este importante recurso hídrico. También hay algunos actores que menos precian el recurso a favor de realizar actividades como la minería en estas áreas hidrológicas importantes. Es importante enfatizar, que a pesar de la presencia de debate sobre el ambiente periglacial, su relevancia hídrica y la necesidad de protegerlo, aún persiste mucha confusión sobre lo que es, como es, donde esta y cuál es la protección que brinda la ley.

La discusión sobre el ambiente periglacial se da a partir del momento en que Argentina adopta en el año 2008 una ley de protección de glaciares, que incluye al *ambiente periglacial* como bien público protegido. Esta inclusión la había sugerido el IANIGLA luego de revisar un primer borrador de la ley que tomó elementos de una ley presentada en Chile, que no incluía al ambiente periglacial como recurso protegido. La ley que fue finalmente adoptada en el 2010 protege al ambiente periglacial por su función de aportar y regular el flujo del agua y también porque es una significativa reserva hídrica de la alta montaña.

El mismo *nombre* de la ley federal 26.639 incluye el término *ambiente periglacial*, la ley se llama “**Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**”. (la negrita es nuestra)

El artículo 1 de la Ley de Glaciares establece:

La presente ley establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como reservas estratégicas de recursos hídricos para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico.” (la negrita es nuestra)

Es decir, los *ambientes periglaciales* gozan de la misma protección que los glaciares, y esto indudablemente es porque son tan importantes como bien público como son los glaciares. Inclusive, como veremos a continuación, el ambiente periglacial es aún *más* importante que los glaciares mismos en términos de regulación de cuencas.

La protección de los glaciares se convirtió en el eje de un debate nacional profundo sobre la necesidad de proteger un crítico recurso de reserva hídrica (en forma de hielo) en la alta montaña, que hoy se encuentra en peligro por tendencias climáticas naturales, por razones climáticas mundiales causadas por actividades antropogénicas y también por algunas actividades humanas/industriales, incluyendo la actividad minera extractiva que es tratada específicamente por la Ley de Glaciares. También hay impactos por otras obras antropogénicas tales como la introducción y mantenimiento de caminos viales.

Cuando la ley de glaciares es aprobada unánimemente por el Congreso Nacional de Argentina, en el año 2008, ni los Congresistas ni el público en general sabía mucho sobre los recursos glaciares del país, y menos (o prácticamente nada) sobre el *ambiente periglacial*, su ubicación o su relevancia hídrica. Tampoco la sociedad conocía el rol que juegan estos recursos de hielo en los ecosistemas que nutren. No se entendía el rol regulador que tienen los recursos de hielo en la alta montaña, aunque sí seguramente se podía imaginar que los glaciares representaban grandes reservas hídricas. La realidad era en ese momento que la conciencia colectiva argentina tenía en mente los grandes glaciares de la Patagonia, algunos de los cuales tienen más de 20 kilómetros de largo. Se podría imaginar que un glaciar como el Perito Moreno podía contener muchísima agua, pero estos se ubicaban en zonas muy lejanas, donde vive poca gente y donde no está claro cuál es el valor de estos glaciares para la población. Ciertamente, la sociedad conocía poco de los glaciares existentes en provincias como Mendoza, San Juan, La Rioja, Catamarca o Tucumán. De hecho, se escuchó a un Secretario de Ambiente (en la Provincia de La Rioja) decir que su provincia no tenía glaciares, que tenía *nieves eternas*, pero no glaciares—reflejando una profunda falta de conocimiento de lo que son los glaciares de los Andes Centrales. Nadie se imaginaba que podía haber glaciares en Tucumán, en Salta o en Jujuy, o que un pequeño glaciar del tamaño de una cancha de fútbol puede abastecer de agua a una familia típica (cuatro personas) durante toda una generación.

Ciertamente no nos imaginábamos que en Argentina y en los Andes más generalmente podían existir *tantos* glaciares—unos 17,000 según el IANIGLA. En realidad, existen muchos más, pero lo que sucede es que el IANIGLA decidió solamente registrar los que tienen al menos 1km<sup>2</sup>. En aquel entonces, cuando el Congreso promulgó la Ley de Glaciares en el año 2008, la gran mayoría de los argentinos, conocían un solo glaciar, el [Perito Moreno](#) que es muy emblemático de la Patagonia porque recibe turismo interno e internacional durante todo el año. Algunos otros pocos habrán tenido la suerte de conocer el Parque Nacional Los Glaciares y habrán visto glaciares como el [Upsala](#), el [Viedma](#), o el [Spegazzini](#), que son tan o más impresionantes como el Perito Moreno. Pero prácticamente nadie sabía que había *miles* de glaciares en el territorio nacional, inclusive decenas de miles de ellos, y que algunos de estos glaciares se encuentran *por debajo* de la superficie de la tierra, los llamados *glaciares cubiertos* o los *glaciares de escombros*, también llamados por algunos, *glaciares de roca*.

Menos nos imaginábamos que podían existir montañas enteras congeladas, saturadas en hielo, y que toda la montaña, al estar congelada, podía cumplir un rol similar a la de los glaciares. Es decir, toda la montaña, al estar congelada, conserva agua y cuando algunas zonas de la montaña se derriten cíclicamente, al igual que los glaciares, la montaña regula el flujo de agua hacia tierras bajas. La sociedad, que recién se enteraba de algunos de estos temas, no se podía imaginar que el aporte hídrico que cumplen estas montañas de hielo, el permafrost de los *ambientes periglaciales*, y en particular el permafrost discontinuo que se congela y se descongela de manera cíclica, podría ser más significativo que los glaciares mismos. Todo esto era una incógnita cuando en el 2008 se aprueba la primera versión de la Ley de Glaciares.

Seguramente muchos ya habían oído hablar del término “permafrost” y se podían imaginar que el permafrost tendría algo que ver con el hielo, la nieve, y la tierra. El “permafrost” que viene de “perma” (o permanente) y “frost” (congelado) significa simplemente, “permanentemente congelado”. El permafrost (los suelos congelados) es *un* elemento del ambiente periglacial, pero no es un sinónimo absoluto, aunque muchos lo usan de manera intercambiable. Lo cierto es que, hasta tiempos muy recientes, el término “ambiente periglacial” era un término reservado para algunos pocos científicos dedicados a una rama de la glaciología, de la geografía, de la geología, y de la *geo-criología*. Por suerte, y para la conservación de este importante recurso hídrico, hoy mucha gente habla del ambiente periglacial.

La mayoría de los Congresistas que votaron la primera ley nacional de protección de glaciares y del ambiente periglacial, *que cabe mencionar es la primera ley de este tipo en el mundo*, pensó que simplemente estaban votando a una ley para proteger a los glaciares. Se imaginaban que estaban votando una ley para proteger glaciares grandes como el Perito Moreno en la Patagonia. La mayoría, como en el resto de la sociedad, no se imaginaba que en provincias como San Juan, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Salta o Jujuy, todas conocidas por ser provincias muy áridas y calurosas, podían existir glaciares, y menos que podrían ser *cientos* o incluso *miles*. Y mucho menos se imaginaban que además de glaciares, los suelos del territorio provincial podían estar permanentemente congelados y contener una importante cantidad de agua en forma de hielo, prácticamente invisible y en reserva para cuando la naturaleza y las comunidades la necesitan.

*El objetivo de esta publicación es justamente empezar a aclarar esta situación.*

Glaciar de escombros *El Algarrobo* en ambiente periglacial de la Sierra Aconquija, límite provincial entre Catamarca y Tucumán



Hay muchísimo suelo permanentemente congelado (o permafrost) que tiene una importantísima cantidad de agua en reserva, y por esto quienes redactaron la ley de protección de glaciares, sabiamente decidieron incluir a los suelos congelados y más específicamente **al ambiente periglacial** como bien público protegido por la ley. Esta publicación intenta explicar de manera simple, cómo es este recurso hídrico, en qué estado está, donde está, porqué es importante, y cuáles son los riesgos para el ambiente periglacial debido a actividades como la minería o por otras obras de gran porte.

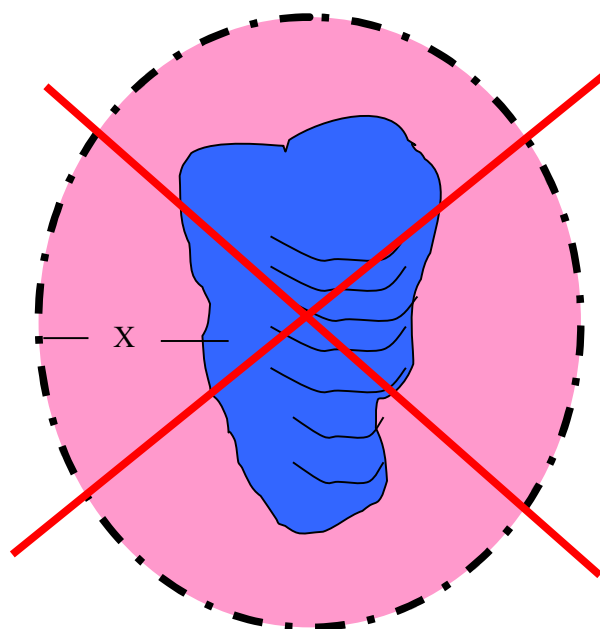
## ¿Qué es el Ambiente Periglacial?

Empecemos al revés, pues la lógica etimológica en este debate no nos sirve, ya que a diferencia de lo que se imagina la mayoría de la gente cuando escucha el término por primera vez, **el ambiente periglacial no es lo que se encuentra en el perímetro de un glaciar!**

De hecho puede haber un *ambiente periglacial sin glaciar!*

Uno se imagina por la composición de la palabra que el *ambiente periglacial* debería ser un espacio *entorno* (por el prefijo “peri”) al glaciar. Es fácil imaginar que fuera así, y que de ser la zona entorno a un glaciar, pensando en su protección, podría tener alguna relevancia como zona de “colchón” entorno al hielo, que seguramente de considerarlo para su protección, nos podría ayudar a proteger al glaciar.

Podríamos imaginarnos (y al día de hoy muchos se imaginan equivocadamente) un esquema como el de la siguiente imagen, donde el glaciar es la masa azul en el centro del círculo, y que el “ambiente periglacial” sería una zona (aquí en rosada) circundante al mismo a una distancia “X” del hielo.



De hecho, algunos hablan de esta zona, pensando que es el ambiente periglacial, y entran en discusiones de a cuánto se debería definir, o para proteger al glaciar, o para definir a partir de donde se podrían realizar actividades como la minería. Si lo pensamos como un *colchón de protección*, podríamos imaginar establecer una distancia del glaciar, a 5, 50, o 100 metros del mismo. O quizás distancias mayores, 5, 10, 15 km del glaciar? Hemos visto referencias en documentos públicos de distancias de prudencia para realizar actividades cercanas a los glaciares, de varios kilómetros. Suponemos por intuición, que ese espacio entorno al glaciar podría tener alguna relación ecosistémica y simbiótica con el glaciar. Nos imaginamos que el ambiente periglacial es una zona de sensibilidad para el glaciar, y que

lo que ocurre dentro de esa zona podría impactar al glaciar, y que por eso será, que la nueva Ley de Glaciares, establece la necesidad de proteger al *ambiente periglacial*. Pero no es así, y en esto debemos ser contundentes y claros.

### ***¡El ambiente periglacial NO ES la zona entorno a un glaciar!***

El IANIGLA anticipa esta equívoca suposición del público y dice en su página sobre ambientes periglaciales:

Se puede decir que lo primero que se interpreta, a partir de una análisis etimológico, es que el término periglacial significa: "alrededor o en cercanía de un glaciar o de procesos glaciares" (peri = alrededor, cerca de, y glacial = adjetivo, relacionado a la presencia de o la acción de los glaciares). Aunque sin dudas éste es un análisis válido, como pasa con otros términos científicos, realizar sólo esta interpretación es incorrecto ... .<sup>2</sup>

Si remontamos un poco en el tiempo, uno de los expertos más reconocidos en cuestiones de tierra y hielo (*un geo-criólogo*), Arturo Corte, ya en los años 1980, nos sugiere que el término tiene que ver con:

procesos físicos-geológicos de congelamiento y descongelamiento marginales de los glaciares. *Pero ... [que] sabemos que zonas que están muy alejadas o sin ninguna conexión con los glaciares tienen una intensa actividad geocriogénica ... [y que] ... cuando más seca es una región fría, tanto más activa es su acción criogénica. El ejemplo está en los Andes Secos Centrales de San Juan y Mendoza, en donde existe una capa altitudinal de más de 1.600 metros de hielo alojado en detritos (Permafrost, desde los 3.200 metros hasta por encima de los 4.800 metros).*

¡Corte también nos advierte que puede haber ambiente periglacial (las zonas geocriogénicas) sin glaciar!

*Entonces, el "ambiente periglacial" no es el ambiente entorno al glaciar.* Es importante esta aclaración por varios motivos. En primer lugar porque la definición del *ambiente periglacial*, no tiene nada que ver con un glaciar en *sensu stricto* y por ende sería un error, desde una política pública ambiental o de una política diseñada para la protección de glaciares, o desde una política minera para reducir el impacto de la actividad extractiva en glaciares o ambientes periglaciales, limitar la política a aquéllos lugares donde vemos glaciares descubiertos o incluso glaciares cubiertos o de escombros. De hecho, como ya dijimos, existen lugares donde hay ambientes periglaciales *sin glaciares*.

Otro punto que vamos a ampliar más adelante que también es clave entender, es que los ambientes periglaciales protegidos por ley que actúan como reservas hídricas y reguladores de cuencas, no son solamente los glaciares de escombros, ni tampoco se limite a las geofomas del ambiente periglacial identificados por el IANIGLA. Este punto es importantísimo aclarar, pues mucho del debate actual a nivel nacional, relativo al ambiente periglacial y la Ley de Glaciares, limita la discusión sobre lo que está protegido por la ley a los glaciares de escombros y esto es erróneo. Hay sectores del ambiente periglacial que también se protegen por la ley que no están en el inventario del IANIGLA. De eso hablaremos más adelante.

En este mismo sentido no debemos concluir, que porque no vemos glaciares de escombros, no hay ambiente periglacial. Sería una interpretación inoportuna e incorrecta. Esto lo enfatizamos porque ya hemos escuchado a numerosos funcionarios públicos dedicados a la materia de glaciares y de minería, en provincias como San Juan y La Rioja, hacer este tipo de declaración públicamente, limitando la discusión relativo a la protección establecida por la Ley de Glaciares a los glaciares de escombros y eso no es correcto.

Veremos en las próximas páginas, que las zonas protegidas por ley del ambiente periglacial son muchísimo más grandes que simplemente el espacio entorno a los glaciares descubiertos o cubiertos o de los glaciares de escombros. Hay zonas del ambiente periglacial ricas en recurso hídrico, que funcionan como reserva hídrica, y también reguladores de cuencas, donde no hay glaciares ni glaciares de escombros, y que no están en el inventario del IANIGLA. Esas zonas también están protegidas por ley. Una afectación a esas zonas por razones geofísicas y naturales, podría afectar a la función del ambiente periglacial que si está protegido por ley.

---

<sup>2</sup> Ver: <http://www.glaciares.org.ar/paginas/index/periglacial>

Volviendo a la idea de que podríamos hablar de la zona entorno a un glaciar, aclarando que no es el ambiente periglacial, pero si pudiera tener una utilidad pensar en esta zona, y que esta zona si podría servir para la protección de un glaciar o también de un glaciar de escombros. Lamentablemente desde la ciencia no existe un término científico que nos ayude a definir esta zona circundante a los glaciares. Por este motivo desde el CEDHA hemos introducido un término que nos sirve para hablar de la importancia de proteger, desde la política pública y desde la política minera, a este espacio. A este espacio lo definimos como el [\*glaciosistema\*](#). Esta publicación no entrará en detalles sobre este término. Simplemente dejamos una definición escueta del mismo, e invitamos al lector a informarse sobre el *glaciosistema* por el siguiente link:

<https://center-hre.org/wp-content/uploads/2012/07/Definicion-de-Glaciosistema-version-1-febrero-2012-spanish.pdf>

## Definición del Glaciosistema

El GLACIOSISTEMA es el glaciar y su entorno ecosistémico que incide en su conformación y composición, en su acumulación y ablación de hielo y agua, en su vida biológica, y en su evolución natural, durante sus estaciones de carga y descarga, y que de ser afectado puede impactar o causar la alteración del glaciar y/o impactar en el ecosistema en el cual se encuentra.

El glaciosistema incluye elementos tales como:

*Sólidos:* formaciones geológicas/rocosas entorno al glaciar, cuya característica y orientación incide en la acumulación de nieve, valles por el que fluye el glaciar, paredes, laderas y pendientes por el que se desplaza, material detrítico y otros materiales naturales en su inmediación o en su hielo, y morrenas formadas y acumuladas por su desplazamiento, entre otros;

*Biológicos:* Fauna y flora y otros organismos biológicos en su entorno inmediato, por debajo y en su hielo;

*Agua, Nieve y Hielo:* Nieve que se acumula en el glaciar por precipitaciones, aguas que fluyen por encima, por dentro y por debajo del glaciar, hielo del glaciar con diversas densidades y en diversas etapas de compactación, otros glaciares que se le unen provenientes de cuencas superiores afluentes de nieve y hielo, otros glaciares a los que se une el glaciar, suelo congelado (permafrost) en el periglacial, lagos naturales o artificiales (diques) formados y nutridos (aunque sea en parte) por el glaciar, desagües naturales o artificiales al pie del glaciar;

*Aire y Atmósfera:* el aire en su entorno, la atmósfera en zonas de impacto que pueden ser afectadas por cambios artificiales en la topografía que alteran los patrones naturales de viento y que contribuyen a la acumulación natural de agua y nieve en el glaciar, por contaminación del aire con partículas que se depositan sobre el glaciar, hacen a la conformación y evolución natural del glaciar.

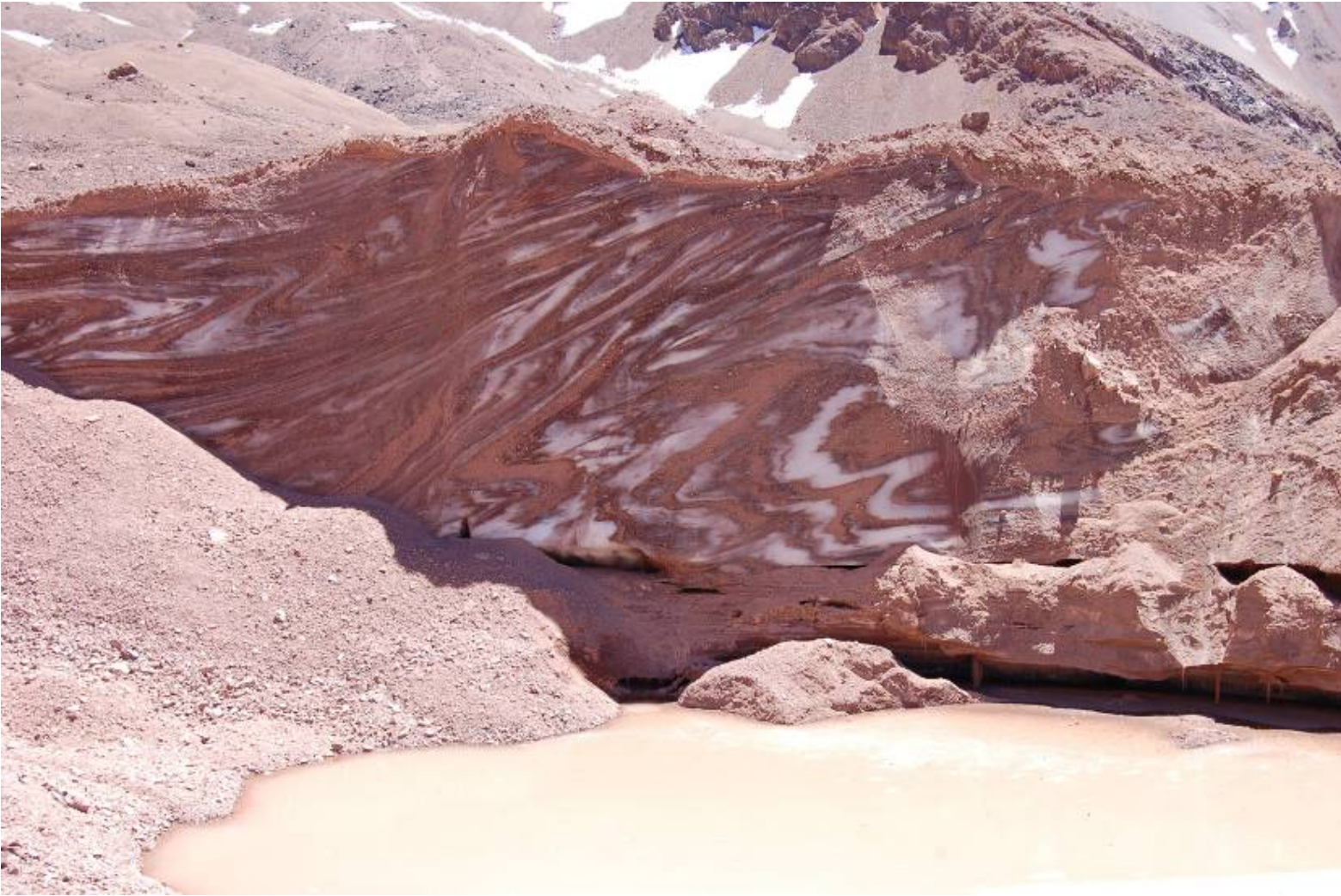
El glaciosistema puede extenderse e incluir zonas:

- a) en todas las direcciones en torno al glaciar;
- b) de nieves y hielo por encima de y lateralmente al glaciar y aguas inmediatamente abajo del glaciar;
- c) a los costados y sobre los valles por el que fluye el glaciar;
- d) en la proximidad inmediata o a significantes distancias del mismo, según el caso específico y la relevancia de un eventual impacto en el ecosistema en el glaciar;

Pueden depender directa o indirectamente del glaciar y su glaciosistema, poblaciones humanas (rurales y urbanas), actividades agrícolas e industrias que se encuentran en las inmediaciones del glaciar y que pueden ser directamente afectadas por los cambios en la masa de hielo y por la acumulación y ablación del glaciar.

La salud del glaciar y su glaciosistema se evalúa, midiendo y monitoreando la evolución de las siguientes variables, entre otras:

Acumulación y Ablación  
Línea de Equilibrio  
Balance de Masa  
Balance Energético  
Temperatura  
Balance Calórico  
Flujo de agua  
Albedo  
Impurezas/Contaminación



### ***¿Qué es entonces el ambiente periglacial?***

Como primer paso en la definición del “ambiente periglacial” hacemos dos aclaraciones sobre la definición del término, que son fundamentales en la forma en que nos debemos organizar para entender y abordar el tema del ambiente periglacial, sobre todo si pretendemos asistir en el monitoreo de la implementación de la ley:

1. *La falta acuerdo científico.* Juan Pablo Milana, en su libro imperdible *Hielo y Desierto: Los Glaciares Áridos de San Juan*, inicia el capítulo sobre *Permafrost y Lóbulos de Talud* (Milana, p.121) indicando:

“Así como no hay un acuerdo definitivo en el tema de glaciares de roca, tampoco lo hay respecto de la definición de permafrost.”

Milana se refiere específicamente al “permafrost”, o suelos permanentemente congelados, que es un elemento esencial del “ambiente periglacial”.

2. *La Práctica vs. la teoría.* Pocas personas han estudiado al ambiente periglacial, y menos han podido dedicarse al trabajo de campo en la temática, en gran parte por la dificultad material del trabajo. Esto implica que tenemos que tener en cuenta la teoría que desarrollan los científicos, pero también debemos escuchar con *mucha* atención a quienes han estado trabajando,

viviendo, e interactuando con los ambientes periglaciales durante muchos años, pues son ellos quienes realmente han podido verificar en primera persona, las dinámicas que demuestran estos recursos hídricos y reguladores de nuestras cuencas.

Nuestra propuesta de definición es optar entonces por una definición simple y útil para el uso que le queremos dar, que al final de todo, tiene que ver con la protección del recurso y la implementación de la ley. La definición que proponemos describe al ambiente periglacial en términos simples y básicos. Luego profundizaremos y veremos los elementos más técnicos y específicos que nos ofrece la ciencia para entender mejor al ambiente periglacial.

### **Definición del Ambiente Periglacial**

***El ambiente periglacial es una zona donde por la baja temperatura del ambiente, generalmente cercano a los 0° centígrados o menos, la superficie y el subsuelo están congelados. Este congelamiento puede ocurrir por encima de la superficie, y/o por debajo de la superficie. Es importante el ambiente periglacial porque si hay humedad en el subsuelo, esa humedad se congela (se hace hielo). Y si hay hielo en el subsuelo, se convierte en una reserva hídrica y si se llega a descongelar de manera temporaria o de manera definitiva, ese hielo se convierte en agua aportando valor hídrico a la cuenca. Pueden existir zonas en el ambiente periglacial donde el ambiente está a temperatura bajo cero, pero no hay humedad con lo cual no habría hielo y no sería por ende una reserva hídrica. Puede haber zonas en el ambiente periglacial que permanecen congeladas todo el tiempo, y otras que se congelan y se descongelan cíclicamente.***

Al respecto, el geólogo Juan Pablo Milana, dice muy sabiamente sobre los ambientes periglaciales (lo cual es clave para la implementación de la Ley de Glaciares),

*“lo que nos interesa es conocer la funcionalidad de éstos como reservas y reguladores hídricos.”  
(Milana, Hielo y Desierto, p.122)*

Otro geólogo de renombre y que más ha estudiado los ambientes periglaciales en Argentina, Dario Trombotto Liaudat indica también en uno de sus trabajos que describe las diversas formas de ambiente periglacial en la región (en particular está hablando de los glaciares de escombros, uno de los elementos más emblemáticos del ambiente periglacial):

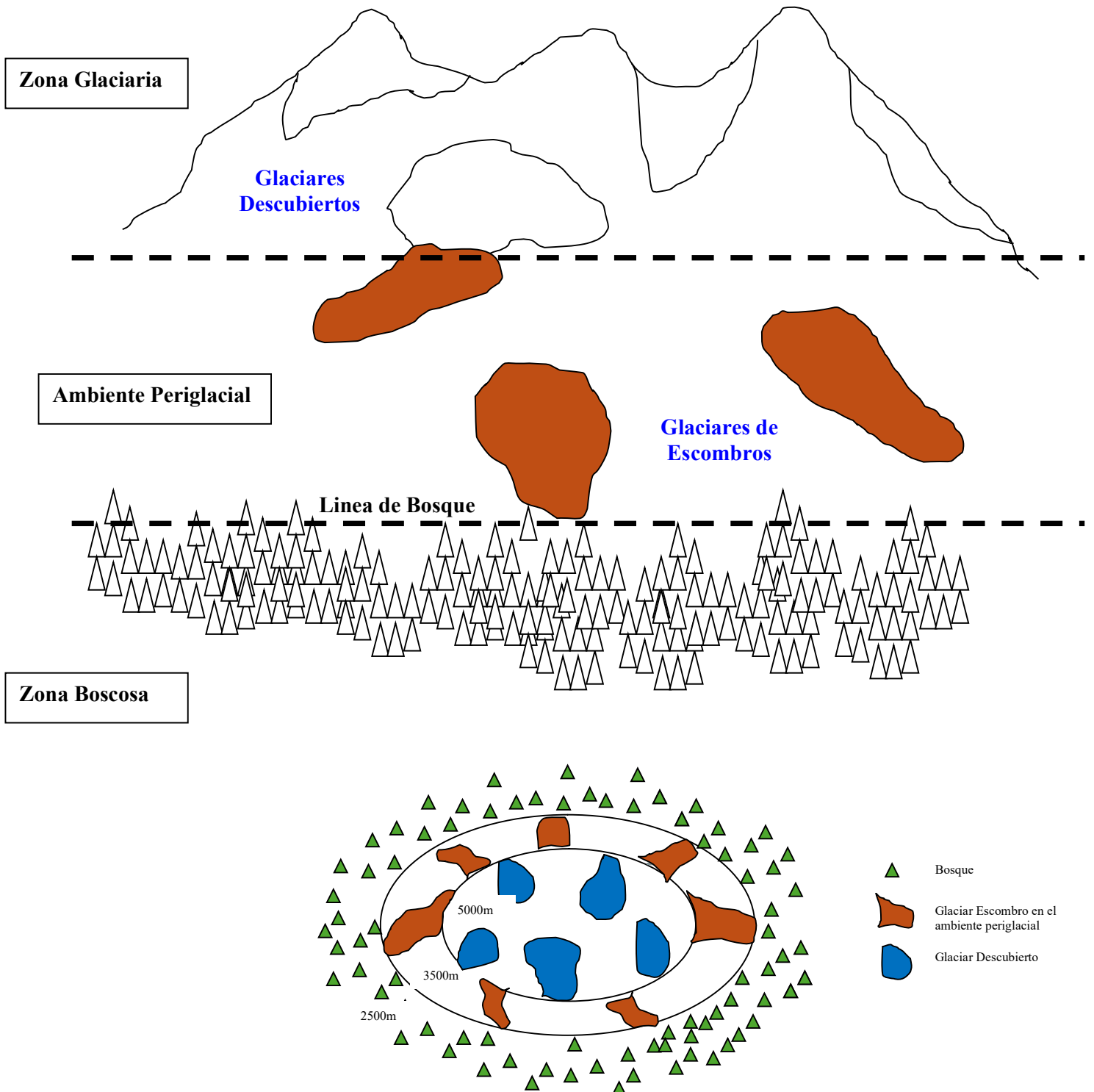
*“[los glaciares de escombros] son ciertamente las geoformas más significativas de los Andes. Durante décadas su enorme valor hidrológico para los Andes Centrales ha sido mencionado. .... La nieve que penetra la capa activa y el congelamiento la segunda crea un sistema de almacenamiento de agua en zonas de alta montaña. En el verano se descongela la capa activa y la descarga a los ríos incrementa. ... Las zonas congeladas, con permafrost o hielo con cobertura detrítica en los Andes Centrales, así como en otras regiones criogénicas sudamericanas constituyen fuentes de agua más importantes que las zonas glaciales.” Trombotto (2000) p.46*

Una parte del aporte de agua proveniente de los ambientes periglaciales viene de los glaciares de escombros que son uno de los elementos del ambiente periglacial (aunque no el único). Si bien mucho del hielo que contiene un glaciar de escombros puede estar permanentemente congelado, los glaciares de escombros (si son activos, es decir, si se mueven) evidencian una capa superficial llamada *la capa activa*. El hielo del glaciar de escombros es agua en reserva, mientras que el derretimiento cíclico de la capa activa es lo que lo hace funcionar como regulador de cuencas.

Otro experto en ambientes periglaciales Lothar Schrott calcula, por ejemplo, que un solo glaciar de escombros, el “Dos Lenguas” en San Juan Argentina descarga unos 18,000 a 28,000 litros por hora, o 2-3% de lo que consume en agua un proyecto minero como Veladero de Barrick Gold. (Schrott, 1994, citado en Trombotto 2000, p.47)

(se puede ver el Dos Lenguas en: 30 14 51.83 S, 69 47 5.46 W)

El ambiente periglacial generalmente se ubica en una franja definida por características geográficas y de topografía, y por temperatura, ubicada entre la zona glaciaria y el límite del bosque. Recordemos, Corte indicó en su investigación que es una franja de 1,600 metros de ancho, y que en los Andes Centrales va de los 3,200 metros a los 4,800 metros. Los bordes de esta franja se pueden entremezclar, pero esencialmente estos son los límites del ambiente periglacial. (Ver gráfico a continuación)



Si miramos a la montaña desde arriba podemos entender mejor el término "ambiente periglacial" ya que sería la zona de suelos congelados que rodea *en su conjunto* a todos los glaciares

El Glaciar de Escombros “Dos Lenguas” de la Provincia de San Juan ha sido extensamente estudiado



A veces en lugares muy áridos y calurosos, en la alta montaña en provincias como San Juan, Jujuy, Salta, Catamarca, la Rioja, e incluso Tucumán, no entendemos cómo los ríos tienen agua cuando ya se derritió la nieve del invierno, y ya no vemos más hielo y tampoco hay lluvia. Sin embargo, los ríos pueden tener agua, aunque sea muy poquita. En esos lugares, donde hay altas montañas que superan los 3,000 o 4,000 metros de altura, donde suele haber temperaturas estables bajo cero durante una buena porción del año, es muy probable que el subsuelo conserve hielo por debajo de la superficie.

El derretimiento paulatino de ese hielo, sobre todo en las elevaciones más bajas de esas franjas congeladas, cuando sube la temperatura durante las horas más calurosas del día, aunque fuere nada más que durante algunas pocas horas, o durante periodos calurosos más extendidos (como durante los meses de verano), es justamente cuando se genera un aporte crítico de agua en esas latitudes más bajas y más calurosas. Allí posiblemente (y por suerte para las zonas más áridas del país), se encuentra el *ambiente periglacial*.



Suelo congelado evidencia hielo. Fuente. BGC (estudio Casale, p.41)

El *ambiente periglacial* es una zona de suelos que está a 0°C (o menos) y donde puede haber reservas de hielo por debajo de la superficie. Y cuando hay hielo presente, es precisamente ese hielo, esa reserva de agua, lo que está protegido por ley.

Veamos ahora una definición más científica (en este caso del IANIGLA), que define al ambiente periglacial de la siguiente manera:

... un ambiente de clima frío, no glaciario, el cual se encuentra por encima del límite del bosque, si es que éste existe, y que está caracterizado por:

- Ocurrencia de suelo congelado permanente o permafrost
- Dominio de los ciclos de congelamiento y descongelamiento que afectan a las rocas y a la parte superior del suelo, y de procesos periglaciales formadores de criofomas

Desglosemos a esta definición para mejor entender los elementos técnicos de la definición.

**Clima frío:** *tiene que haber frío. La ciencia resalta 0° Centígrados para hablar de ambiente periglacial.* ¿Porqué 0°C? Simplemente porque es la temperatura en la cual el agua se congela (al menos que el agua contenga elementos que bajen su temperatura de congelamiento—como por ejemplo la sal). Al congelarse la humedad en el subsuelo, ese subsuelo se convierte en un envase que contiene una reserva hídrica (en forma de hielo), como si fuera un glaciar. Si se derrite este hielo (si se calienta el subsuelo por encima de 0° grados, el agua se libera (esto es lo que llamamos *regulación de cuenca*). Debemos aclarar 0°C es meramente una referencia, ya que la definición del ambiente periglacial puede variar incluyendo zonas que van (en sus máximas) de los -1°C hasta los 3°C, según la fuente científica que consultemos.

Si estamos en zona de montaña, a medida que empezamos a subir a mayor altura, la temperatura ambiente refresca. Eventualmente, a latitudes muy altas (en San Juan a los 3,500 metros más o menos), la temperatura promedio anual se ubica en 0°C o por debajo de los 0°. Es allí donde podemos encontrar *ambientes periglaciales*, que son justamente suelos congelados donde hay menos de 0°C por mucha parte del año. Tengamos en cuenta que para tener ambiente periglacial la temperatura puede subir por períodos determinados cortos por encima de los 0°C, pero el promedio anual debe mantenerse por debajo de ese marcador y el hielo en el subsuelo no puede derretirse por completo. También

tengamos en cuenta que en un mismo cerro podemos tener zonas donde el subsuelo se congeló y se mantiene congelado, y otras zonas en el mismo cerro donde no. Pueden existir microclimas que se generan por la exposición o no al sol y en estos casos, por ejemplo, encontraremos que las laderas de montaña que miran al sur (al polo sur) estarán más frías que las que miran al norte, donde se ubica el sol por la mayor parte del día. Es por esto que los ambientes periglaciales tenderán a estar en laderas cuyos microclimas tienden a estar más fríos, por ejemplo, las que miran al sur. En el hemisferio Norte, esta consigna se da al revés.

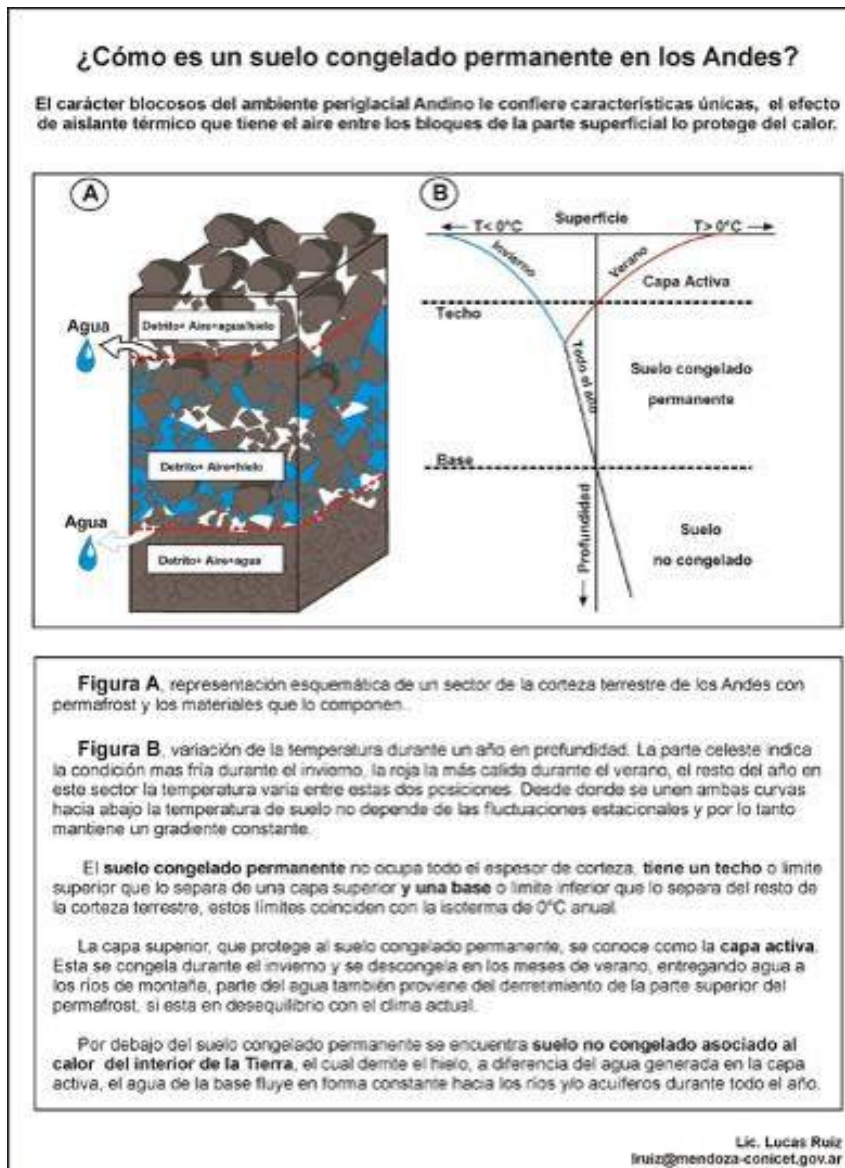
**No glaciario:** Con esta característica, el IANIGLA distingue entre un glaciar propiamente, y por otro lado *el ambiente periglacial*. Es decir, para el IANIGLA, *un glaciar no es necesariamente del ambiente periglacial*. De hecho, cuando estamos considerando el ambiente periglacial, generalmente nos enfocamos en una franja en la montaña que está *entre* la zona donde se encuentran los glaciares a la vista (los glaciares descubiertos) y la línea del bosque (donde vemos plantas y árboles). Dentro de esta franja podríamos referirnos al “ambiente periglacial”, pero este punto podría debatirse, ya que no todos los científicos opinan lo mismo. Hay quienes consideran que algunos elementos que están dentro del ambiente periglacial (como a un glaciar cubierto que no es lo mismo que un glaciar de escombros) pueden considerarse como “glaciares” propiamente pues sus características son muy similares o idénticas a las de los glaciares descubiertos comunes. En términos de lo que estamos analizando en este informe, orientado a comprender y obrar por la implementación de la Ley de Glaciares y de Ambiente Periglacial, lo que más nos debe preocupar es si los elementos (o geoformas) glaciales o periglaciales que vemos en la montaña que contienen hielo o si están liberando agua, ya que estos *sí* (independientemente de su definición técnica) están protegidos con el mismo nivel de protección que los glaciares descubiertos comunes, sin distinción de que sean glaciares descubiertos, cubiertos, de escombros, activos o inactivos o simplemente que sean otros elementos del ambiente periglacial (inclusive aquellos que no están contemplados por el inventario).

**Encima de la línea de bosques:** Este punto tiene que ver con la presencia de vegetación en el ambiente. La idea básica detrás de este punto es que donde el ambiente está permanentemente congelado, es decir, en el *ambiente periglacial*, no sobrevive la vegetación (árboles, arbustos y otras plantas). Este fenómeno no es necesariamente relacionado con la baja temperatura—que de por sí podría afectar la sobrevivencia de las raíces de plantas, árboles etc., sino que tiene que ver también con las propiedades de elasticidad del hielo, al contraerse y expandirse, altera el suelo y esta inestabilidad no permite la proliferación de flora. (Corte 1983, p.338). Debemos mencionar que se han encontrado formas de vida en el hielo, pero para esta discusión, vamos a suponer que en el ambiente periglacial, no crecen ni árboles ni plantas, ni otra vegetación, ni se puede mantener la vida florística. Todo está congelado. Si vemos mucha vegetación viva y activa en una zona de la montaña, podemos suponer que en ese lugar preciso, no estamos ante suelos permanentemente congelados. Debemos ser cautos sin embargo con esta conclusión, ya que podemos encontrar flora colindante y tangencial a los ambientes periglacial, y sobre todo en zonas de permafrost discontinuo.

**Suelo Permanentemente Congelado o Permafrost:** Para muchos, aunque no para todos, estos términos son intercambiables. Puede haber confusión sin embargo, particularmente cuando se los utiliza como sinónimos de “ambiente periglacial”. El término *permafrost* se compone de dos partes, perma = permanente y frost = congelamiento. Lo que generalmente se acepta como permafrost es cuando hay congelamiento de los suelos por más de 2 años consecutivos. Esto implica que la tierra, las piedras, todo el suelo, está a 0°C o menos, con lo cual, si hay humedad en la tierra o entre las piedras, o si le entra nieve o lluvia a esa tierra, esta humedad se congela y se mantiene congelada por al menos dos años. Es decir, estará *permanentemente congelado*. Pero no siempre un ambiente congelado tiene valor hídrico. Si un ambiente determinado está en 0°C o menos, se supone que ese ambiente está congelado, tenga o no tenga contenido líquido. Corte, el geocriólogo experto en permafrost estima que en realidad hace falta que la temperatura baje a -1,5°C de promedio anual (Corte 1983, p.289), para generar suelos permanentemente congelados. Evidentemente para esta discusión nos importará si el recurso natural que estamos evaluando contiene hielo o agua. Pero, técnicamente, puede haber suelo permanentemente congelado sin hielo. El *permafrost, estrictamente hablando, tiene que ver con temperatura, no con agua* ya que puede haber suelo congelado sin valor hídrico. Para muchos científicos, los glaciares de escombros (que son una mezcla de piedra y hielo) son considerados permafrost. Es decir, los glaciares de escombros, son un tipo de suelo congelado (permafrost) que se ubica en el *ambiente periglacial*. Es importante aclarar que los glaciares de escombros no son el único elemento con contenido de hielo en el ambiente periglacial, pero están entre los más emblemáticos. También es importante observar que los glaciares de escombros son de los elementos que son fáciles

de identificar en imágenes satelitales, y por eso, el inventario de glaciares del IANIGLA, los registra. Los otros elementos, si bien pueden tener hielo, requieren un trabajo más minucioso y de campo para poder registrarlos, y sería imposible que el IANIGLA los pueda incluir a todos en el inventario nacional. ¡Pero no por eso, quedan desprotegidos por la ley!

**Ciclos de Congelamiento y Descongelamiento:** La cobertura de piedra de un glaciar de escombros más cercana a la superficie y/o en las zonas más cercanas al límite inferior del ambiente periglacial, se congela y se descongela continuamente. Este ciclo es clave en su función de regulación hídrica. Es decir, tiene momentos donde la temperatura sube por encima de  $0^{\circ}\text{C}$ , y el hielo (si lo tuviera) se convierte en agua. Este patrón cíclico es un fenómeno que puede tener distintos comportamientos a distintas profundidades y en distintos momentos del año, según la temperatura ambiental. A una determinada profundidad del ambiente periglacial y de la zona de permafrost más específicamente, llegamos a la parte del suelo que nunca se descongela, *este es el permafrost* que está siempre congelado. Las capas superiores del suelo congelado que sufren ciclos de congelamiento y derretimientos se denominan *capa activa*. Estas capas están en permanente estado de transformación y movimiento. Aquí reproducimos una figura que publica el IANIGLA en su página de Internet, pues es muy ilustrativa de las diferentes capas que tiene el suelo congelado.



**Procesos Periglaciales formadores de Crioformas:** Este concepto nos indica que hay una interacción entre los elementos naturales en el ambiente periglacial (que incluye hielo, piedras, suelo, etc.) determinados por la variación de la temperatura y esta interacción es lo que genera los glaciares, los glaciares cubiertos y los glaciares de escombros, así como otras geoformas y elementos del ambiente periglacial que también manifiestan valor hídrico.

Hasta aquí hablamos de la definición del ambiente periglacial que nos ofrece el IANIGLA, que es importante porque la ley de protección de glaciares y del ambiente periglacial encomienda al IANIGLA determinadas actividades conducentes a su protección, incluyendo la realización de un inventario nacional del ambiente periglacial. Sin embargo, es importante aclarar que existen matices que profundizan, amplían, cuestionan o contradicen a estos conceptos y definiciones. No hay una definición absoluta sobre la materia. Los glaciares y las diversas formas de hielo que se estudian en la criología (el mundo del hielo) y específicamente en la geo-criología (estudio de la relación entre el frío y la geología) forman parte de un estudio que está en evolución y por lo tanto, las definiciones varían según a quien se consulta.

*Como eje central a esta discusión sobre la implementación de la ley de glaciares y ambiente periglacial, lo que nos debe preocupar e interesar es cuando el ambiente periglacial contiene hielo y que ese hielo es una reserva de agua y que además nos ayuda a regular las cuencas hídricas cuando la naturaleza lo necesita.*



Imagen: Suelo congelado con contenido de hielo. Fuente. JP Milana



Ambiente Periglacial en San Juan – con contenido de hielo. Fuente: JP Milana



Ladera con “geliflujión” reconocida por pequeñas cimas y surcos, indica probable presencia de suelos congelados. Fuente BGC/Casales p.55

### **Algunos otros conceptos para precisar el término.**

Dario Trombotto Liaudat, agrega a la definición que vemos en la página del IANIGLA, que el ambiente periglacial además evidencia la “ocurrencia de permafrost en profundidad” ... con “posible presencia de hielo subterráneo entrampado y preservado ... por largo tiempo”. También agrega que el ambiente periglacial está marcado por un “dominio del proceso de congelamiento, con ciclos de congelamiento y descongelamiento” y con “presencia de solifluxión/gelifluxión en superficie”. Es decir, que el hielo puede estar a profundidades (a veces a una profundidad significativa) por debajo de la superficie del suelo y que tanto las rocas como el hielo que son parte de este ambiente pueden estar en movimiento.

Trombotto también nos llama la atención a una diferencia entre puntos de vista de las exposiciones de las pendientes en los Andes, norte vs. sur, respecto a la presencia del permafrost. Las pendientes sur pueden incluir permafrost más fácilmente en sus exposiciones, dependiendo de la altura y de situaciones micro-climáticas. Trombotto también nos aclara un punto clave en la discusión, que es que el agua puede existir a temperaturas bajo cero y en este sentido, dice Trombotto que si bien “todo suelo perennemente congelado [siempre congelado] es permafrost, ... no todo permafrost está perennemente congelado”. Y por esto aclara que el “permafrost no debe ser considerado permanente, ya que cambios climáticos en la historia geológica o los inducidos por el hombre pueden causar un aumento de la temperatura del suelo y afectarlo”. En este sentido, el permafrost es un recurso inestable, y puede estar aportando agua o no según las condiciones del momento.

Trombotto nos aclara que los glaciares de escombros son elementos o crioformas del ambiente periglacial, los más importantes en los Andes. Dice:

[El glaciar de escombros] es una crioforma que presenta evidencias de movimiento pasado o presente. El glaciar de escombros es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que, si es activa, se mueve pendiente abajo por gravedad, reptación y deformación del permafrost.

También aclara un punto muy importante en términos de valor hídrico de estas crioformas,

“Los glaciares de escombros no se forman donde no hay suficiente humedad como para formar hielo intersticial que permita la deformación y movimiento de la crioforma”.

Esencialmente, la presencia de agua/humedad es clave para la formación de los glaciares de escombros.

El ambiente periglacial presenta capas o niveles de procesos en el suelo, que pueden ser activas o inactivas desde el punto de vista dinámico. La capa activa (la más superficial) tiene ciclos de congelamiento y descongelamiento. Es decir, el hielo que se forma en invierno y en los meses más fríos, se derrite en los meses más calurosos. Esto es lo que definimos como la función como “regulador hídrico”, convirtiendo el hielo en agua en los días y meses más calientes, y captando agua en forma de hielo durante los días y meses más fríos. Es un ciclo natural muy adaptado a las necesidades de los ecosistemas de montaña que de no existir el ambiente periglacial o los glaciares, no tendría agua en el verano.

## ¿Podemos Identificar Ambiente Periglacial con Imágenes Satelitales?

**Si. Podemos.** Hay algunas pistas, aunque no siempre podemos ver a todos sus elementos.

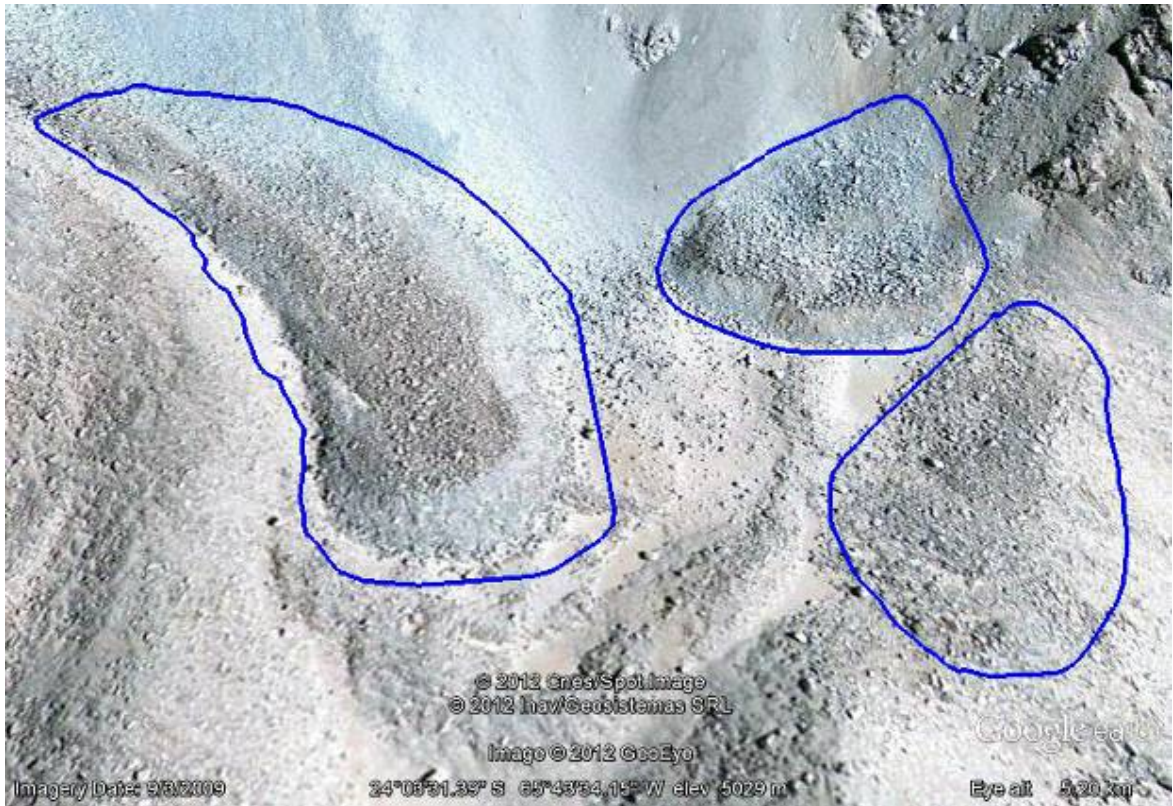
Primero debemos desmentir aquellas personas que dicen que no se puede identificar al ambiente periglacial por imágenes satelitales. Simplemente no es cierta esta afirmación. El congelamiento de la tierra y del agua genera geoformas (figuras compuestas por piedra) acomodando a las piedras sueltas de manera sistemática y reiterativa. Es justamente este orden particular de los elementos naturales ordenados por los procesos de congelamiento y descongelamiento que podemos distinguir como algo distintivo, y esto lo podemos ver desde muy alto.

En la siguiente imagen vemos como el suelo congelado (en Svalbard Noruega) ordena a las piedras superficiales de una manera muy particular, en este caso, en múltiples aros. Tiene que ver con las propiedades físicas del congelamiento del suelo y su efecto en las piedras.



Suelos congelados ordenan a las piedras superficiales en formas circulares. Fuente: Hannes Grobe.

En la siguiente imagen, de las montañas de Jujuy (se puede ver en:  $24^{\circ}03'31.39''$  S  $65^{\circ}43'34.15''$  W) por ejemplo, vemos que hay muchas piedras sueltas depositadas al pie de una ladera de la montaña. Notamos que hay un orden en esas piedras. No están desparramadas al azar si no en forma de lengüetas. Estos son suelos congelados y las piedras ordenadas son glaciares de escombros. El de la izquierda y el del centro muestran características típicas de glaciares de escombros, manifestando un corte angular en su frente de 30-40 grados. El tercer polígono (a la derecha) no está tan claro, pues carece de este corte típico y es más plano, pero podemos inducir por la presencia de los otros dos a su lado, que es también un glaciar de escombros. Los tres polígonos (los glaciares de escombros) tienen movimiento hacia abajo de la ladera.



Piedras ordenadas revelan suelos congelados (glaciares de escombros) en Jujuy. Fuente: Google earth

Hay situaciones donde efectivamente no podemos constatar la presencia de ambiente periglacial de manera remota (por imágenes satelitales), pero en otras es muy claro que sí podemos verlo. Además en muchos casos podemos inferir la presencia de ambiente periglacial, identificando el ordenamiento de geoformas (compuestas por piedras) que se dan en el ambiente periglacial, como por ejemplo los glaciares de escombros u otras geoformas ordenadas de una manera en una forma particular, que también indican que hay o puede haber ambiente periglacial.

La presencia de glaciares de escombros es la manera más indicativa de la presencia de ambiente periglacial, y es la que ha tomado preminencia en el trabajo del IANIGLA en la realización del inventario de glaciares y ambiente periglacial. Recordemos, sin embargo, que los glaciares de escombros no son el único elemento del ambiente periglacial con valor hídrico. Puede haber ambiente periglacial con altísimo valor hídrico, protegido por la ley de glaciares, sin presencia de glaciares de escombros.

Los glaciares de escombros se dan en zonas donde el suelo está permanentemente congelado, y son *uno* de los elementos del ambiente periglacial. Cuando aun las imágenes satelitales carecían de precisión visual, expertos en geocriología (en glaciares de escombros) como Barsch y/o Haeberli establecieron en los años 1970 una manera y metodología "indirecta" mediante la identificación de relieves periglaciales (como los glaciares de escombros) para la identificación de suelos congelados (permafrost).

Otra manera es por algunas características típicas de los suelos en zona de ambiente periglacial que denotan la presencia de suelos congelados.

**Arrugas.** Nos dice Milana, "la morfología más común que sirve para identificarlo [está hablando de los suelos congelados] es la formación de 'arrugas' en el suelo." Estas arrugas se forman por el movimiento del suelo que es posible por la plasticidad del hielo y la gravedad por la pendiente del suelo. (Milana, Hielo y Desierto, p.122)

Las dos fotos siguientes son indicativas de cómo las imágenes satelitales nos pueden ayudar a identificar suelos congelados en lugares donde posiblemente no se ven glaciares de escombros pero si hay suelos congelados que podrían contener hielo (el que sería protegido por ley).

La primer foto es una imagen *fotográfica* tomada en el lugar, y la segunda, es una imagen del mismo lugar visto en *Google earth*. Claramente, sí se pueden ver estas arrugas por imagen satelital. Si bien no podemos determinar con certeza si hay o no hay hielo en este suelo, sí es una indicación muy reveladora que merece mayor inspección *in situ*.

Fotografía de arrugas superficiales ubicadas en un ambiente periglacial. Foto JP Milana

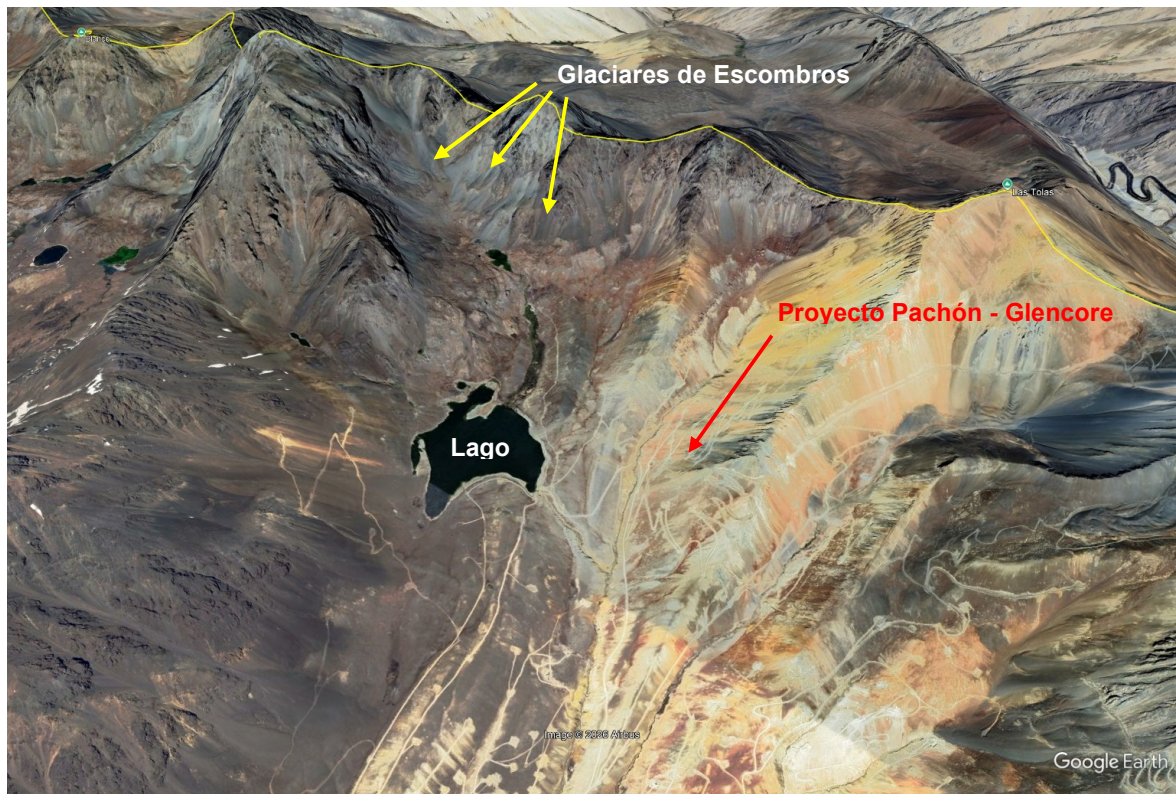


Misma imagen en *Google earth* confirma que se pueden ver características de ambiente periglacial por *Google earth*



**Acumulación de Agua al Pie de Ambientes Periglaciales.** Donde hay ambiente periglacial que funciona como regulador de cuencas, a causa de su congelamiento y descongelamiento de las capas activas de estos suelos, es muy probable que encontremos acumulación de agua en las zonas más bajas del ambiente periglacial, en forma de lagunillas, hilos de agua que nutren arroyos, etc.

En la siguiente imagen, en la proximidad del proyecto minero El Pachón (de Glencore), vemos un lago que está al pie de glaciares de escombros (se ven bajando el valle de la quebrada). La formación de estas lagunillas es típico al pie de ambientes periglacial. Si en verano estos lagos se mantienen congelados, es muy probable que la temperatura del ambiente esté a cero o menos grados y que estemos entonces en ambiente periglacial. Si hay congelamiento y descongelamiento, es posible que estemos en zonas de permafrost discontinuo.



Lago se forma en ambiente periglacial al pie de glaciares de escombros-- cercanía al proyecto Pachón, en San Juan  
Ver por *Google earth* en: 31°46'10.94" S 70°26'41.46" W

## El Ambiente Periglacial y Su Importancia para los Ecosistemas

Corte nos cuenta que los primeros pobladores organizados de la región, los Incas, habían aprendido a utilizar los suelos congelados. Almacenaban alimentos bajo tierra en alturas donde el suelo ofrecía un congelador natural. Las personas que viven en o visitan lugares muy fríos solemos colocar alimentos perecederos o bebidas afuera porque el frío del ambiente externo las mantiene a temperaturas que aseguran su frescura.

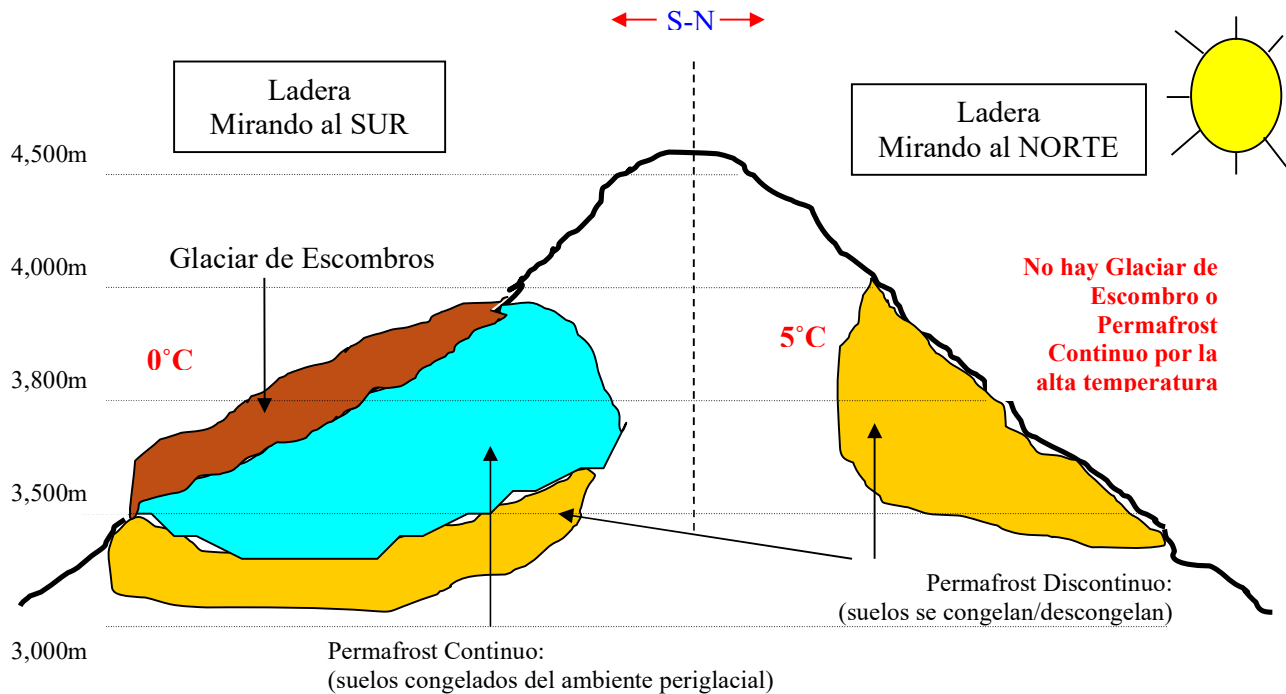
Pero posiblemente lo más importante del ambiente periglacial, no es su baja temperatura permanente, si no las zonas más bajas y más superficiales del ambiente periglacial, ya que estas zonas experimentan ciclos de congelamiento y descongelamiento. Estos ciclos de congelamiento y descongelamiento son los que aportan agua al ecosistema, y son especialmente importantes en zonas áridas como San Juan, Salta, Catamarca, La Rioja y Jujuy. En estas zonas “inestables” del ambiente periglacial, la humedad ambiental se congela cuando hace mucho frío, y se descongela cuando sube la temperatura. Y este proceso es lo que llamamos la “regulación” del agua proveniente del ambiente glacial y periglacial. Corte, hablando sobre el “drenaje” de las zonas de suelos congelados (el permafrost) nos dice sabiamente, “El drenaje de una zona de permafrost se efectúa a través de la capa activa. La nieve que se derrite, ... si hay una temperatura mayor en verano que pueda fundir el hielo del permafrost, fluye por la capa activa; siendo ésta muy delgada de pocas decenas de centímetros, el flujo puede ser muy significativo.” (Corte 1983, p.306). Y es justamente esta la razón por la cual la ley de glaciares protege al ambiente periglacial.

*¡El ambiente periglacial preserva agua y ayuda a regular las cuencas!*

Hay lugares donde este ciclo de congelamiento y descongelamiento ocurre en un mismo día. A la noche se congela el agua de un arroyo, y durante el día se derrite y genera un flujo hídrico. En el ambiente periglacial, ocurre lo mismo. La humedad generada en la superficie puede congelarse de noche, y aportar agua fluida durante el día.

Estos procesos también pueden ser estacionales, es decir, en invierno se congela el agua presente durante toda la temporada (noche y día) y en primavera o verano se descongela por varios meses. También puede ocurrir que, en un mismo cerro, según la exposición de sus laderas, puede haber partes que se mantienen congeladas y otras que sufren estos ciclos de congelamiento y descongelamiento. En el hemisferio sur, en la alta montaña de los Andes centrales (por encima de los 3,500-4,000 metros), generalmente la ladera que mira al norte se descongela y larga agua, mientras que la ladera que mira al sur, se mantiene más fría. Estas diferencias también pueden ocurrir a diferentes elevaciones de un mismo ambiente periglacial, por ejemplo, tener zonas por encima de los 4,000 metros donde se mantiene todo congelado, y zonas más bajas, a 3,000 metros, por ejemplo, donde hay derretimiento.

La siguiente imagen ofrece un esquema genérico y típico para un cerro en zona de ambiente periglacial. Aquí cortamos la montaña en una sección para graficar cómo se reparten las diversas zonas frías y más calientes. Suponemos que este corte es en pleno verano, y a una altura de aproximadamente 3,200-4,800 metros. Podría ser un cerro de San Juan, Catamarca o La Rioja. El lado sur del cerro, por estar a la sombra, a pesar de ser pleno verano, se mantiene a 0°C o menos, y por eso, vemos que hay un glaciar de escombros (color marrón) y suelos congelados del ambiente periglacial (azul clarito). Pueden existir zonas más bajas que se congelan y descongelan cíclicamente (pocas o varias veces por año), estas son las zonas de *permafrost discontinuo* (color mostaza) y pueden tener por lo tanto un gran aporte de agua. Nótese que del lado Norte, puede haber hielo en la montaña, pero en este ejemplo, sería un *permafrost discontinuo* (color mostaza), ya que solamente puede sobrevivir un tiempo a temperaturas por encima de los 0°C. Probablemente este hielo desaparezca mucho antes que termine el verano.



Tengamos en cuenta que esta imagen es solamente una representación genérica ilustrativa simplificada, ya que también puede haber suelos permanentemente congelados sobre las laderas norte (en latitudes más elevadas).

La geóloga y experta en glaciares, Ana Lía Ahumada, quien ha estudiado los ambientes periglaciales de provincias como Jujuy, Catamarca, y Salta, nos indica el rol fundamental que estos cuerpos de hielo y estos suelos congelados juegan para la vida organizada en la zona del Nor-Oeste Argentino.<sup>3</sup>

El porcentaje de hielo en los glaciares de escombros varía entre el 40% y el 60%. Y es por ello que son considerados importantes reservorios de agua dulce en altura y reguladores del ciclo hídrico en regiones de climas áridos y semiáridos donde se encuadran los valles intermontanos productivos del Noroeste de Argentina.

[varias cuencas de los glaciares de escombros en el NOA] están vinculadas a la generación de energía hidroeléctrica o distribución de riego y agua potable. [Otras] abastece[n] la provisión permanente de agua en los valles productivos de altura. En síntesis, se podría decir que en el Noroeste de Argentina los glaciares de escombros:

- Se encuentran en cabeceras de cuencas generadoras de energía, agua de riego y agua potable.
- Son la fuente reguladora de recursos hídricos de poblaciones de altura en regiones limítrofes del país y constituyen por ello un alto valor estratégico.
- Permiten el establecimiento de poblaciones y producción en los valles altos e intermontanos con la aplicación de conocimientos ancestrales devenidos de las culturas originarias y el cultivo de productos agrícolas propios de este piso altitudinal ...

Es necesario realizar un Inventario de glaciares de escombros no sólo por las razones expuestas antes sino debido a los riesgos provocados por el Calentamiento Global y el aumento de requerimientos de agua

<sup>3</sup> Ver: <http://www.glaciares.org.ar/categorias/index/nota-noa>

dulce anunciados para el Siglo XXI, motivos que incrementan la necesidad de su registro en virtud de la importancia estratégica del recurso hídrico.

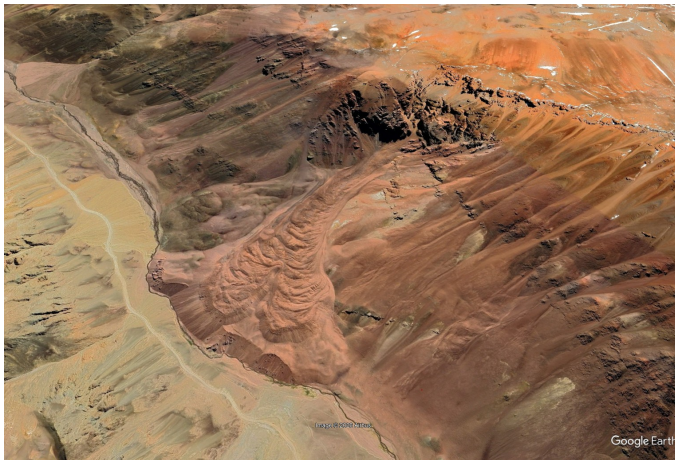
El inventario de glaciares en general, es una herramienta necesaria para la prevención de desastres, elaboración de proyectos de organización territorial, desarrollo, evaluación de vulnerabilidad, manejo, legislación y economía del agua.

Corte nos resalta que, en lugares como la Puna, en el norte de Argentina, la congelación y la descongelación diaria de los ríos, cumple una función fundamental en la conservación de agua en épocas del año donde más se necesita regular el flujo hídrico (esta es la función que la Ley de Glaciares llama, la función de “regulación de cuencas”).

“Catalana (1927) hizo una descripción de los ríos de la Puna, que “corren con el reloj”: Comienzan a fluir a las 10 de la mañana y se secan a las 16. Estas crecidas diurnas de los ríos de la Puna son debidas al congelamiento de vertientes durante la noche y su función durante el día. ... Las vertientes congeladas se producen en la estación seca de la Puna, durante el invierno, o sea cuando más necesario se hace el recurso. En las planificaciones sobre el uso de este recurso el factor criogénico es de gran importancia.” (Corte 1983, p. 351).

Marangunic (uno de los glaciólogos chilenos más experimentados respecto a glaciares de escombros y ambientes periglaciales) y Corte (una figura indiscutible en la materia) estudiando la Cordillera Central, comprobaron la enorme importancia de los glaciares de escombros (y del ambiente periglacial) en términos hidrológicos. Según Marangunic (1976), “se puede esperar que un km<sup>2</sup> de glaciar de escombros proporcione un caudal de 30 litros por segundo. (Corte 1983, p.349).

En el trabajo de Trombotto, el geocriólogo resume el trabajo de Schrott 1994 y revela algunos datos impresionantes sobre el aporte hídrico de los glaciares de escombros:



Glaciar de Escombros Dos Lenguas, San Juan Argentina, aportaría 5-8l/s  
ver por *Google earth* en: 30 14 51.83 S, 69 47 5.46 W

- El glaciar de escombros Dos Lenguas descarga 18,000 – 28,800 litros hora (o 5-8 litros/seg); (ver foto a la izquierda)
- La cuenca alta del Agua Negra con 2km<sup>2</sup> de glaciares de escombros aportaría unos 180,000 litros hora (o 50 litros/seg); 30°10'30.16" S 69°47'53.84" W
- La cuenca de las Morenas Coloradas que contiene glaciares de escombros es la fuente del río Vallecitos, con 1,818,000 litros hora (o 505 litros segundos), vital para abastecer a la población de Mendoza; 32°57'15.00" S 69°22'16.75" W



Sistema de glaciares de escombros/ambiente periglacial (Agua Negra) aportaría 180,000 l/hora. San Juan Argentina;  
ver: 30°10'30.16" S 69°47'53.84" W

Hemos escuchado en alguna oportunidad decir que los glaciares no aportan agua, que la nieve caída sobre los glaciares se pierde por evaporación y sublimación (es decir, que nunca se convierte en agua y se desvanece en el aire directamente). Esto lo afirma incluso Corte en su obra publicada en 1983, pero hay una aclaración muy importante que los escépticos respecto al aporte hídrico de los glaciares de escombros, no mencionan, y esto justamente lo aclara Corte en su discurso, pues no es lo mismo el caso de un glaciar descubierto y la nieve, al hielo contenido en un glaciar cubierto o de escombros en el ambiente periglacial:

“La cobertura detrítica debe jugar un papel importante en el suministro de agua por varias razones: su superficie irregular y blocosa sirve para atrapar la nieve y a su vez, ésta se funde entre los bloques y es recrystalizada nuevamente más abajo. A su vez, el movimiento de la cobertura debe fundir nieve en el mismo glaciar de escombros. De este modo las pérdidas por sublimación y evaporación, que son tan importantes en estas regiones secas, se ven impedidas en estos cuerpos.” (Corte 1983, p. 350)

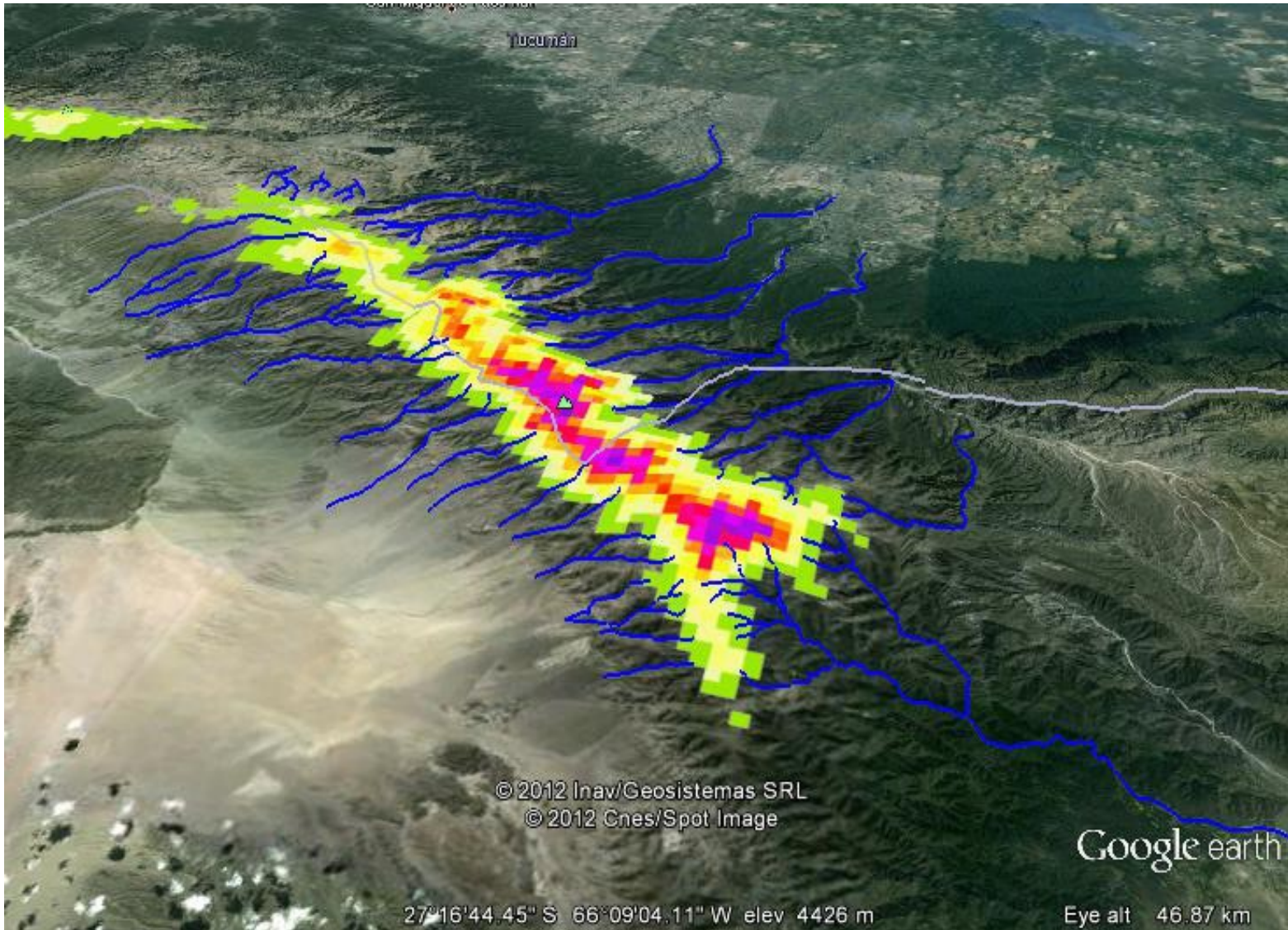
Además, hay otro aspecto omitido por este análisis que es que la sublimación del hielo (el paso de hielo a gas directamente) no aportará agua de manera directa como agua de deshielo, pero *sí* contribuye a incrementar la humedad atmosférica que luego puede retornar al suelo en forma de condensación como rocío nocturno o como lluvia.

Entonces, *no es del todo cierta* la afirmación de algunos, que el hielo en los ambientes periglaciales (en los glaciares de escombros) o la nieve que cae sobre ellos, se evapora y no contribuye al aporte hídrico de los cuerpos de hielo o a los ecosistemas. *¡Todo lo contrario!* Los glaciares de escombros (con detrito/rocas en la superficie), aportan agua directa e indirectamente! Y la porción que sublima además puede volver al ecosistema como agua en otras formas.

Como último punto del estudio de Corte, que también es importante notar, el geocriólogo estima que los glaciares de escombros se nutren de agua y nieve que viene de más arriba del glaciar de escombros. Por esto es importante todo cuerpo de hielo, manchones de nieve, hielo perenne, etc. que esté por

encima del cuerpo helado mezclado con detrito. Cualquier impacto en estos recursos que se ubican por encima del glaciar de escombros y del ambiente periglacial, debe ser evitado.

Vemos en la siguiente foto de los suelos congelados y los ríos que nutre en la sierra del Aconquija. Relación directa e indiscutible



## La Ley de Glaciares y el Ambiente Periglacial

Dijimos ya que la Ley de Glaciares protege tanto a los glaciares como al ambiente periglacial porque son importantes reservas hídricas y son estratégicos como tal, y porque son reguladores de cuencas. La inclusión del ambiente periglacial como zona protegida se hizo por recomendación del IANIGLA, porque entendió la importancia del ambiente periglacial en términos de reserva hídrica y también como regulador de cuencas.

Entonces, aparte de proteger a los glaciares, la ley establece que se debe también proteger y registrar a los ambientes periglaciales.

El Artículo 2 de la ley federal 26.639 “Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, dice:

... Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua. Asimismo, se entiende por ambiente periglacial en la alta montaña, al área con suelos congelados que actúa como regulador del recurso hídrico. En la media y baja montaña al área que funciona como regulador de recursos hídricos con suelos saturados en hielo.

Este párrafo de la ley nos aclara que debemos proteger y conservar al suelo congelado que funciona como regulador del recurso hídrico. Por la misma definición quedaría fuera de protección el suelo congelado que no tiene contenido de agua. Recordemos que el suelo permanentemente congelado (o el permafrost) es un estado de *temperatura, no de contenido de agua. Puede haber permafrost sin agua.* Es una aclaración importante para los fines de la protección del recurso hídrico en el permafrost y también en el momento de definir lo que se va a inventariar y lo que no. Además, notamos que este párrafo de la ley habla del ambiente periglacial *en general*, y no de una sola parte del mismo. No se refiere *solamente* las “geoformas” del ambiente periglacial. Sería una interpretación equivocada suponer o afirmar (como muchos lo hacen) que en el ambiente periglacial solamente están protegidos los glaciares de escombros (los que son solamente uno de los elementos del ambiente periglacial). Debería (aunque no se está haciendo actualmente) también inventariarse los suelos congelados del ambiente periglacial que no evidencian glaciares de escombros, pero si contienen hielo. Luego veremos por qué no se hace (pues existen limitaciones), y cuáles podrían ser maneras de lograrlo (o de inferirlo).

En los artículos 3 y 4 tenemos la aclaración de lo que se deberá inventariar:

“los glaciares y geoformas periglaciales que actúan como reservas hídricas ... con toda la información necesaria para su adecuada protección” (Art.3), y ...

“el Inventario Nacional de Glaciares deberá contener la información de los glaciares **y del ambiente periglacial** por cuenca hidrográfica, ubicación, superficie y clasificación morfológica de los glaciares **y del ambiente periglacial** ... verificando los cambios en superficie de los glaciares **y del ambiente periglacial**, su estado de avance o retroceso y otros factores que sean relevantes para su conservación.” (Art.4) – (negrita nuestra)

Ya aclaramos que un glaciar de escombros es una geoforma periglacial que es uno de los posibles componentes del ambiente periglacial. Pero también existe ambiente periglacial *sin* glaciares de escombros que también es importante como reserva hídrica y como regulador de cuencas. El artículo 3 apunta específicamente a la “individualización” de geoformas, como glaciares y glaciares escombros (activos y/o inactivos). La “individualización” de estas nos hace suponer que estamos identificando y contando cuerpos independientes de hielo, pero no necesariamente zonas congeladas sin glaciar o glaciares de escombros. Pero el artículo 4 nos resuelve esta duda, ya que es más general cuando establece que el inventario debe “contener información de los glaciares **y del ambiente periglacial**”. Aquí no hay mención específica de geoformas periglaciales y por esto entendemos que incluye el ambiente periglacial más ampliamente.

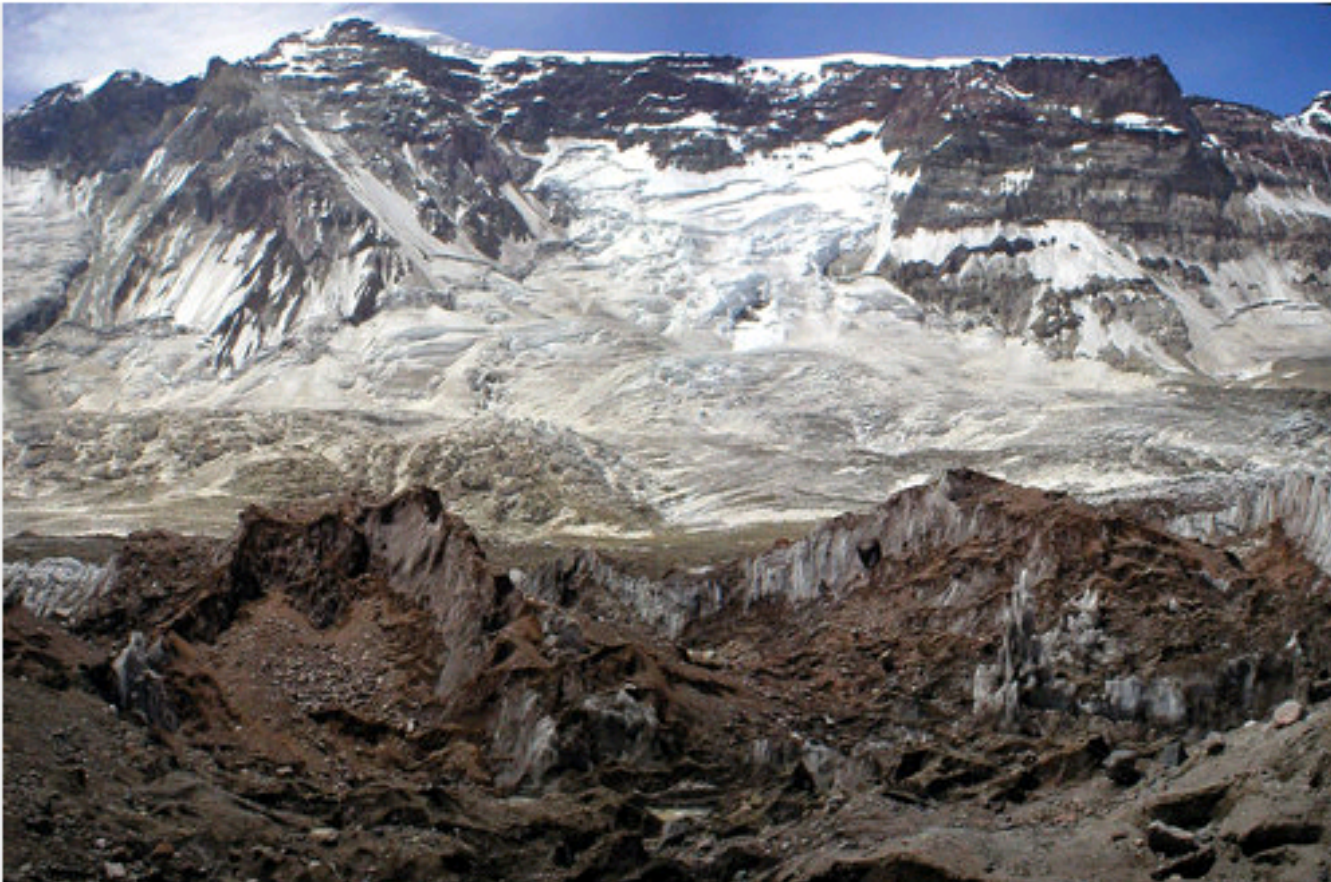
En ambos casos, los artículos 3 y 4 hablan de la “información necesaria” y de los “factores relevantes” para la protección del recurso. En este sentido, claramente la identificación, registro, y monitoreo de las zonas de suelos congelados y del ambiente periglacial más específicamente (tenga o no tenga glaciares o glaciares de escombros), se convierte en esencial para lograr la protección efectiva del recurso.

El artículo 5 reitera la necesidad del “monitoreo del estado de los glaciares **y del ambiente periglacial**”.

La ley nacional de protección de glaciares y ambiente periglacial establece la protección de *cualquier* geoforma en la zona del ambiente periglacial que contenga hielo, la que podría ser un glaciar de escombros activo (con movimiento) o inactivo (sin movimiento, pero con contenido hídrico). Este es un punto importante, ya que varias de las leyes *provinciales* de protección de glaciares especifican los elementos que están protegidos dentro del ambiente periglacial, hacen una distinción entre glaciares de escombros activos e inactivos y dejan afuera, a pesar de su posible rico contenido en hielo, a los glaciares de escombros inactivos, y también a otras geoformas del ambiente periglacial que también podrían contener hielo.

La diferencia entre glaciares de escombros activos versus inactivos tiene que ver con movimiento y regeneración. El glaciar de escombros activo se está nutriendo con hielo nuevo en al menos una capa activa superficial, mientras puede tener hielo interno más viejo y estable. La capa activa avanza, se mueve por la pendiente, se regenera y es cíclica. También el glaciar de escombros activo puede tener hielo que proviene de un glaciar descubierto superior, en cuyo caso, hay aún más dinámica en el cuerpo de hielo.

En la siguiente imagen vemos un imponente sistema glaciar en la zona de Tupungato, Mendoza. Se trata del Cerro San Juan, donde existe una transición de glaciar descubierto a glaciar cubierto y de escombros (se puede visitar en *Google earth* en: 33°29'32.04" S 69°47'48.31" W)



Complejo sistema glaciar con transición de glaciar descubierto a cubierto - Cerro San Juan, Tupungato Mendoza. Foto: Horacio Osorio

El glaciar inactivo puede estar en decadencia, e incluso podría estar evolucionando hacia su fin, lo que en realidad resulta en otra pregunta, ¿se está derritiendo? En el caso afirmativo, entonces el glaciar *inactivo* está aportando una contribución neta positiva de agua al ecosistema, finita, pero positiva mientras sobrevive el hielo, y por esto, también es importante.

El problema con algunas de las leyes provinciales que se han promulgado (como por ejemplo la de San Juan) es que ignoran el valor hídrico de los glaciares de escombros inactivos como si no aportaran agua, y directamente ignoran los otros recursos hídricos posibles del ambiente periglacial. En este sentido, la ley nacional es mucho más efectiva en proteger toda masa de hielo en forma de glaciar o en los múltiples posibles elementos de ambiente periglacial, tanto por su rol de regulador de cuenca, pero también por su rol como reservorio de agua, claramente importante en el caso de los glaciares de escombros inactivos y los demás elementos del ambiente periglacial.

Según el Artículo 4, debemos registrar *generalmente* al ambiente periglacial por cuencas hidrográficas, ubicación, superficie y clasificación morfológica. Es decir, aclarar si estamos ante un glaciar de escombros activo, inactivo, o simplemente suelos congelados (permafrost) y que este inventario y registro debe actualizarse cada 5 años. Es importante este punto porque el registro de la ubicación del ambiente periglacial, nos ayuda a definir a cuál de las cuencas aporta su contribución hídrica. Si bien es muy posible que nunca sepamos específicamente cuanta agua aporta un ambiente periglacial a una cuenca, sabemos que en su conjunto, el aporte puede ser muy significativo, y que el porcentaje que representa de todo el aporte hídrico se incrementa en épocas de poca precipitación de agua o nival.

El artículo 6 de la ley, sobre *Actividades Prohibidas*, que ha generado mucha controversia respecto a las prohibiciones de actividades mineras, también aborda al ambiente periglacial, y establece prohibiciones específicas a este ambiente, en los apartados a), y c). Los apartados b) y d) podrían aplicarse también al ambiente periglacial pero no está específicamente estipulado en la ley.

Art. 6º – *Actividades prohibidas*. En los glaciares quedan prohibidas las actividades que puedan afectar su condición natural o las funciones señaladas en el artículo 1º, las que impliquen su destrucción o traslado o interfieran en su avance, en particular las siguientes:

- a) La liberación, dispersión o disposición de sustancias o elementos contaminantes, productos químicos o residuos de cualquier naturaleza o volumen. Se incluyen en dicha restricción aquellas que se desarrollen en el ambiente periglacial.
- b) La construcción de obras de arquitectura o infraestructura con excepción de aquellas necesarias para la investigación científica y las prevenciones de riesgos.
- c) La exploración y explotación minera e hidrocarbúrfera. Se incluyen en dicha restricción aquellas que se desarrollen en el ambiente periglacial.
- d) La instalación de industrias o desarrollo de obras o actividades industriales.

El artículo 7 obliga a realizar estudios de impacto ambiental para actividades que se realizan en zonas de ambiente periglacial.

El artículo 15, sobre disposiciones transitorias, también incluye al ambiente periglacial respecto al posible traslado o modificación en diseño de actividades que puedan afectar al ambiente periglacial.

## ¿Donde está el Ambiente Periglacial en el Territorio Argentino?

Según Corte (1983, p.157-158), la presencia de suelos congelados en el territorio Argentino se divide en 6 zonas distintas:

Zona 1: Latitud 64° Latitud Sur, como ejemplo, la isla de Marambio o Cockburn, en la Antártica;

Zona 2: Latitud 60° Latitud Sur, como ejemplo, la isla de Signy/Coronación

Zona 3: Ushuaia, Tierra del Fuego a partir de los 900 msnm

Zona 4: Cordillera Patagónica en Río Negro, Bariloche ... a partir de los 2.200 m

Zona 5: Mendoza a partir de los 3.200 m hasta los 4.800 m

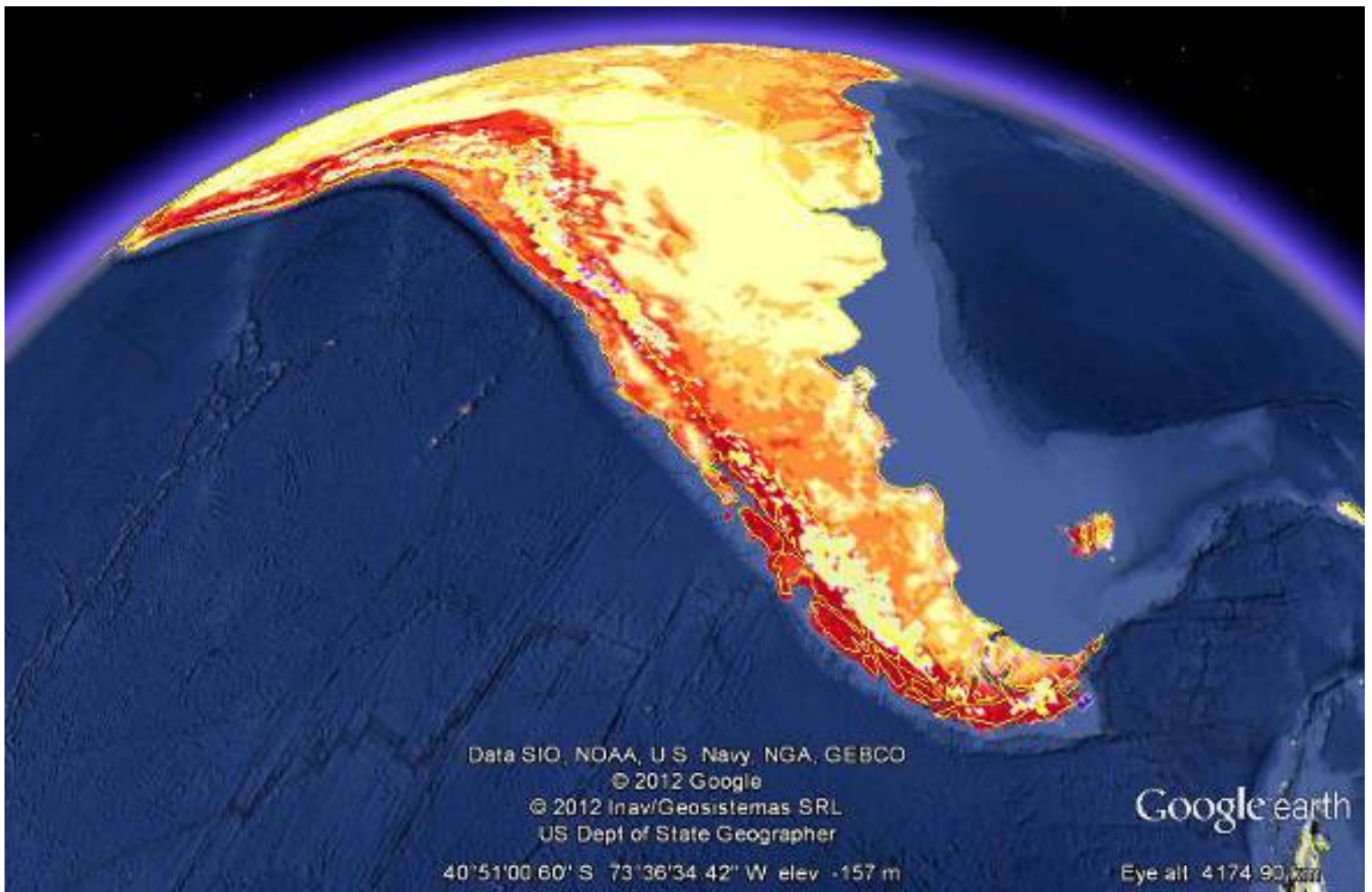
(la capa de congelamiento/descongelamiento regular es 3.200 a 2.400 m)

(por debajo de los 2.400 puede haber congelamiento/descongelamiento irregular)

Zona 6: Puna de Salta a partir de los 4.000 metros

(la capa de congelamiento/descongelamiento regular es 4.000 a 3.000 m)

(entre 3.000m y 2.000m puede haber congelamiento/descongelamiento irregular)



Una cuestión clave en la implementación de la Ley de Glaciares, es si podemos determinar, sin tener que hacer un trabajo de campo como lo haría un glaciólogo, si hay o no suelos congelados que contienen hielo/agua en un determinado lugar. Si podemos concluir con precisión la probable presencia de suelos congelados en un sitio, y si estos contienen hielo o si están aportando agua, entonces ante propuestas de actividad como la minería, podemos insistir en que se hagan los estudios necesarios para garantizar la protección del recurso.

Hay varios métodos que utilizan los expertos para identificar o inferir la presencia de ambiente periglacial, que cualquiera puede emplear con un poco de capacitación y un mínimo conocimiento del ambiente periglacial, y son medios abiertos y accesibles públicamente y sin costo alguno. Por su puesto, el paso final, la verificación definitiva de la información obtenida por estos métodos debe ser evaluada y confirmada por expertos. La accesibilidad de estas metodologías a nuestra disposición nos permite, sin embargo, exigir a los funcionarios públicos, que otorgan permisos a actividades como la minería, que hagan cumplir la ley.

Según el trabajo de Stephen Gruber, cuyo modelo mundial de suelos congelados se describe a continuación, hay unos 30,000 km<sup>2</sup> de suelos congelados en el territorio argentino. (Gruber, 2011, p.231). Recordemos, el ambiente periglacial es una franja definida por características geográficas y de topografía, y por temperatura, ubicada entre la zona glaciaria y el límite del bosque. Los bordes de esta franja se pueden intermezclar, pero esencialmente estos son los límites del ambiente periglacial.

En tan solo unos minutos, cualquier persona con una computadora y una conexión de Internet, puede utilizar la herramienta virtual creada por Gruber para encontrar los suelos congelados en el territorio.

## Método 1: Registro por Identificación de Glaciares de Escombros

Hay dos métodos que utilizan los expertos en la materia que cualquiera puede emplear para encontrar el ambiente periglacial, al menos en sus etapas preliminares, *el método por registro de glaciares de escombros*, que son visibles por imágenes satelitales como las que están disponibles en *Google earth*, y *por modelos teóricos* generados automáticamente por el análisis de imágenes satelitales que registran valores de temperatura de aire y elevación. Veamos ambos y hagamos algunos ejercicios de análisis para ver como cada uno funciona.

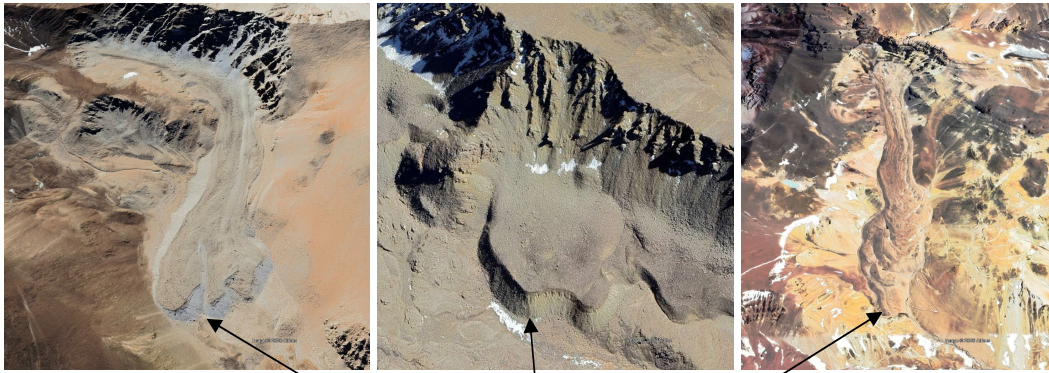
Antes de la disponibilidad de imágenes satelitales de alta resolución, se utilizaban métodos muy prácticos y visuales. Arturo Corte nos da una pauta clave para identificar donde está el ambiente periglacial en un determinado lugar. Dice (refiriéndose a los Andes Centrales):

“Para Los Andes secos centrales entre los 20° - 35° L.S. es posible trazar con toda claridad el límite entre el geo-criogénico y el parageocriogénico. En esas regiones el límite inferior Geocriogénico coincide con el límite inferior del permafrost esporádico de montaña, el que está definido por el límite inferior de los glaciares de escombros activos.” (Corte 1983, p.265)

“El límite inferior de los glaciares de escombros se ha usado para establecer el límite inferior del permafrost de montaña, ... los glaciares de escombros son indicadores de permafrost cercano al 0°C en sus partes inferiores y permafrost frío en sus límites superiores.” (Corte 1983, p. 124)

En términos simples, *busquen la parte más baja de los glaciares de escombros, y allí empieza el ambiente periglacial*. Esto es una tarea relativamente fácil, pues los glaciares de escombros son muy fáciles de identificar, ya que generalmente tienen una lengua muy típica, y muy identificable, que termina en un corte abrupto de 30-40°.

A continuación compartimos 3 imágenes de glaciares de escombros activos en diversas localidades del NOA y Cuyo. ¡Todos son muy fácilmente identificables para el no experto! Las flechas señalan los puntos inferiores donde empezaría el suelo congelado. Desde estos puntos, hacia arriba, se encuentra el ambiente periglacial. Es una tarea que podemos hacer *in situ*, sin cavar, sin necesidad de perforar para verificar hielo. También podemos realizar esta tarea (como lo hizo el IANIGLA) desde la comodidad de un escritorio, utilizando *Google earth*, o mirando fotografías del lugar. No hace falta trasladarse a lugares fríos, inhóspitos y de difícil acceso, como son la mayoría de los ambientes periglaciales de los Andes.



Glaciar Escombros en Salta  
25 00 33.70 S, 66 21 19.14 W

Glaciar Escombros en Catamarca  
27 18 22.94 s, 66 10 14.89 W

Glaciar Escombros San Juan  
30 04 10.20 S, 69 56 10.35 W

*Puntos inferiores de Glaciares de Escombros Activos donde empezaría el Ambiente Periglacial*

Trombotto, en publicaciones más recientes, reafirma esta metodología. “La actividad de los glaciares de escombros permite la identificación de la presencia de permafrost en el subsuelo Andino.” (Trombotto 2009) Extendiendo este ejemplo a una zona específica, por ejemplo, entorno a un proyecto minero en el cual queremos ver donde hay permafrost (ambiente periglacial), lo que hay que hacer es registrar todos los glaciares de escombros visibles, registrar a qué altura comienzan (desde abajo hacia arriba), y tomar especial nota de los puntos más bajos. Por allí estará el límite del ambiente periglacial.

*Atención*, porque los ambientes periglaciales pueden variar de una micro zona a otra. Puede ser que una referencia baja cambie de un cerro a otro. Es decir, no necesariamente el punto más bajo de todos es la referencia del comienzo del ambiente periglacial para toda la zona. Puede ser que es la referencia del ambiente periglacial solamente para suelos cercanos a ese lugar .

Evidentemente este es un ejercicio con mucho margen de error, en parte porque habrá ambiente periglacial invisibles por imagen satelital, o glaciares de escombros que no reúnen las características genéricas de tener un frente en forma de lengua con un quiebre abrupto tan notable. También nos pueden confundir los glaciares inactivos donde puede ser que ya no hay más suelo congelado y es un glaciar en vía de extinción. Pero en general, las particularidades genéricas sí nos dan una pauta útil para al menos entender la situación general de una zona determinada, y sin necesidad de ir físicamente al lugar, podemos llegar a muchas conclusiones útiles para luego pedir profundizar un estudio o pedir que se realice un trabajo de campo para juntar más información.

*ejemplo*

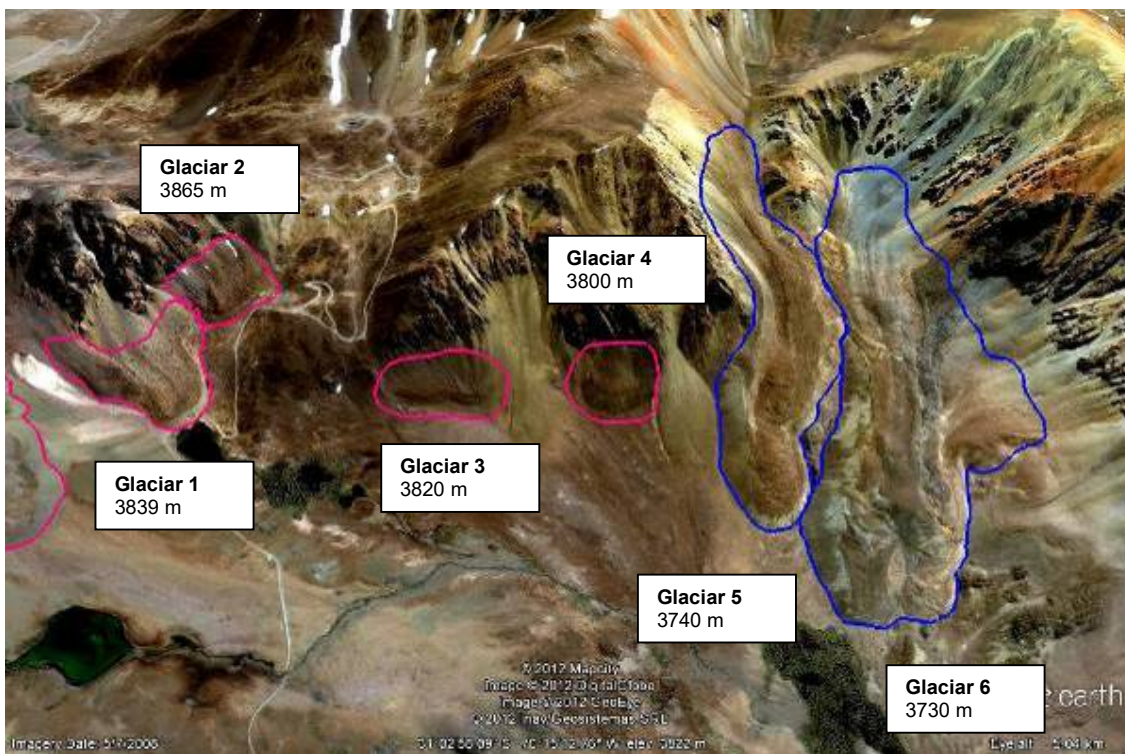
Podemos tomar el caso de la zona del proyecto minero Los Azules de McEwen Mining en la provincia de San Juan. El proyecto, perfectamente visible por *Google earth*, está aproximadamente en:

31°06'09.88" S 70°13'12.44" W

Si nos vamos a uno de los cerros cercano al proyecto podemos encontrar varios glaciares de escombros activos. En la siguiente imagen vemos a unos 6 glaciares de escombros, identificados con polígonos coloridos. Vemos que tienen el típico corte abrupto en la lengua del glaciar que vimos arriba. Se pueden ver estos glaciares de escombros por *Google earth* en: 31°02'58.09" S, 70°15'12.76" W. De izquierda a derecha registramos las alturas de los puntos límites y nos da:

- Glaciar (1): 3,830 m
- Glaciar (2): 3,865 m
- Glaciar (3): 3,820 m
- Glaciar (4): 3,800 m
- Glaciar (5): 3,740 m
- Glaciar (6): 3,730 m

En esta zona vemos que los puntos inferiores de los glaciares de escombro se ubican a partir de los 3,730 metros de altura. Este es el punto más bajo, pues los demás están todos por encima de este nivel, hasta llegar a los 3,865m. Podemos inferir entonces que el ambiente periglacial también, o al menos que en cualquier lugar cercano a estos glaciares podría haber suelos congelados a partir de los 3,730 metros. Si estamos abordando el control y cumplimiento de la Ley de Glaciares de un proyecto minero que quiere realizar actividades mineras en esta zona (como es el caso de McEwen Mining en Los Azules), entonces deberíamos exigir que en esta zona específica (quizás varíe en otros cerros de la zona), a partir de los 3,700 metros debemos asegurarnos de que la empresa realice no solamente estudios de glaciares, si no también, relevamiento y medición de ambientes periglaciales.



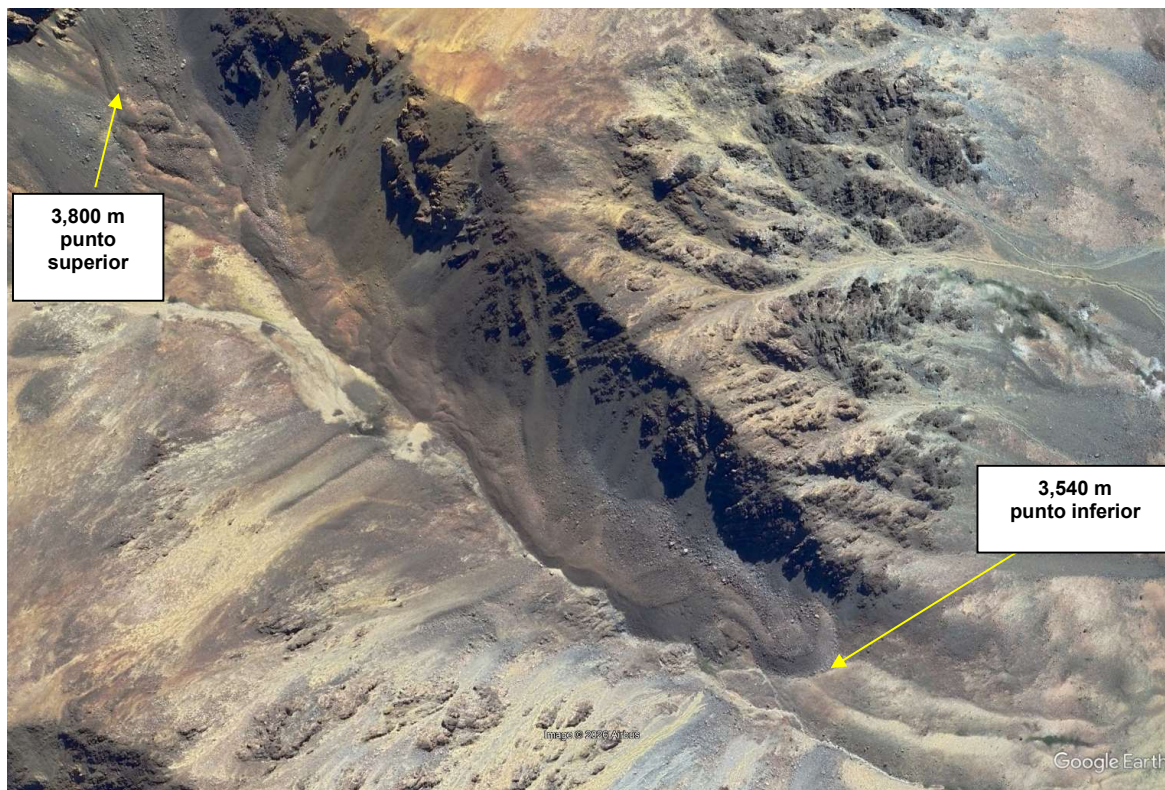
Siguiendo el ejemplo de Los Azules, podemos hacer un análisis mucho más amplio relevando todos los glaciares de escombro en la zona del proyecto. Este ejercicio nos da el siguiente resultado. (ver imagen a la izquierda).

Nuestro inventario de glaciares de Los Azules dio que hay al menos 226 glaciares de escombro en la zona del proyecto o en los alrededores del cateo.

### *Donde está el ambiente periglacial?*

Las mediciones registradas observando los puntos límites inferiores para todos estos cuerpos de hielo, revela que el punto más bajo del inventario fue a la altura de 3,540m (el punto más alto de este glaciar de escombros es 3,800m) correspondiente a un glaciar de escombros de talud ubicado en:

31°05'41.28" S 70°18'57.70" W (ver foto a continuación)



Esto implica que, al menos cercano a este glaciar de escombros y a la altura de 3,540m, podríamos estar en zonas de ambiente periglacial. Cualquier altura superior a 3,540 metros, debería considerarse y estudiarse la posible presencia de suelos congelados, ya que es altamente probable en esta zona que a esa altura exista ambiente periglacial.

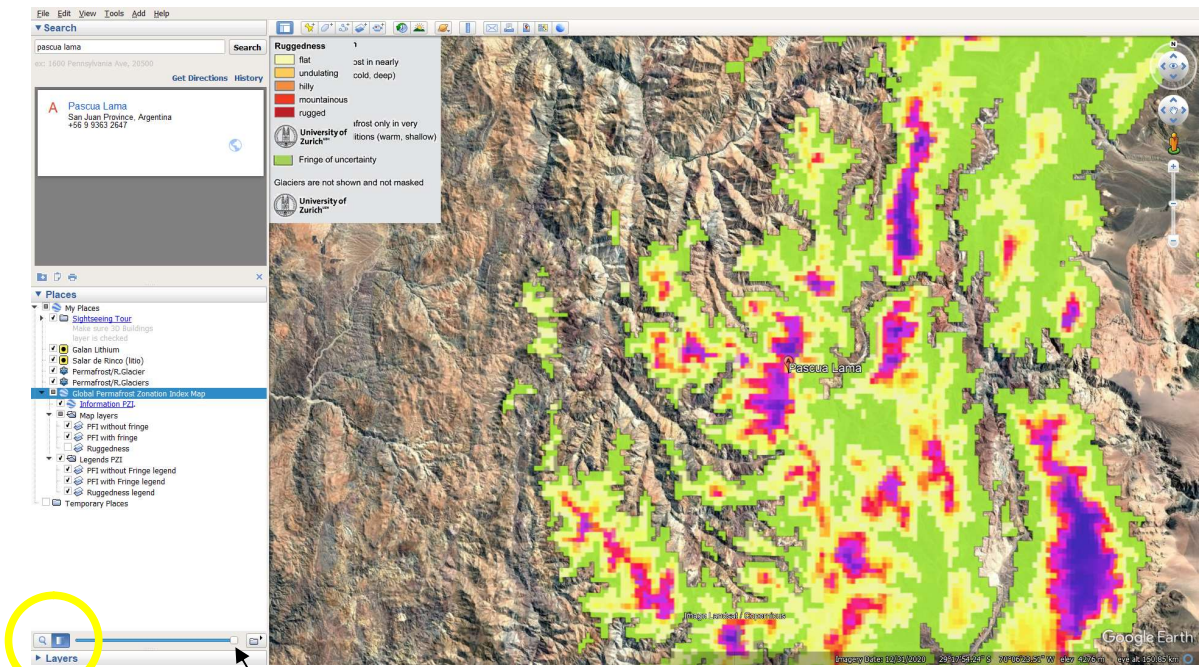
## **Método 2: Por Mapeo Mundial de Permafrost**

La Universidad de Zúrich, Suiza, ha desarrollado con sensores remotos y modelos virtuales que procesan data existente sobre elevación y temperaturas de aire en todo el mundo, que determinan la probable presencia de suelos congelados sobre cualquier territorio del planeta, es decir, un mapa de permafrost mundial. Este mismo se puede obtener fácilmente y de manera gratuita simplemente con una conexión de Internet. Se puede bajar del siguiente sitio.

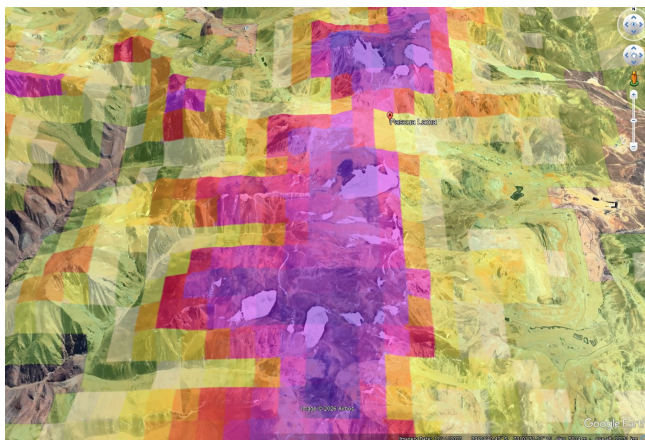
[http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf\\_global/GlobalPermafrostZonationIndexMap\\_2018.kmz](http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/pf_global/GlobalPermafrostZonationIndexMap_2018.kmz)

El archivo es un archivo con extensión “.kmz” cargable y visible en *Google earth*, muy práctico y simple de utilizar. Simplemente se baja el mismo, se abre el zip y se abre el archivo desde *Google earth*. Teniendo este archivo cargado en *Google earth*, cualquier lugar visitado en *Google earth* es automáticamente analizado por la presencia de permafrost, y la imagen del mismo es superpuesta a la imagen normal que percibimos cuando utilizamos *Google earth*.

Puede demorar unos momentos en cargar la imagen cuando se abre por primera vez. Con *Google earth* abierto en cualquier lugar del planeta, al descargar este archivo se ve una imagen como la siguiente, en este caso, correspondiente a la zona del proyecto minero Pascua Lama (Barrick Gold). En el panel de la izquierda del programa aparecen las carpetas del archivo descargado que ofrece la opción de tildar o *des-tildar* los diversos mapas de permafrost y las respectivas leyendas de los mismos. En la imagen vemos zonas púrpuras/violetas que son de alta probabilidad de permafrost. Nuestros inventarios de glaciares de zonas como la del Famatina, Aconquija, en Salta, Jujuy, y en diversos lugares de San Juan con presencia de proyectos mineros, confirman que efectivamente este mapa identifica con alta precisión la presencia de zonas donde abundan geoformas periglaciales.



Botón y Barra de Difusor de Imagen



Herramienta difusora de *Google earth* permite transparentar imágenes con mapa de permafrost

También en el panel de la izquierda en *Google earth* se puede elegir habilitar el *difusor* de la imagen, para poder ver la información sobre el permafrost conjuntamente con las imágenes originales de *Google earth* que están por debajo (la imagen arriba muestra esta superposición y difusión de imagen). Para activar esta herramienta, clickear sobre la pantalla pequeña que aparece en la zona inferior izquierda (ver círculo amarillo en la imagen anterior).

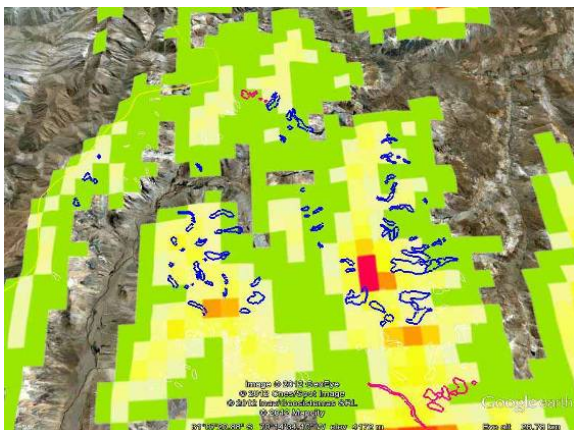
Sería interesante ver cómo compara la técnica de Corte (por identificación de glaciares de escombros) con el mapa de la Universidad de Zúrich. Si volvemos al ejemplo de Los Azules, y el glaciar de escombros que habíamos identificado como el más bajo de la zona del proyecto, el resultado de la comparación es sorprendentemente preciso. Abajo vemos el glaciar que habíamos ubicado como el más bajo y que suponíamos que estaba al límite de la zona de permafrost. Se puede ir a este lugar en:

31°05'41.28" S 70°18'57.70" W



Efectivamente, el mapeo de la Universidad Zúrich nos ubica a este glaciar en la zona verde del mapeo, que es justamente el límite de la incertidumbre donde la temperatura está al borde de cero grados. Es justamente allí el punto más bajo del ambiente periglacial probable.

Más sorprendente aun es cuando vemos la zona del proyecto y todos los glaciares mapeados de nuestro inventario (los polígonos azules), superpuesto sobre el mapa de permafrost de la Universidad de Zúrich. Se ve en la imagen que la coincidencia es casi perfecta, los glaciares de escombros están justamente donde el modelo pronosticaba que deberían estar. Prácticamente no hay glaciares por fuera de las zonas amarillas/verdes, solamente algunos puntos extremos de algunos pocos glaciares.



Esta coincidencia es clave, pues si no tenemos un inventario de glaciares de escombros, o de los demás elementos del ambiente periglacial de una determinada zona, podemos inferir con el modelo, que se encontraran en las zonas verdes y amarillas.

De esta manera, si se propone hacer una actividad como la minería en una zona de alta montaña, se le puede pedir a la empresa minera, que asegure que, en estas zonas amarillas y verdes, se hagan los estudios correspondientes para asegurar el cumplimiento con la Ley de Glaciares.

## El Territorio Nacional y el Ambiente Periglacial

Vamos entonces a las principales zonas del territorio argentino donde encontramos suelos congelados (permafrost). Aclaramos, que el mapa de permafrost la Universidad de Zúrich es una aproximación, y no podemos sacar conclusiones definitivas de esta información, pero sin lugar a dudas es un buen indicador que nos ayuda a predeterminar con alto grado de probabilidad donde podemos encontrar glaciares, glaciares cubiertos, glaciares de escombros, y suelos congelados. Nosotros desde CEDHA utilizamos este mapa para orientar a nuestro inventario, facilitando enormemente los pasos iniciales de cualquier inventario de glaciares. Empezando por las zonas más frías relevadas por el mapa de la Universidad de Zúrich, podemos estar seguros que estamos buscando en la zona más indicada.



Podemos ver por la imagen nacional a la izquierda que las zonas de permafrost (suelos congelados) se encuentran prácticamente todas a lo largo de la cordillera de los Andes, y principalmente en los Andes Centrales correspondientes a las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, y más al sur, principalmente en la provincia de Neuquén, Chubut, Rio Negro y Santa Cruz. Es notorio, y posiblemente opuesto a lo que imaginábamos, hay mucho más ambiente periglacial en las provincias de centrales que en el sur argentino.

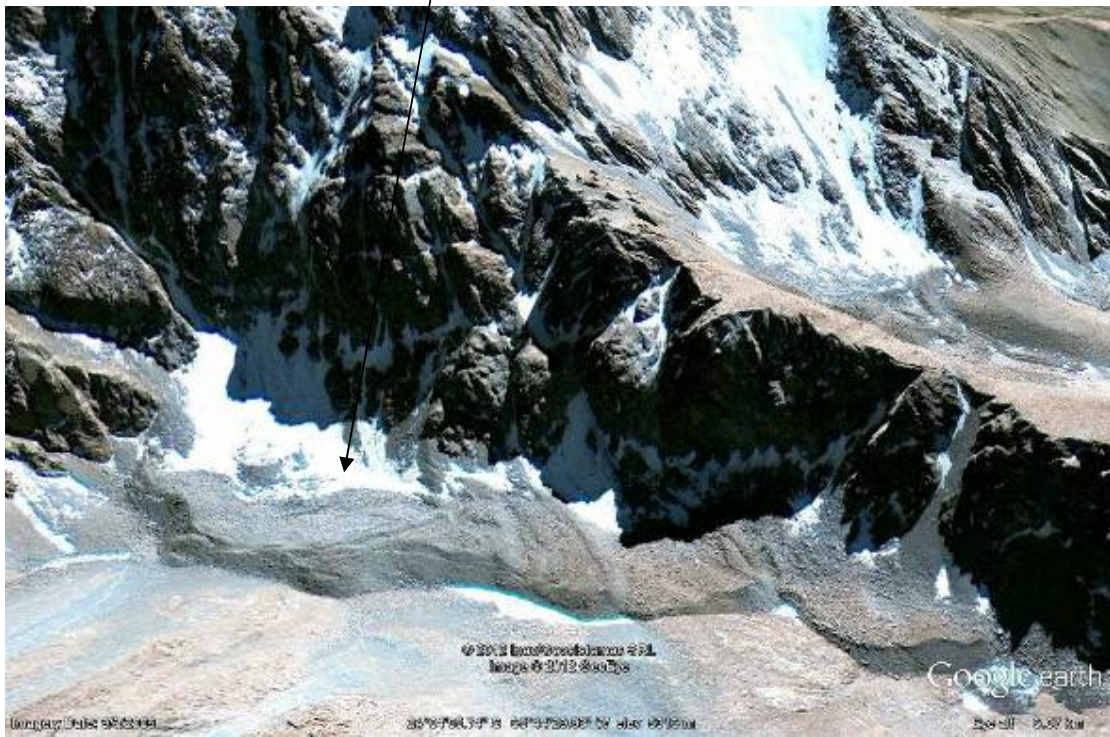
Veremos que además hay zonas de suelos congelados en otras cadenas montañosas como en el Famatina (La Rioja), Catamarca (Aconquija y Cumbres Calchaquíes, zona del Cerro Laguna Brava y Co. Galán), y en la zona límite entre Jujuy y Salta.

## Jujuy



En la provincia de Jujuy, se revelan varias zonas de ambiente periglacial, y más precisamente, de suelos congelados, principalmente en las zonas altas (por encima de los 4,000 metros de altura) y en los límites con la provincia de Salta y en la zona de la cordillera, límite con Bolivia. En todas estas zonas encontramos glaciares de escombros como en las imágenes que compartimos a continuación.

Glaciares Escombros y Ambiente Periglacial en Jujuy. ver en:  $24^{\circ}04'10.88''$  S  $65^{\circ}44'31.20''$  W



**Salta**



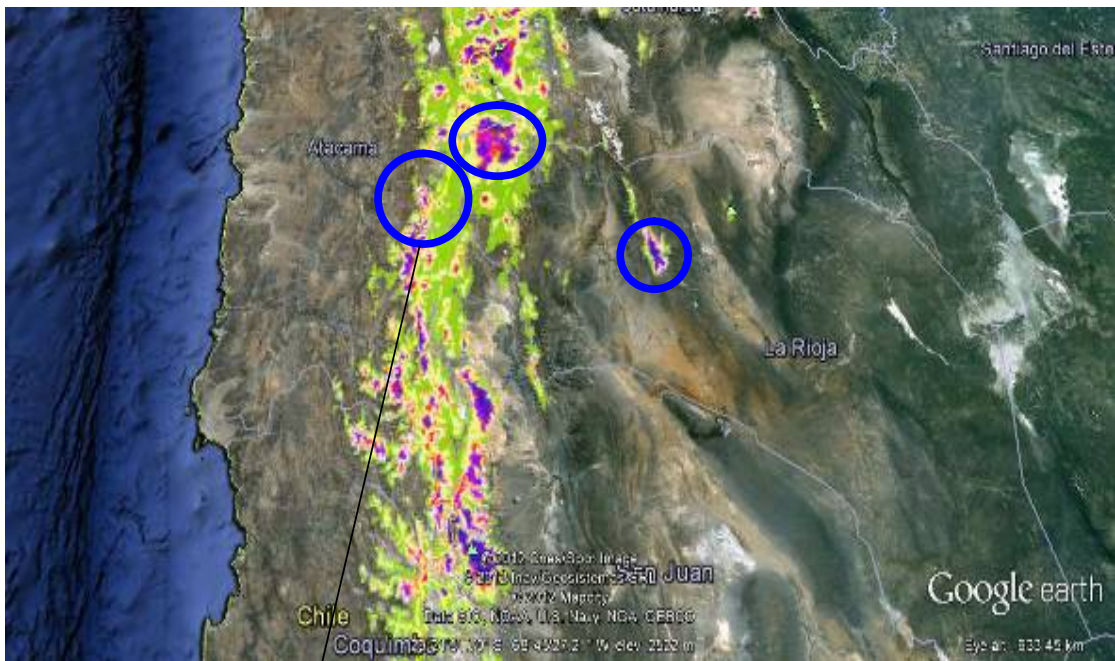
Las zonas con más suelos congelados no son en los Andes occidentales, si no en los Cerros de Cachi.  
ubicación: 24°55'13.12" S 66°23'13.82" W

2km de magníficos glaciares de escombros en suelos congelados de Salta. ver en: 24°45'34.84" S 66°22'37.41" W

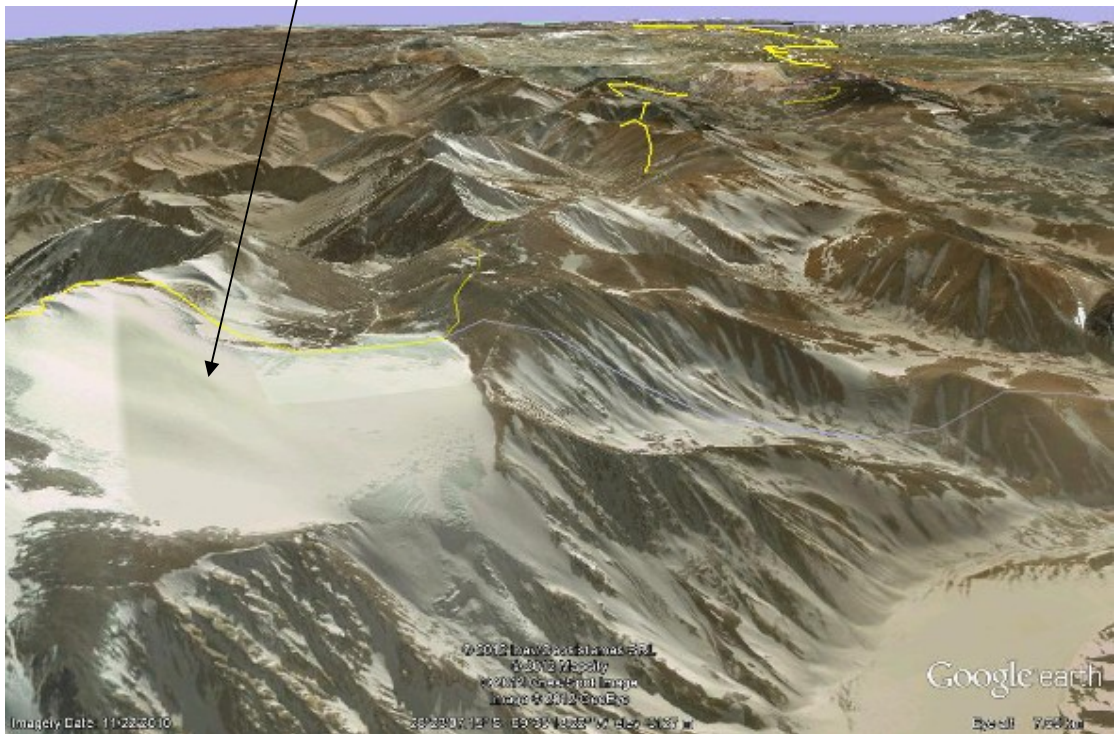




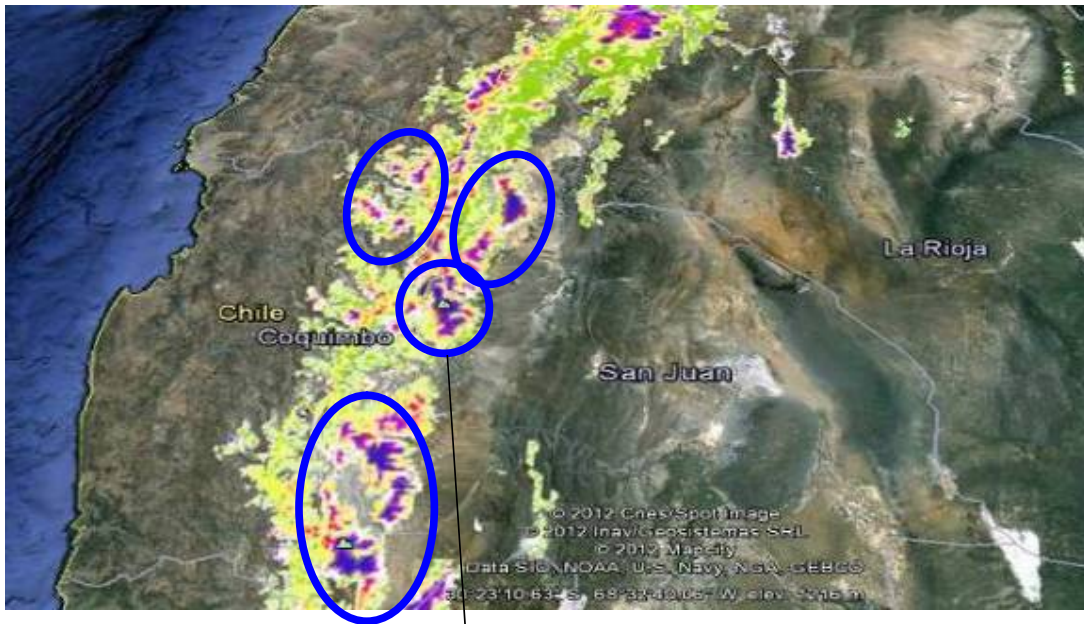
## La Rioja



La zona de El Potro, 28°23'12.53" S 69°35'37.35" W, con amplios suelos congelados riojanos.



## San Juan



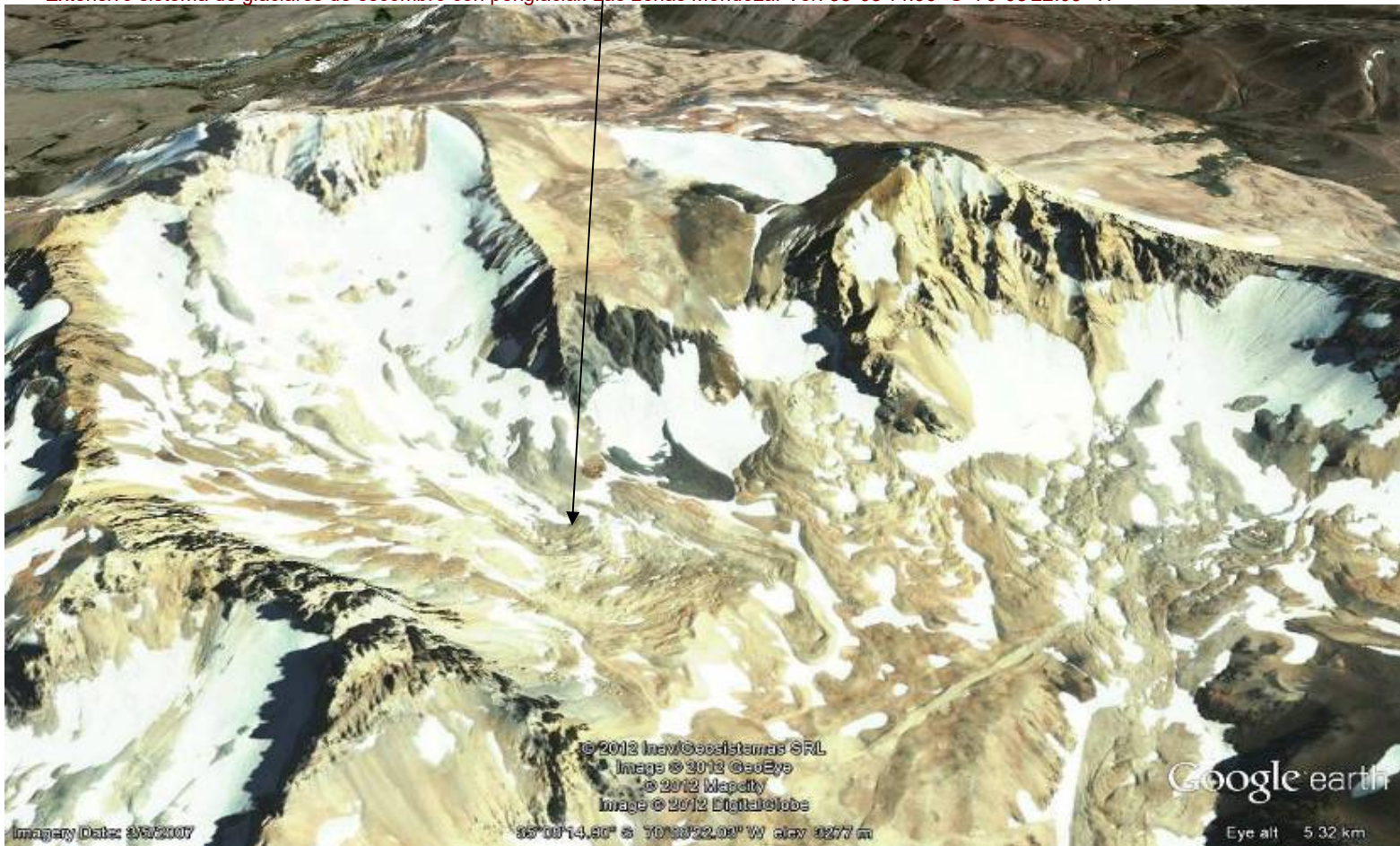
El glaciar Pircas Negras, San Juan, está rodeado de suelos congelados. Foto: Osvaldo Garcia; Ver en: 30°23'27.87" S 69°47'32.04" W



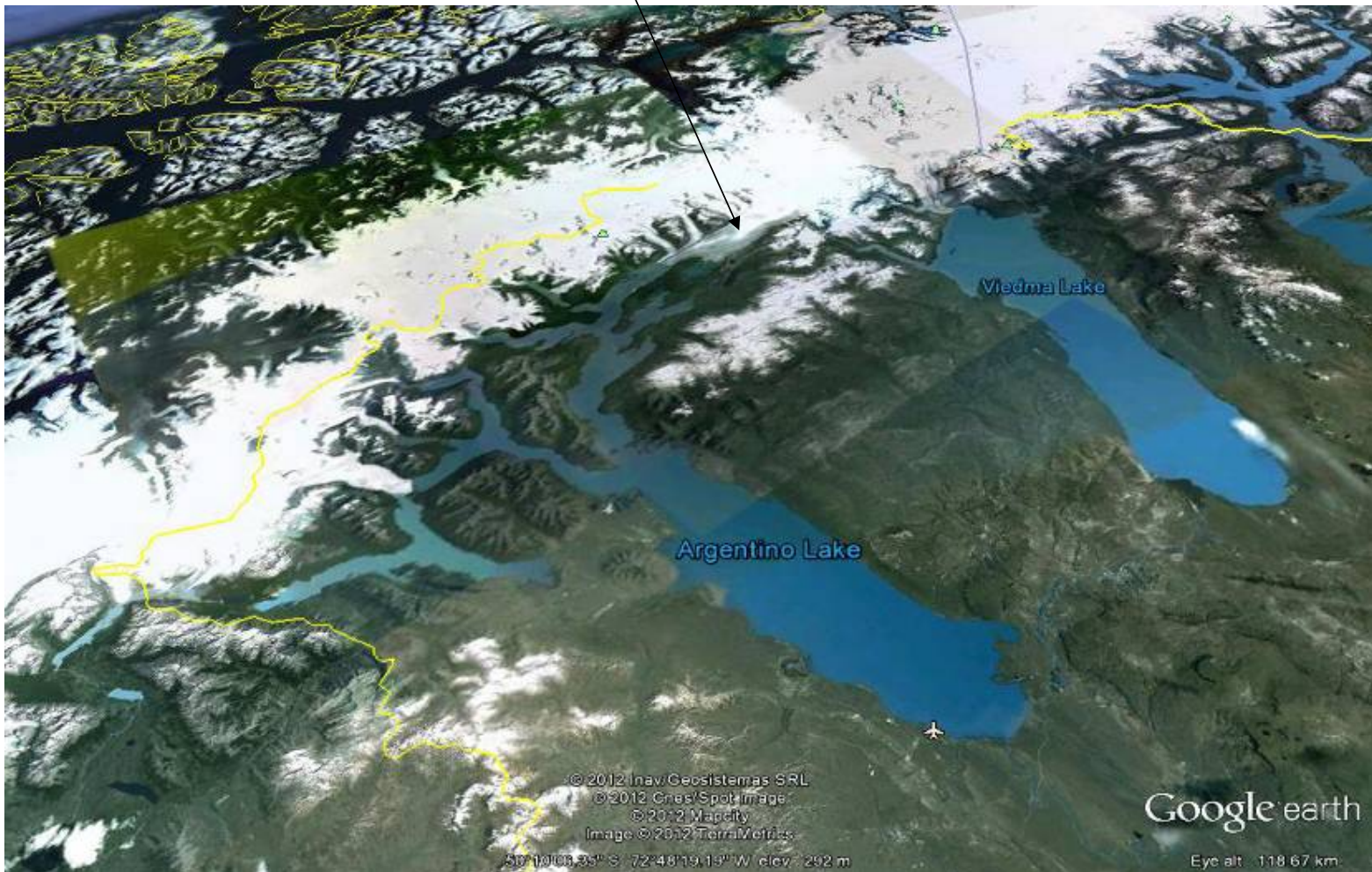
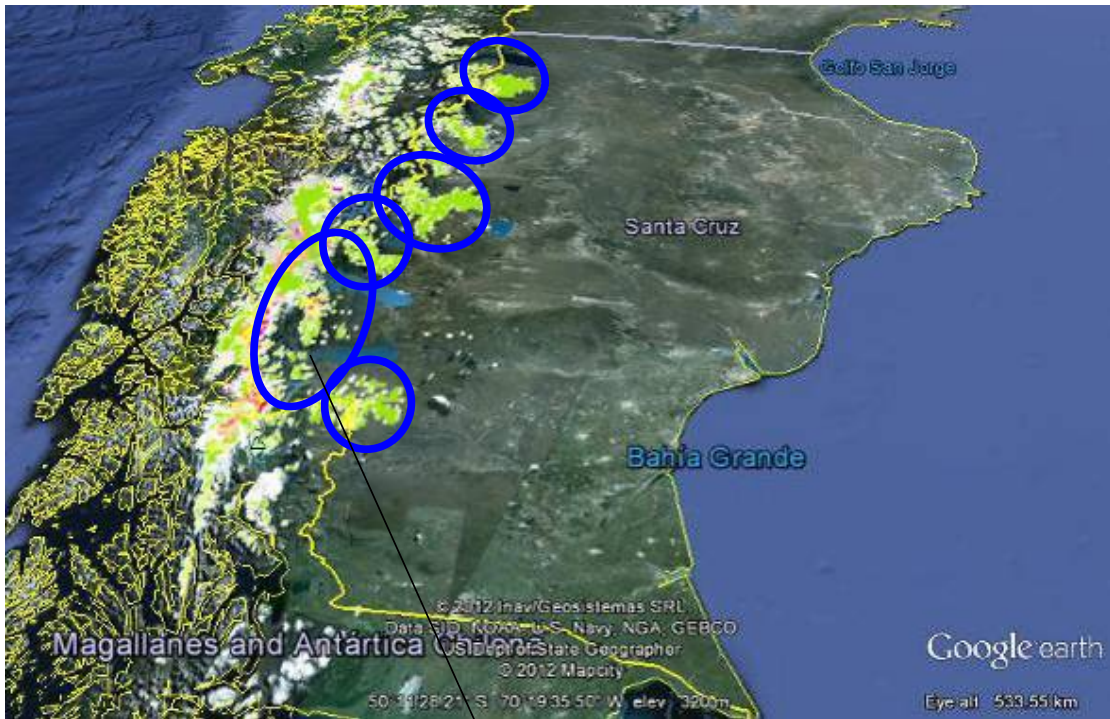
**Mendoza**



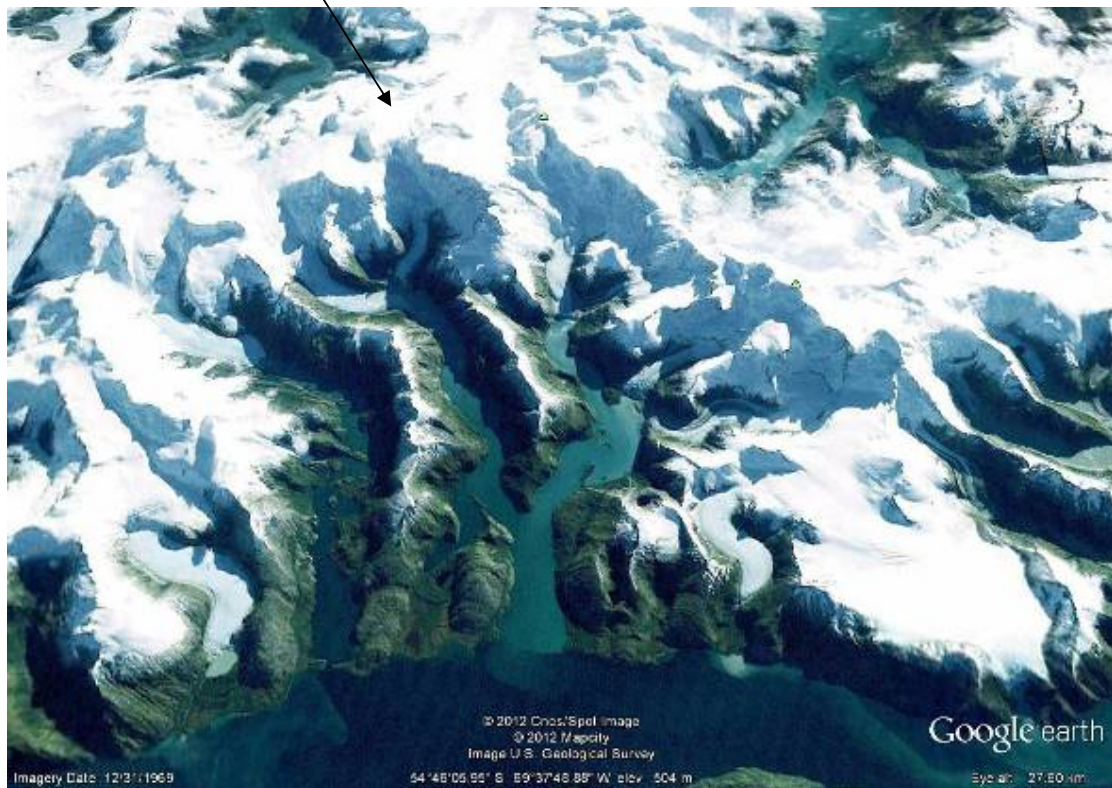
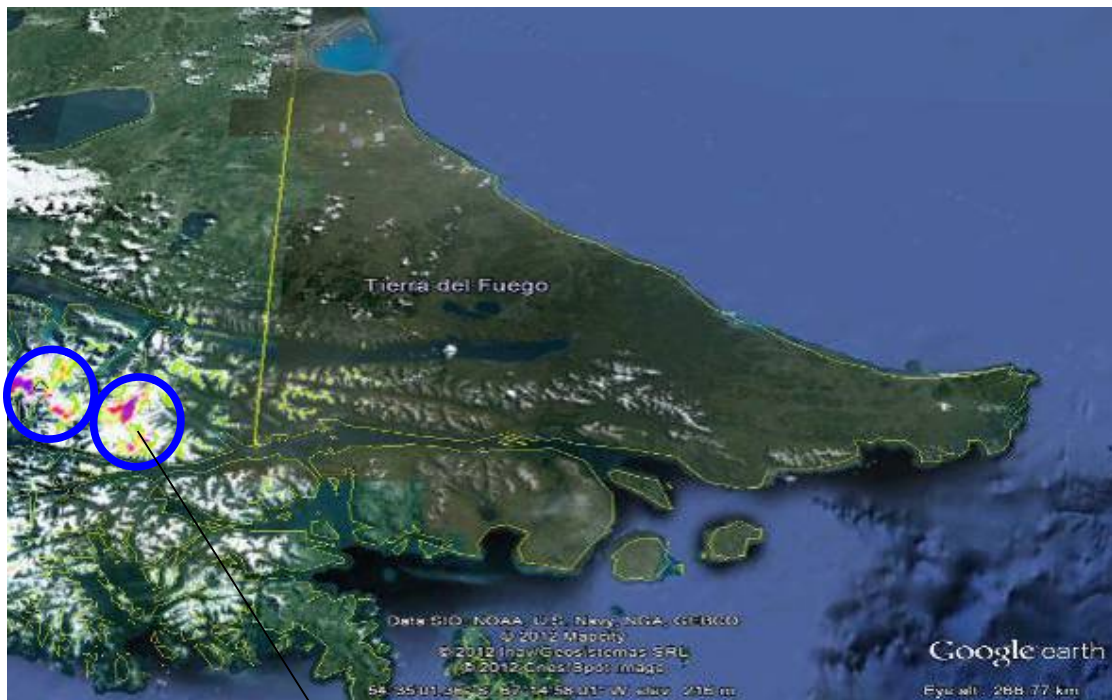
Extensivo sistema de glaciares de escombro con periglacial. Las Leñas Mendoza. Ver: 35°08'14.90" S 70°08'22.03" W



**Santa Cruz**



**Tierra del Fuego**



## Los Ambientes Periglaciales y la Minería en Argentina

*Hay minería donde hay ambiente periglacial.  
Hay minería donde hay suelos congelados.  
Hay minería donde hay glaciares de escombros.  
Hay minería donde hay glaciares cubiertos.  
Hay minería donde hay glaciares descubiertos.*

Esto no es una especulación, no es una opinión nuestra, ni hay duda sobre esta realidad. En la actualidad se puede verificar muy sencillamente esta relación por medio de herramientas como *Google earth*, sin la necesidad de ir a los lugares en cuestión. Existe hielo protegido por ley donde se proyectan numerosos proyectos mineros. No es cierto lo que han dicho algunas autoridades provinciales y también nacionales que niegan esta realidad. Una gran parte de la minería en exploración en los Andes Centrales del territorio Argentino, particularmente en la provincia de San Juan y en algunas zonas de La Rioja, está en zona de ambiente periglacial. En mucho de estos casos, ya podemos ver impacto de la minería en este recurso hídrico protegido. Existen casos muy documentados, con información de científicos, de geólogos y de las mismas consultoras de empresas mineras que sustentan esta afirmación, como por ejemplo en el proyecto Los Azules (McEwen Mining), El Pachón (Glencore), Filo Colorado (Xstrata Copper), Altar (Aldebaran), Del Carmen (Metalla), Veladero y Pascua Lama (Barrick Gold), y muchos más.

El mapa de permafrost de la Universidad de Zúrich nos da una excelente aproximación de la probabilidad de existencia de suelos congelados en las diferentes zonas donde hoy hay actividad minera. Sabiendo donde está la minería, fácilmente y rápidamente podemos ver si hay permafrost (o probabilidad de permafrost) en la zona. ¿Cuán certero podemos estar de esta relación, minería/ambiente periglaciales?

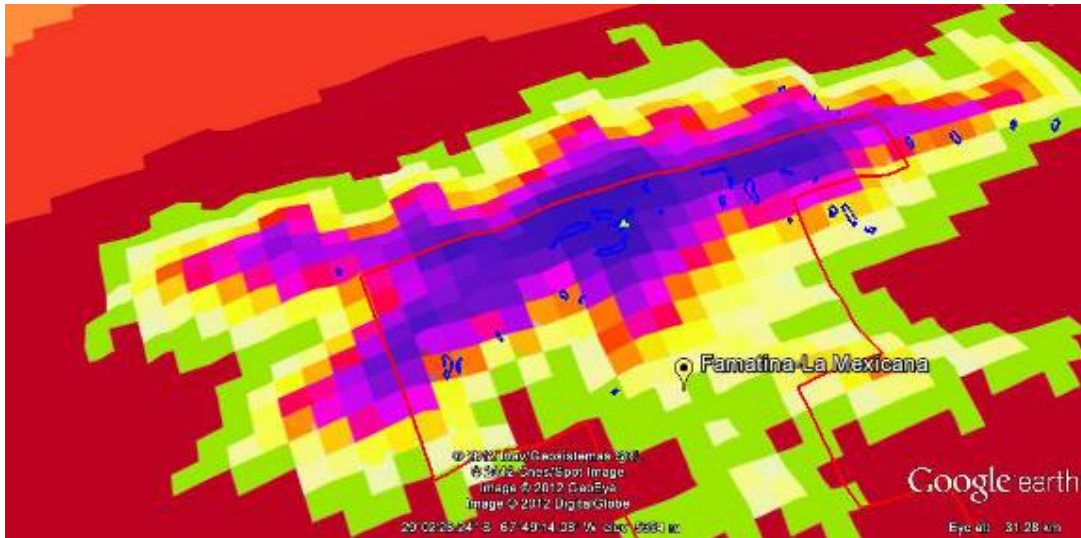
Si comparamos por ejemplo, los relevamientos de glaciares que nosotros hemos realizado por inspección de imágenes en *Google earth*, con la información que nos brinda la Universidad de Zúrich, las coincidencia es fuertemente indicativa. Tomemos a la zona de Famatina en La Rioja (el polígono rojo en la imagen es el cateo minero del proyecto Famatina, ex Barrick Gold y ahora Osisko) como ejemplo. Estamos hablando de la zona próxima a: 29°01'19.95" S 67°49'42.93" W. Ingresando a esta dirección en *Google earth* el lector podrá visitar el lugar y verificarlo por si mismo.

En la siguiente imagen vemos los glaciares descubiertos y de escombros que ploteamos **antes** de contar con el mapa de la Universidad de Zúrich. Se ven como polígonos azules.



Este inventario fue realizado con el método 1, analizando imágenes satelitales en las cuales se identifican claramente la presencia de crioformas (glaciares de escombros). Por las indicaciones que nos da Corte, debemos suponer que si hay glaciares de escombros estamos hablando de zona de

permafrost, y esto implica, ambiente periglacial (caracterizado por presencia de suelos congelados). Consultemos entonces que nos dice el mapa de permafrost de la Universidad de Zúrich. Si es precisa la herramienta, deberíamos encontrar que la mayoría de estos cuerpos relevados se encuentran en zonas azules/púrpuras, en zona amarillas (que son zonas donde el permafrost se da bajo condiciones favorables), o en zonas verdes, donde podrían darse en algunos casos suelos congelados. En la siguiente imagen, cargamos a *Google earth* el mapa de Zúrich para ver el resultado.



Vemos que la gran mayoría de los cuerpos relevados, efectivamente están en zonas azules/púrpuras, otros en zonas amarillas, donde se espera que también estén, y que los que están en las franjas (verdes), igualmente están en zonas de posibilidad de suelos congelados, según las condiciones. Ninguno de estos glaciares está ubicado fuera de estas zonas. El mapa de permafrost entonces nos sirvió para determinar *ex – ante* donde podría haber glaciares descubiertos y/o glaciares de escombros. No nos dice exactamente dónde están, pero si nos revela la zona donde debemos buscar.

Insistimos, este análisis *no es definitivo*, sino que es *indicativo de probabilidades* y los estudios y análisis tanto de diversas imágenes satelitales y de relevamiento de campo son necesarios para determinar de manera fehaciente, lo que las imágenes nos empiezan a revelar.

Esta herramienta y análisis, si bien no es definitivo para sacar conclusiones, sí es extremadamente útil, tanto para empresas mineras operando en zona de glaciares, como para el Estado que las debe controlar, o para la justicia que debe obligar, a fin de que puedan determinar cuáles son los proyectos mineros que deben hacer estudios de glaciares y ambiente periglacial en su zona de trabajo. La ley obliga a que se realicen estos estudios de manera prioritaria (dentro de los 180 días de promulgada la ley) en casos donde podría haber afectación de la actividad extractiva en ambientes periglaciales. Con la herramienta que nos ofrece la Universidad de Zúrich, ya no hay excusas para que no se encarguen los inventarios prioritarios y los estudios correspondientes.

Veamos algunos proyectos hoy en marcha en el momento de elaborar este informe (2012) donde hay una coincidencia perfecta entre la ubicación del proyecto minero, con la data sobre permafrost disponible por medio del modelo virtual de la Universidad de Zúrich.

Para todos estos proyectos sería absolutamente necesario, que las empresas:

- contraten especialistas para realizar inventarios de glaciares y ambiente periglacial;
- se realicen inventarios de glaciares y ambientes periglacial de las zonas;
- se determinen el aporte hídrico de los glaciares y ambientes periglaciales relevados;
- estudien e informen sobre los impactos pasados, presentes y potenciales futuros de la actividad programada;
- establezcan una política de protección de glaciares y los sistemas de gestión necesarios para llevarlas a cabo;

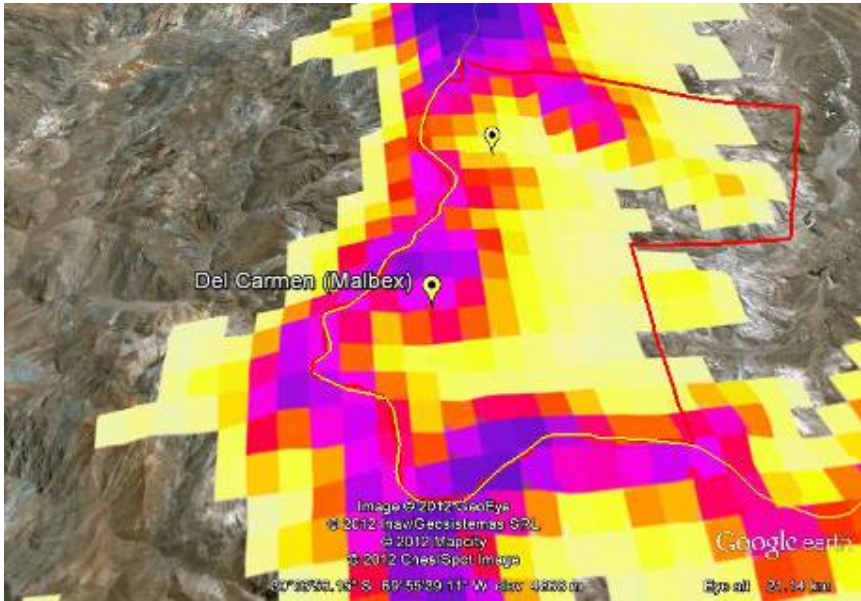
- detengan toda actividad exploratoria o extractiva hasta tanto se confirme que no se está impactando glaciares o ambientes periglaciales en la zona del proyecto;

Los Estados por su parte en las jurisdicciones correspondientes deberían:

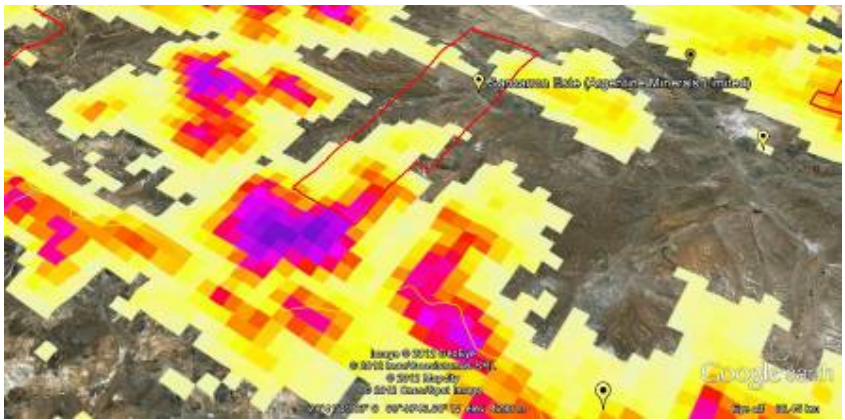
- asegurar a la brevedad la realización de los inventarios de glaciares y del ambiente periglacial prioritarios en la zona de estos proyectos;
- exigir a las empresas que produzcan los estudios pertinentes para determinar cualquier impacto pasado, presente o futuro en ambiente periglaciales;
- asegurarse rejunten información sobre el aporte hídrico de los ambientes periglaciales;
- suspender cualquier actividad de la industria extractiva (incluyendo la actividad de exploración) hasta tanto se pueda determinar fehacientemente cual es el impacto en los glaciares y ambientes periglaciales entorno a los proyectos;



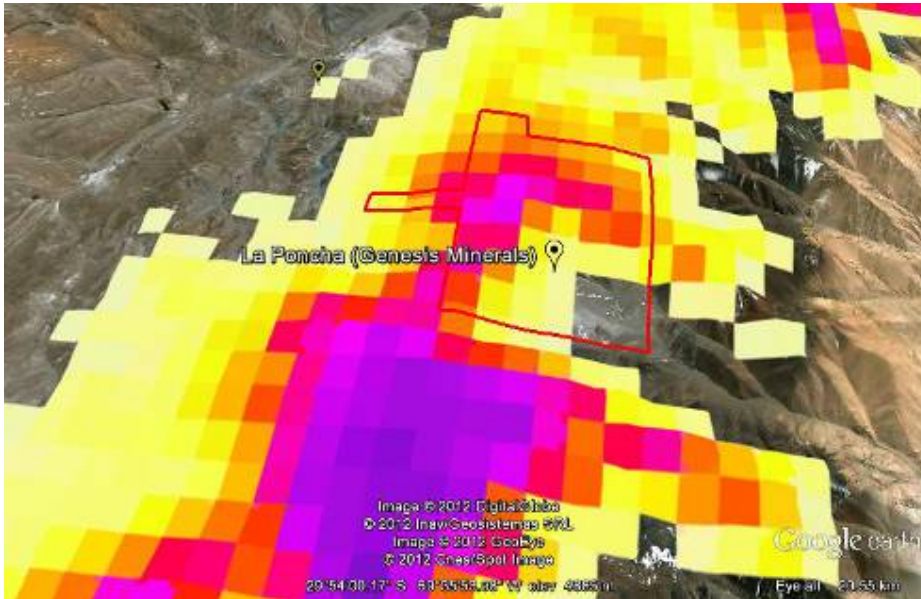




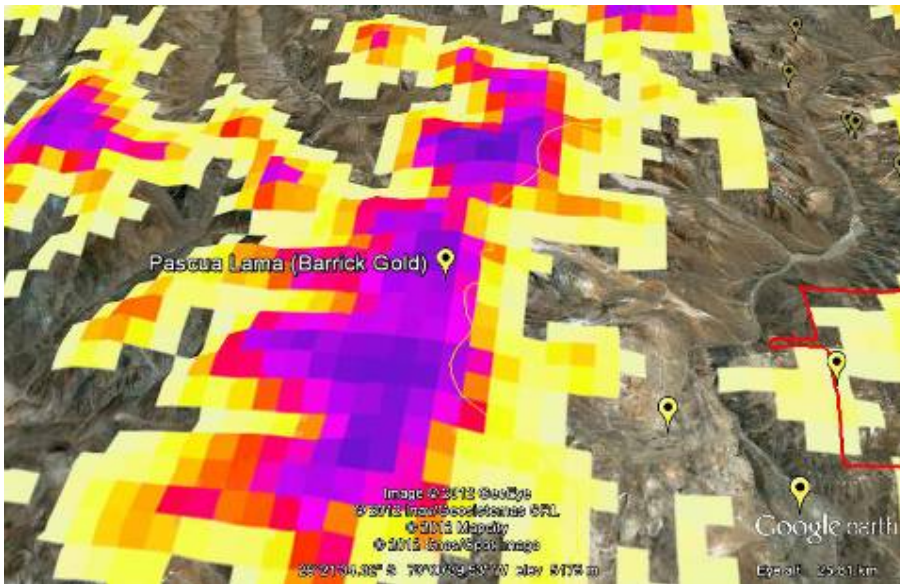
Del Carmen (Metalla) y el Ambiente Periglacial: Todo en zona de suelos congelados  
 ver: 30°02'19.63" S 69°52'35.98" W



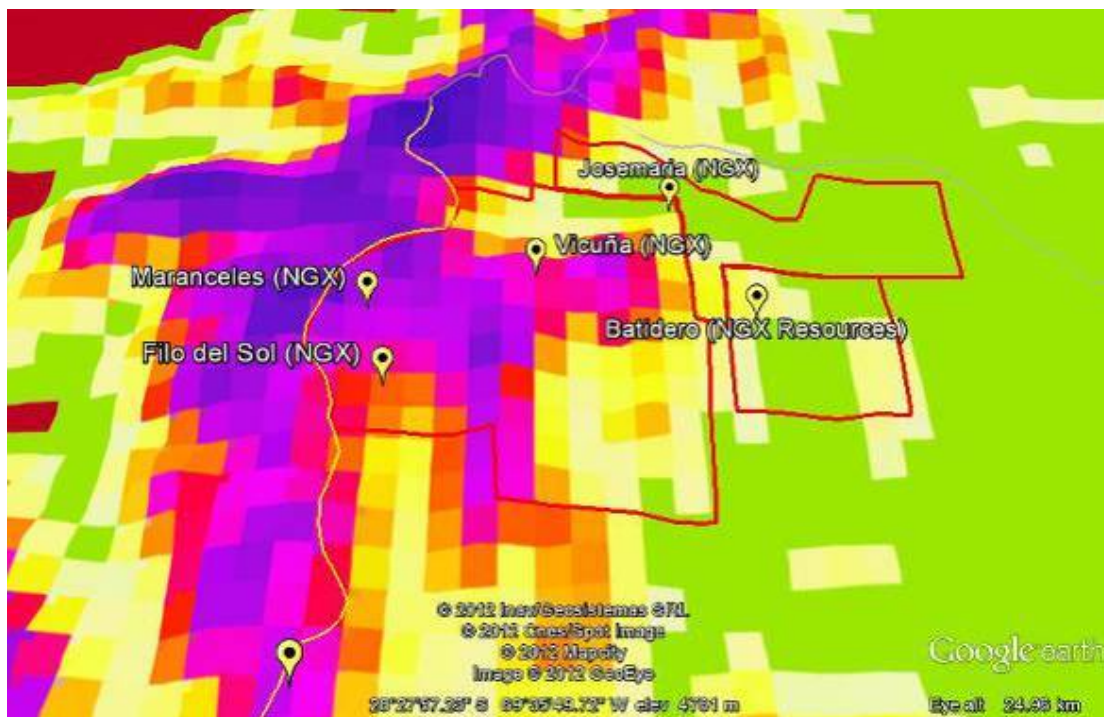
Sancarron Este (Argentine Mining Limited); casi un 50% en zona periglacial  
 ver: 29°37'47.11" S 69°45'06.33" W



La Poncha (Sable Resources) y el Suelos Congelados; casi todo en ambiente periglacial  
 ver: 29°52'39.04" S 69°34'30.90" W



Pascua Lama (Barrick Gold) y Suelos Congelados; 100% en zona periglacial.  
 Ver: 29°21'04.72" S 70°00'11.36" W



Suelos congelados y múltiples proyectos mineros: ver: 28°27'57.23" S 69°35'49.72" W

En el anexo de este informe listamos más de 50 proyectos mineros, identificados, mapeados, y comparados con el mapeo de la Universidad de Zúrich. Todos estos proyectos están en zona donde con alta probabilidad hay suelos congelados y por lo tanto estarían en zona de ambiente periglacial. Como tal, deberían realizarse estudios profundos que identifiquen glaciares y ambientes periglaciales en las zonas de estos proyectos y su aporte hídrico. Y deberían calcularse, además, los impactos pasados, presentes y futuros a estos importantes recursos.

Las autoridades oficiales hoy deberían estar realizando los inventarios prioritarios sobre glaciares y ambientes periglaciales en dichos lugares y para dichos proyectos y exigiendo a las empresas que produzcan los estudios correspondientes antes de continuar con cualquier actividad extractiva.

## ¿Por qué debemos distinguir a los ambientes periglaciales?

¿Si realizamos un inventario de los glaciares y glaciares de escombros, *sin registrar* el ambiente periglacial más generalmente, es suficiente?

**Definitivamente no.** Hace falta registrar los ambientes periglaciales, independientemente de los glaciares y glaciares de escombros que se puedan encontrar en su interior, primero porque es obligación por ley, tanto del Estado como de cualquier empresa privada que está llevando a cabo actividades en zonas periglaciales.

Hemos publicado numerosos informes con muchos ejemplos de emprendimientos mineros que están afectando a glaciares de escombros. El impacto es fácilmente detectable por imágenes satelitales como las que vemos en *Google earth*. Pero las zonas colindantes a los glaciares de escombros, que también incluyen suelos congelados y que también pueden tener valor hídrico, entonces también están siendo impactadas, pero simplemente no podemos siempre verificar tan fácilmente por *Google earth* la presencia de estos suelos congelados laterales. Sin embargo, podemos suponer que un camino de exploración minera que penetró a un glaciar de escombros o a un glaciar descubierto, también pasó por zonas de suelos congelados (que no tienen glaciares) para llegar allí. Y si estos suelos congelados

tienen hielo, son reservas hídricas y podrían tener una función importantísima como reguladores de cuenca.

Lo cierto es que el ambiente periglacial y su valor como reserva hídrica y como regulador de cuencas, es muchísimo más extenso que el volumen de hielo en los glaciares de escombros. Esto se deduce de la lógica simple ya que los glaciares de escombros son *un solo* elemento del ambiente periglacial. El ambiente periglacial, más generalmente, es necesariamente mayor a la superficie cubierta por glaciares de escombros. Con herramientas como el mapeo virtual de la Universidad de Zúrich, tenemos una importantísima aproximación para saber dónde se encuentra el ambiente periglacial. No es muy complicado luego poder ver qué actividades antropogénicas están operando en estos ambientes. En este informe, ya vimos múltiples situaciones donde importantes emprendimientos industriales se están llevando a cabo o se están proyectando en ambientes periglaciales. Hoy no sabemos cuan profundo es el impacto que están teniendo, solamente sabemos que hay un impacto y que es importante.

Ya que los glaciares de escombros son parte del ambiente periglacial, los impactos a glaciares de escombros son entonces impactos en ambientes periglaciales. Pero también existen impactos en suelos congelados donde no hay necesariamente un glaciar de escombros, pero si hay impactos antropogénicos. Estos también son impactos en ambientes periglaciales.

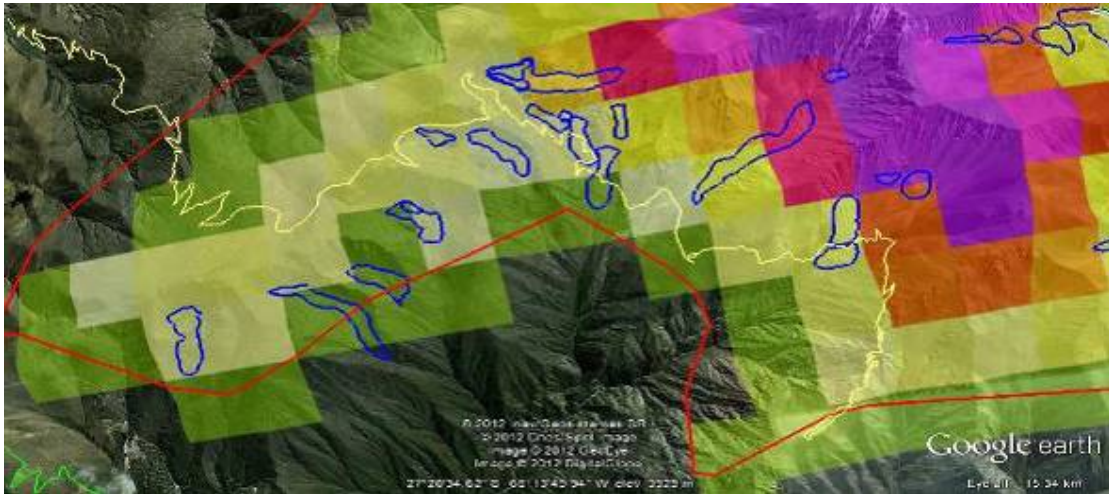
La manera más fácil de empezar el análisis sobre el impacto de la minería (o de cualquier otra actividad industrial) en los ambientes periglaciales es identificar a los glaciares de escombros visibles (lo cual ya vimos es una tarea relativamente simple) y de allí extender el análisis a aquellos suelos que vemos entorno a los mismos. En algunos casos, podemos ver rápidamente por determinadas características de los suelos que estamos en ambientes periglaciales, en otros no. Es importante identificar el impacto en suelos congelados, pues estos ecosistemas son muy extensos en los Andes Centrales, y juegan un papel clave en el abastecimiento de agua a los ríos. Su invisibilidad (y el desconocimiento general del público) los hace especialmente vulnerables, y también por esto, es importante poner particular atención en los ambientes periglaciales ya que pueden sufrir impactos importantes si no se toman los recaudos necesarios para evitar impactarlos.

Consideremos el siguiente ejemplo, en las sierras del Aconquija de Catamarca. En la siguiente imagen vemos a un camino minero (introducido por Xstrata Copper) que ha intervenido numerosos glaciares de escombros al introducir un camino para llegar al proyecto Filo Colorado, en Catamarca. El lector podrá visitar este lugar en *Google earth* en: 27°19'50.53" S 66°13'59.76" W. La línea fina blanca es el camino, mientras que los polígonos azules son glaciares de escombros.



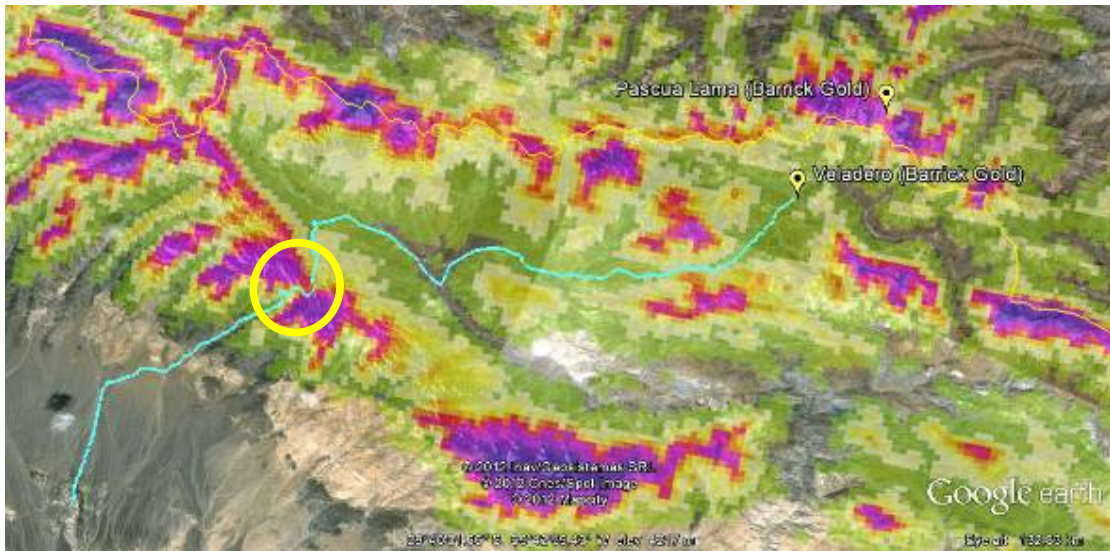
Camino introducido por Xstrata Copper en Filo Colorado impacta en ambiente periglacial en Catamarca

Podemos ver en la siguiente imagen (un poco más alejada) que toda la zona de este mismo lugar, es potencialmente ambiente periglacial. Resaltamos el camino (línea en amarillo) construido por Xstrata Copper para llegar a Filo Colorado. Vemos que el camino de Xstrata pasa por plena zona de ambiente periglacial. Con esta herramienta, podemos insistir que cualquier obra que se realiza en el lugar, debería evitar destruir o intervenir ambiente periglacial y contar con estudios detallados sobre los suelos, sobre la presencia o no de hielo y el rol que cumple ese hielo si lo hubiera como regulador de cuencas. Cuando consultamos a Xstrata Copper si habían hecho estudios de glaciares y de ambiente periglacial en la zona de Filo Colorado, la representante de la empresa nos dijo que nos quedaríamos tranquilos que, en esta zona de la Argentina, no había glaciares. Evidentemente Xstrata Copper no tuvo en cuenta la presencia de glaciares de escombros y de ambiente periglacial en el trazado de su camino visto que el impacto está a la vista.



Superposición de mapa de permafrost revela el camino de Xstrata Copper totalmente en ambiente periglacial.

En la siguiente imagen vemos nuevamente como un camino minero (línea celeste), en este caso construido por Barrick Gold para llegar a Veladero, atraviesa zonas de suelos congelados. La empresa debería haber producido un estudio detallado de la zona mapeando el ambiente periglacial de las zonas donde pretendía intervenir con obras viales, y debería haber calculado el aporte hídrico de estos suelos. Si lo hubiera hecho y si el Estado lo hubiera exigido, hubiera identificado los riesgos de hacer pasar el camino de acceso por zonas congeladas. De hecho, Barrick Gold impactó y destruyó varios glaciares en este camino, incluyendo el Glaciar Almirante Brown, que fue destruido por el camino de Barrick en el paso de Conconta. También ha causado un daño importante en otros glaciares como el Glaciar Norte, en la misma zona, que seguramente terminará por desaparecer a causa del mal trazado de este camino. Y por último también se evidencian impactos de Barrick en glaciares de escombros en la subida del Conconta. En la siguiente imagen que superpone el mapa de permafrost de la Universidad de Zúrich podemos ver que la zona del paso de Conconta es zona de permafrost. (ver círculo amarillo). De haber utilizado un mapa como este Barrick Gold y la provincia de San Juan hubieran evitado este impacto.



También resaltamos la necesidad de identificar y estudiar de cerca al ambiente periglacial (adicionalmente y en paralelo a los glaciares descubiertos y de escombros) pues tienen características distintas, y los impactos en ellos se ven de manera distinta, si bien las causas de impacto pueden ser similares.

Resumiendo, podemos y *debemos* considerar con detenimiento específico a los impactos en suelos congelados *sin glaciares de escombros*, por varios motivos:

1. porque los elementos de los ambientes periglaciales (aparte de los glaciares de escombros) tienen dinámicas y propiedades distintas y aspectos físicos distintos a los glaciares de escombros que se encuentran en ellos;
2. porque su relativa "invisibilidad" los hace más vulnerables al descuido de la actividad humana;
3. porque los elementos de los ambientes periglaciales (aparte de los glaciares de escombros) pueden ser importantes reservas hídricas y/o reguladores de cuencas, inclusive más que los glaciares o glaciares de escombros;
4. porque el ambiente periglacial en general y en el sentido amplio del término es mucho más extenso que la superficie ocupada por glaciares de escombros;
5. porque el ambiente periglacial (aparte de los glaciares de escombros) también está protegido por la ley.

## Los Impactos de la Minería y otras Obras en Ambientes Periglaciales?

A raíz de la ignorancia y/o el descuido por glaciares blancos, glaciares de escombros, y/o suelos congelados (permafrost), las operaciones mineras operando en la alta montaña de los Andes, han causado y *siguen causando* enormes impactos en glaciares, glaciares de escombros y en ambientes periglacial. Las imágenes satelitales publicadas en este informe son algunas de las muchas imágenes que revelan este impacto.

Los impactos de la minería en el ambiente periglacial se producen por muchas razones que tienen que ver con distintas etapas de la actividad extractiva, incluyendo:<sup>4</sup>

- Modificaciones a las laderas montañosas, cuya naturaleza y forma conducen a la acumulación de nieve y hielo, al transporte y acumulación de fragmentos de piedra, y a la existencia de las condiciones térmicas del permafrost, que a su vez permite la formación de permafrost rico en hielo, y eventualmente a la formación de glaciares de escombros;

<sup>4</sup> compare Brenning, 2008; Kronenberg, 2009; Brenning & Azócar, 2010

- Impactos en el avance natural y delicado de las mezclas de hielo y piedra, lo que puede derivar en el colapso de las estructuras y finalmente en la destrucción del glaciar de escombros;
- Explosiones que pueden alterar y colapsar las estructuras de hielo o destruir los valles glaciares y de ambiente periglacial, necesarios para su formación y evolución;
- Introducción de caminos sobre, adyacentes a, o próximos a glaciares y glaciares de escombros y otros elementos del ambiente periglacial, que puede eventualmente llevar a modificaciones en el flujo del agua y nieve que nutre al glaciar y al ambiente periglacial, posiblemente reduciendo o inhibiendo temporariamente el almacenamiento de agua, y modificando el flujo de temperatura superficial, lo que podría cambiar la temperatura del glaciar o del ambiente periglacial alterando su estructura interna;
- Depósitos de residuos, piedras de descarte, y otros sólidos sobre la superficie del glaciar o ambiente periglacial, lo que podría llevar al aceleramiento del aporte hídrico del ambiente periglacial y su eventual colapso;
- La contaminación de la superficie del glaciar de escombros, llevando a cambios de color y cobertura material, con subsecuentes cambios en la temperatura de absorción de calor, lo que podría llevar a su vez, a deshielo acelerado y colapso y su respectivo impacto en ambientes periglaciales;
- La contaminación de los depósitos sobre la superficie de glaciares de escombros, que lleva al drenaje químico y de metales pesados (drenaje de ácido de piedra, ARD), al hielo y al agua del glaciar de escombros, y posiblemente la degradación del permafrost relacionado al calor creado por estos procesos técnicos y geoquímicos.

En la imagen a continuación vemos un tractor con pala avanzando en la apertura de un camino exploratorio minero por una ladera de una montaña que podría ser zona de ambiente periglacial.



Si el conductor de este tractor no está advertido que puede estar sobre suelos congelados, o que próximamente en su trayectoria podría haber hielo, no detendrá su andar y podría perturbar y destruir ambiente periglacial. De hecho, es común que esto suceda en zonas de exploración minera donde hay ambiente periglacial. El caso que vimos arriba de la destrucción de glaciares de escombros y ambiente periglacial en el proyecto Altar de Peregrine/Stillwater en la provincia de San Juan es un caso extremo de esto.

En el pasado, las empresas mineras operando en el país no tenían ningún resguardo en términos de conservación por el hielo que podía interponerse con su actividad, al contrario, el hielo representaba un impedimento, complicando sus operaciones. Veamos la siguiente imagen, tomada clandestinamente en las obras del camino de acceso a Veladero (Barrick Gold), como los tractores de Barrick Gold cortaron por la mitad al glaciar Almirante Brown.



Glaciar descubierta destruido por Barrick Gold en trazado de su camino para acceder a Veladero.

Los suelos congelados, los glaciares, y los ambientes periglaciales sistemáticamente rompen máquinas, y frenan el proceso de toma de muestras y perforaciones. Ni a las empresas mineras ni al Estado se le ocurría anteriormente que la destrucción de suelos congelados era un impacto significativo en el recurso hídrico del ecosistema de la alta montaña. Esta ignorancia por suerte se terminó con la Ley de Glaciares, aunque no necesariamente se detuvo la *mala praxis*.

El geocriólogo Corte, experto en temas de permafrost y glaciares de escombros, dice contundentemente,

“Durante las actividades en zonas de permafrost, se produce una reducción de la capa activa, ya sea por acción del viento, del tráfico y la erosión misma del lavado por aguas, los de fusión; pero que es más grave aún es la influencia del “fuellado” de los vehículos y los efectos de topadoras y motoniveladores que se emplean en el emparejamiento de caminos, zonas de estacionamiento, vías de acceso y suministros. Por ello es esencial tener el concepto de que el permafrost debe ser protegido al máximo en zonas de construcciones.” (Corte 1993, p.295)

Para cualquier introducción de cualquier tipo de obra, sea la apertura de un camino o la perforación para tomar muestras, cuando se sabe que se está operando en zona de ambiente periglacial, se deberá tomar previamente las medidas necesarias para evitar un impacto en la función hídrica o en el estado de reserva hídrica, o en el equilibrio, del ambiente periglacial.

Un impacto de una obra humana en un glaciar de escombros es identificable sin la necesidad de realizar una visita al lugar. Ciertamente se deberá visitar el sitio para determinar la gravedad del impacto, pero el impacto mismo puede ser fácilmente identificable por satélite. Cuando el impacto es en ambiente periglacial *sin presencia de glaciares de escombros*, esta identificación es mucho más difícil sin una visita al lugar; a veces es imposible.

*Es posible saber ex ante, por medio de análisis de imágenes satelitales, si una obra humana está afectando a un ambiente periglacial?*

En algunos casos sí. Podemos utilizar la metodología de la inferencia y con mucha probabilidad definir la presencia de suelos congelados en imágenes satelitales, sobre todo cuando vemos la presencia de glaciares de escombros en los entornos.

Es relativamente fácil identificar un camino minero en imágenes satelitales y seguirlo por la imagen, y ver en qué lugar atraviesa a un glaciar de escombros, ya que el glaciar de escombros (activo) es una geoforma fácilmente identificable, fluye por encima de la superficie del terreno, y tiene características muy notorias (formas lobuladas, arrugas en forma de arcos, surcos, lengua quebrada abrupta en 30-40 grados, etc.). En el caso del suelo congelado, *sin presencia de glaciar de escombros*, no se revela tan fácilmente. Podemos suponer que, en los alrededores a los glaciares de escombros, sobre todo en las alturas mayores a su punto más bajo, habrá ambiente periglacial que podría ser afectado. Al menos con este dato, podemos tomar medidas (comandar y realizar estudios) para verificar si efectivamente hay o no ambiente periglacial en la zona.

De la misma manera, si un camino atraviesa una zona registrada por el modelo virtual de permafrost de la Universidad de Zúrich donde se registra suelos congelados, deberíamos al menos tomar nota para luego inspeccionar y/o verificar el hecho en el lugar y verificar si este permafrost está actuando como reserva hídrica o regulador de cuencas. Muchas de estas determinaciones de "donde" se deben hacer los estudios, son realizables a distancia y es por esto que los inventarios de zonas prioritarias son tan importantes. También es deber de las autoridades públicas asegurar que los emprendimientos mineros que están operando en zona de ambiente periglacial, realizan los estudios pertinentes y no avancen con obras hasta tanto se realicen dichos estudios, asegurando el cumplimiento con la Ley de Glaciares.

Veamos algunas imágenes de glaciares de escombros y de zonas identificadas con suelos congelados, todos afectados por la actividad minera y otras obras antropogénicas. Este tipo de impacto es muy común por encima de los 4,000 metros en la provincia de San Juan, donde hay actualmente más de 180 proyectos en exploración. Todos los proyectos mineros que están trabajando en zona de ambiente periglacial, deberían realizar los estudios pertinentes para aclarar si hay o no impacto en suelos congelados que actúan como reservas hídricas y/o reguladores de cuencas.

*No debería haber un solo proyecto en zona de ambiente periglacial, ni siquiera realizando actividades de exploración, sin dichos estudios realizados y aprobados por el Estado.*

Si el Estado no asegura este punto, el funcionario responsable estaría faltando a su deber de funcionario público. Hoy hay varios proyectos mineros en la zona que están avanzando con actividades y no tienen dichos estudios completados. Esto es ilegal.

**a) Mina Aguilar (Glencore), en Jujuy.** La actividad de extracción minera sucede sobre un glaciar de escombros (indicado en la imagen) que se formó al pie de la ladera de un cerro. Vemos que la actividad extractiva realizada ha destruido una parte del glaciar de escombros indicado por el círculo amarillo. Estamos ante ambiente periglacial y la empresa minera lo está afectando irreversiblemente porque está removiendo la piedra y el hielo. Si la empresa hubiera realizado los estudios correspondientes sobre el territorio, y la autoridad pública hubiera exigido la protección del recurso hídrico en riesgo, se hubiera evitado este impacto. No fue así y hoy, esta actividad minera representa una actividad en violación de la Ley de Glaciares.

Las autoridades de Jujuy deberían suspender la actividad extractiva en El Aguilar hasta tanto se realicen los estudios pertinentes y se tomen las medidas para rectificar daños pasados y evitar daños futuros.

Se puede ver este lugar en *Google earth* en: 23 11 35.54 S, 65 43 34.43 W



**b) Proyecto El Potro – Sillimanita (Salazar Resources)**

En las siguientes dos imágenes del mismo lugar en el límite entre San Juan, La Rioja y Chile (ver: 28°20'34.66" S 69°33'20.59" W) -- (la de la derecha tiene super-impuesto el mapa de suelos congelados identificados por el modelo virtual de la Universidad de Zúrich)—vemos líneas finas blancas que son caminos de exploración minera (indicadas con una flecha dentro de los óvalos amarillos), utilizados para explorar la zona del Glaciar El Potro. Quienes visitan regularmente a esta zona por excursiones turísticas aseveran que el glaciar El Potro está invadido por innumerables caminos como estos.

En la imagen de la derecha vemos la misma toma, con los suelos congelados (*permafrost*) marcado (zonas púrpuras/violetas). Claramente en este caso, al ser zonas violetas en el registro virtual del modelo de la Universidad de Zúrich, hay alta probabilidad que *toda la superficie* esté congelada, y por ende, la introducción de caminos casi con seguridad fue hecha sobre estos suelos congelados. De confirmarse esta situación, sería una violación de la Ley de Glaciares. Deberían rectificarse los caminos si están afectando a la reserva hídrica o la función de los suelos como regulador de cuencas y debería suspenderse y/o prohibirse este proyecto hasta tanto se realicen los estudios necesarios para evitar todo daño en glaciares y en el ambiente periglacial.

Al igual que el caso anterior, de haber tomado en cuenta el registro de tierras de suelos congelados *antes* de introducir caminos mineros de exploración, se podría haber evitado esta situación, a cambio hoy es violatoria de la Ley de Glaciares.

El gobierno de La Rioja debe suspender toda actividad minera para el proyecto Sillimanita/El Potro hasta tanto se asegure que ninguna parte de este proyecto afecta a glaciares y/o a ambiente periglacial.

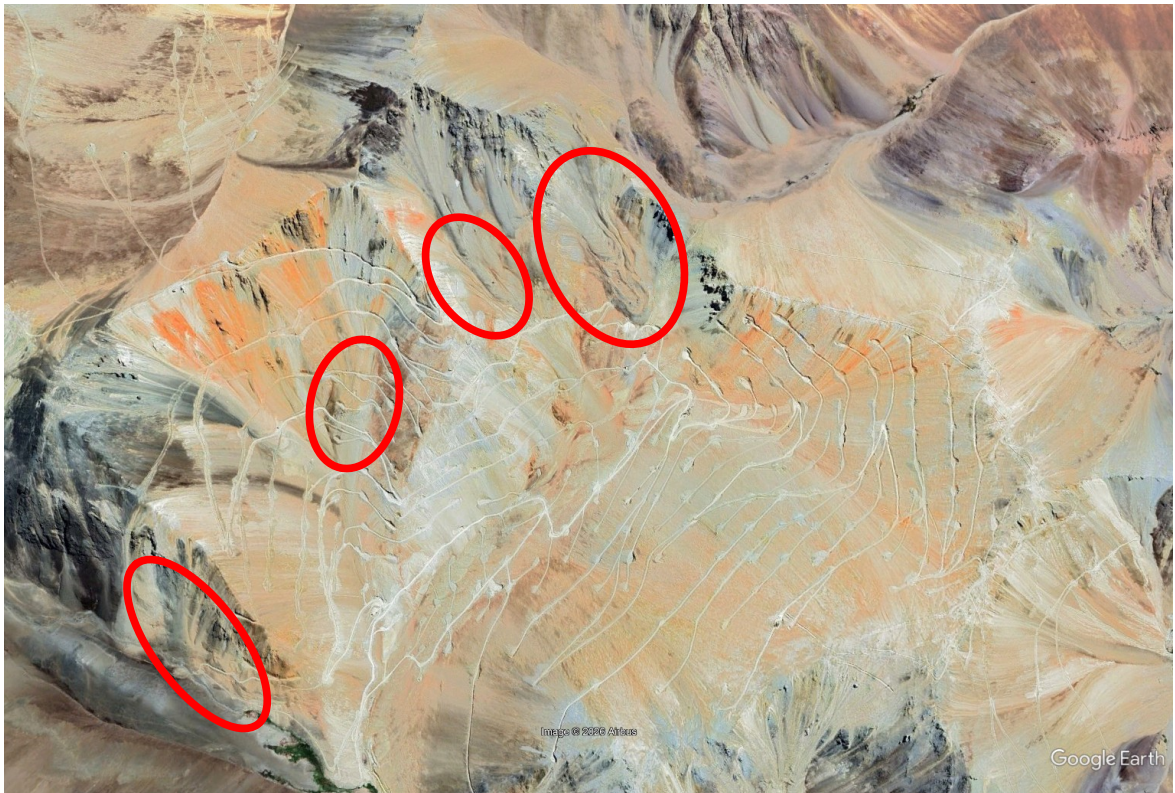


**c) Altar (Aldebaran Resources).**

En las dos siguientes imágenes (abajo la super-posición del mapa de suelos congelados registrados por el modelo virtual de la Universidad de Zúrich) vemos nuevamente como los caminos utilizados para realizar perforaciones han atravesado a varios glaciares de escombro en aparente estado activo. En este caso vemos al menos cuatro glaciares de escombro afectados por esta actividad minera. Y de igual manera al caso anterior de Sillimanita/El Potro y de El Aguilar, vemos que el mapeo de permafrost del modelo virtual de la Universidad Zúrich alertaba sobre la posibilidad de encontrar suelos congelados en la zona. El color verde en el mapa de permafrost indica que hay incertidumbre sobre la presencia de permafrost, lo que implicaría la necesidad *ex ante* de realizar los estudios pertinentes para evitar estos impactos y no generar situaciones violatorias de la Ley de Glaciares, como es el caso de Altar. Sin embargo, la presencia de glaciares de escombro en las imágenes (ya afectados por los caminos mineros) nos confirma que efectivamente estamos en zona de ambiente periglacial.

El gobierno de San Juan debería ordenar la suspensión de toda actividad exploratoria en el proyecto Altar y exigir que la empresa minera produzca un informe de impacto en los glaciares de escombro y en otros posibles elementos del ambiente periglacial que vemos en las imágenes, y que se ven claramente impactados. No debería avanzar ninguna parte de este proyecto hasta tanto se cumplan con la Ley de Glaciares.

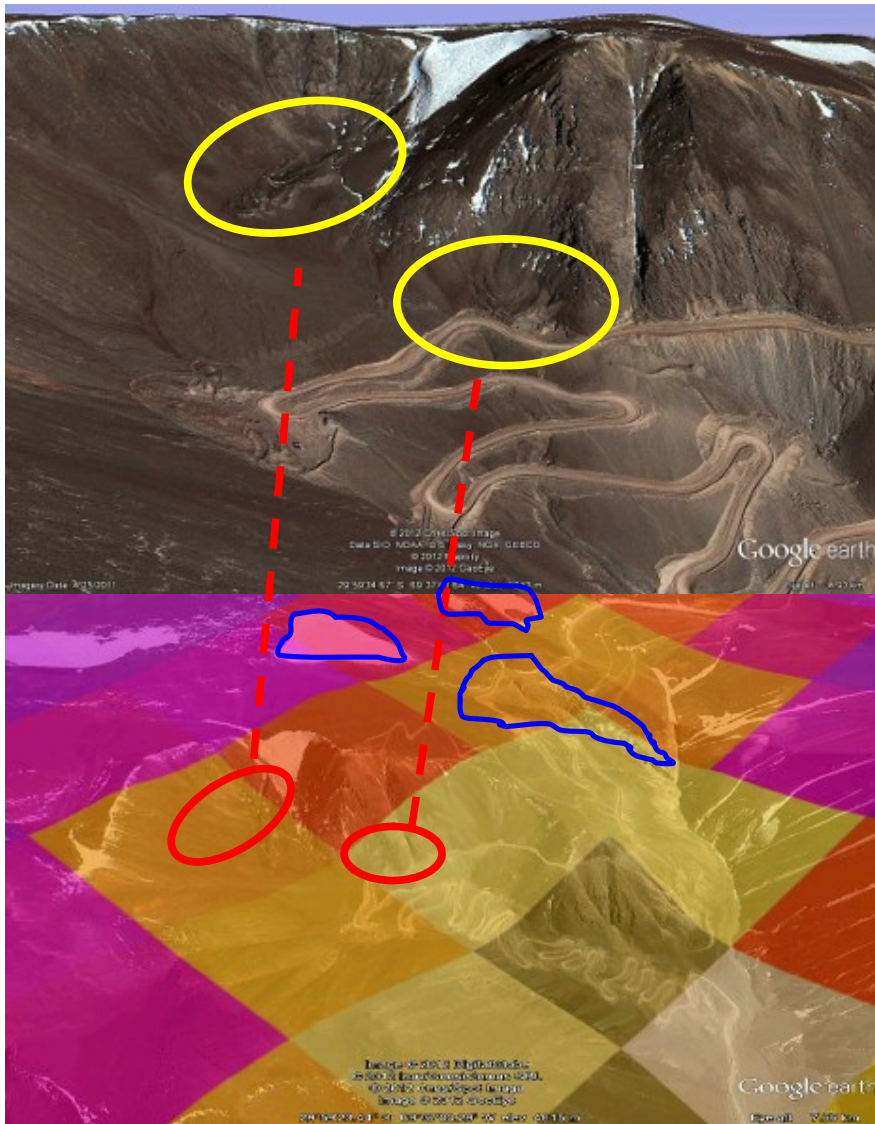
El lector los podrá ver este lugar en *Google earth* en: 31 28 53.04 S, 70 28 49.31 W



**d) Veladero/Pascua Lama (Barrick Gold).**

En la siguiente imagen en la provincia de San Juan, vemos el impacto por Barrick Gold del camino del paso de Conconta, donde excavaciones para introducir el camino de acceso a Veladero, han afectado a varios glaciares de escombros y por lo tanto a ambiente periglacial. Cabe mencionar que estos impactos son impactos *adicionales* a los que se han mencionado públicamente a los glaciares Norte y Almirante Brown. No se ha hablado anteriormente del impacto visible en la siguiente imagen.

En la imagen se ven *dos glaciares de escombros activos*, uno de ellos afectado por el camino. La consulta al mapa virtual de suelos congelados (permafrost) de la Universidad de Zúrich, revela que estos glaciares de escombros están en zona probable de permafrost. Hoy, con la ley de glaciares vigente, nunca se trazaría este camino por este lugar. En la zona superior de la foto con el mapa de permafrost, también vemos que los Glaciares Norte y Almirante Brown están en zona de permafrost. Se podría haber evitado este impacto innecesario si la empresa y la provincia hubieran tomado a los suelos congelados del ambiente periglacial en cuenta.



**e) El Pachón (Glencore).**

En el caso del proyecto minero El Pachón, en la provincia de San Juan, vemos múltiples lugares donde actividad minera (pasada y actual) ha impactado en glaciares de escombro y ambiente periglacial. Este tipo de impacto en las etapas de exploración (el proyecto ni siquiera está en ejecución aun) es común en la actividad minera y puede ser fatal para un glaciar de escombro o para el ambiente periglacial en general si no se toman las precauciones necesarias para evitar estorbar el equilibrio del hielo.

Teniendo en cuenta la actual Ley de Glaciares, estos impactos son violatorios de la ley, y se debería encarar la rectificación del daño.



31°44'37.30" S 70°26'22.52" W



31°44'56.08" S 70°25'43.22" W

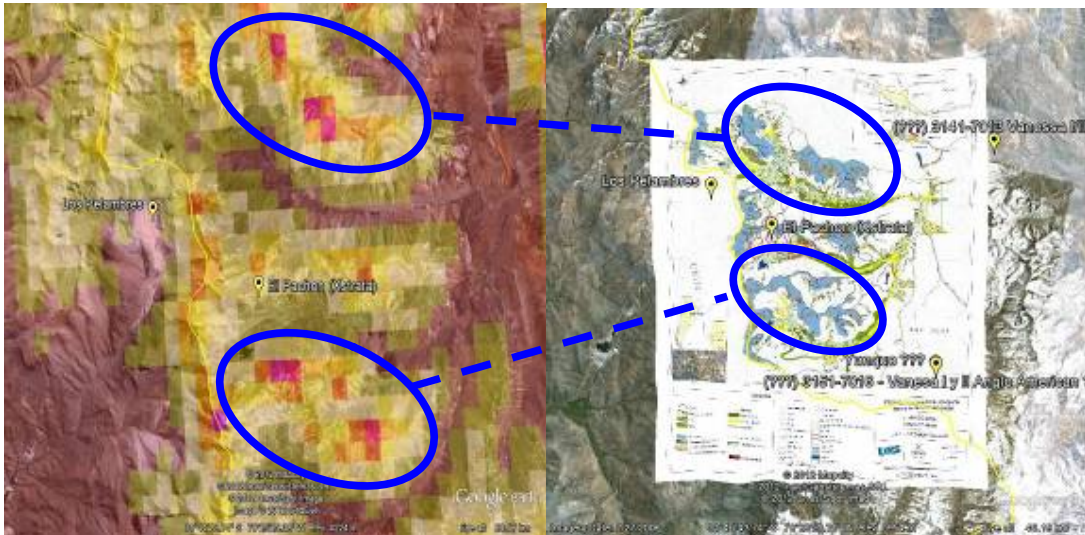


31°45'49.87" S 70°27'37.79" W



31°44'48.41" S 70°26'31.73" W

En el caso de El Pachón, los propios consultores de la empresa Xstrata Copper, contratados para mapear los suelos congelados (el permafrost) y los glaciares de escombros del proyecto (la empresa URS) realizó un mapeo de permafrost y de glaciares para la minera en el proyecto El Pachón. URS encontró más de 200 glaciares de escombros en el cateo de El Pachón, y que más de un 20% del territorio del cateo corresponde a suelos congelados (son ambiente periglacial). Veamos las siguientes dos imágenes ambos de *Google earth* con la super-posición de los mapas de permafrost del modelo virtual de la Universidad de Zúrich (izquierda), y el mapa de permafrost producido por la consultora URS (derecha). En el mapa a la derecha, las zonas azules son permafrost, verificados por los consultores de URS. El estimado del modelo virtual la Universidad de Zúrich, que es teórico, resultó ser muy preciso a la hora de verificar con el estudio de campo realizado por la URS.



Este ejercicio nos demuestra que el modelo virtual de permafrost de la Universidad de Zúrich, efectivamente es muy útil para el pronóstico de ambiente periglacial. En el caso de El Pachón, fue extremadamente coincidente el trabajo teórico del modelo cuando lo comparamos con el trabajo práctico de los profesionales de URS.

Evidentemente, no nos podemos confiar en un modelo virtual como el de la Universidad de Zúrich para afirmar la presencia de ambiente periglacial, pero sí podemos utilizar este mapeo virtual de permafrost para determinar a qué proyectos debemos exigir estudios de suelos congelados. Para los funcionarios públicos en provincias como San Juan, La Rioja, Salta, Jujuy, Mendoza y Catamarca, por ejemplo, el empleo de un mapa virtual de permafrost se convierte en una herramienta fundamental para orientarse en la debida implementación de la Ley de Glaciares.

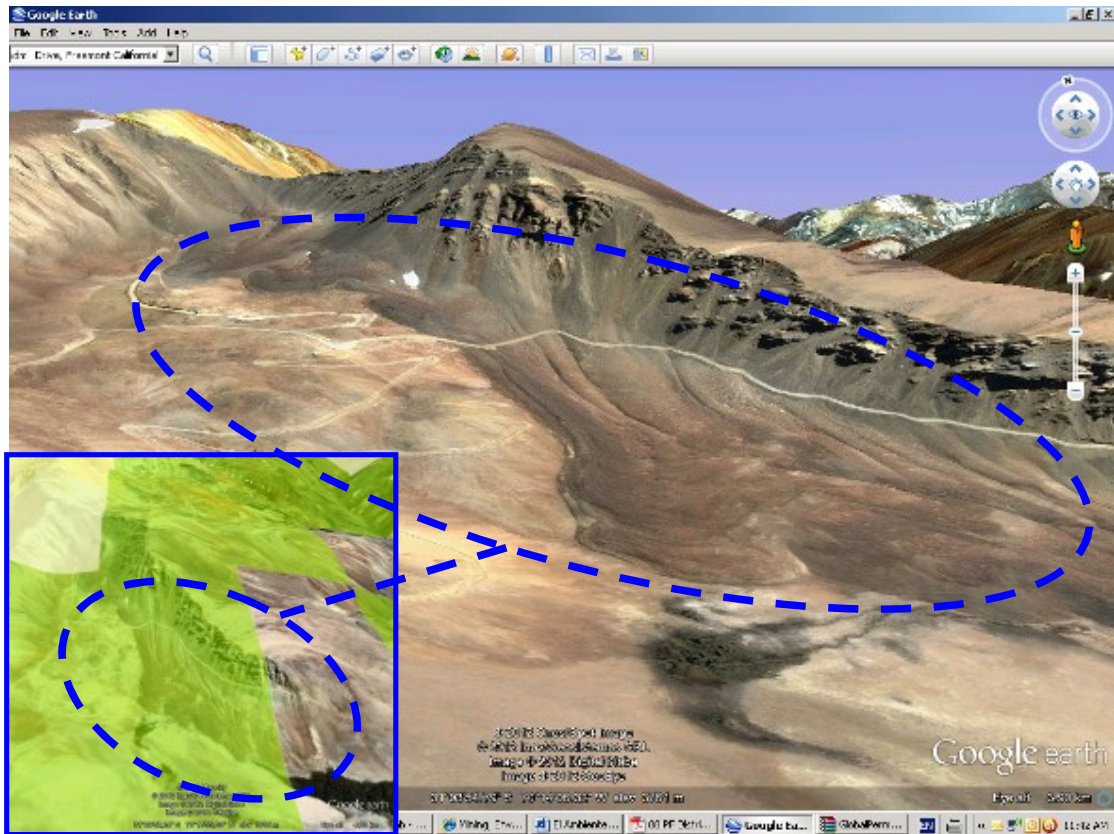
**f) Los Azules (McEwen Mining).**

En la siguiente imagen vemos como un camino de exploración minera del proyecto Los Azules, operado por McEwen Mining de Canadá, atraviesa indiscriminadamente a un campo rico en glaciares de escomburo. Vemos en la imagen también la importante relación de los glaciares de escomburo, y más generalmente del ambiente periglacial, con los delicados sistemas ecológicos de vegas de alta montaña que dependen del funcionamiento de congelación y descongelación del hielo en estos glaciares de escomburo y suelos congelados (permafrost) para su salud y sobrevivencia. El camino minero penetra la superficie, el detrito que cubre a la capa activa de este glaciar de escomburo justamente en la zona donde se nutre de nieve/agua (en la zona más alta del glaciar).

En el rincón inferior izquierdo superponemos el mapa de permafrost que aparece en la base de datos del modelo virtual de la Universidad de Zúrich. Nuevamente el mapa de permafrost no nos falla, ya que indica por el color verde de la zona, que es una zona de incertidumbre, donde en condiciones favorables (como en este caso que es un cerro que mira al sur) puede haber suelos congelados (permafrost). Un trabajo de campo y las medidas adecuadas de protección hubiera evitado el impacto causado por este camino minero en esta zona. Sin embargo, el proyecto de Los Azules comenzó sus tareas de exploración antes de contar con dichos estudios. Continuar actividades sobre ambiente periglacial sobre glaciares de escombros u otros elementos del ambiente periglacial, sería una flagrante violación de la Ley de Glaciares.

El gobierno de San Juan debería exigir a McEwen que establezca una política clara de protección de glaciares y de ambiente periglacial para Los Azules. Debería exigir además que se realice un estudio detallado de cuál ha sido el impacto del proyecto en ambiente periglacial y mientras se realicen estos estudios y se aclaren estos impactos pasados y eventuales, deberían suspender toda actividad exploratoria del proyecto.

El lector lo podrá ver en: 31 03 54.79 S, 70 14 06.32 W.

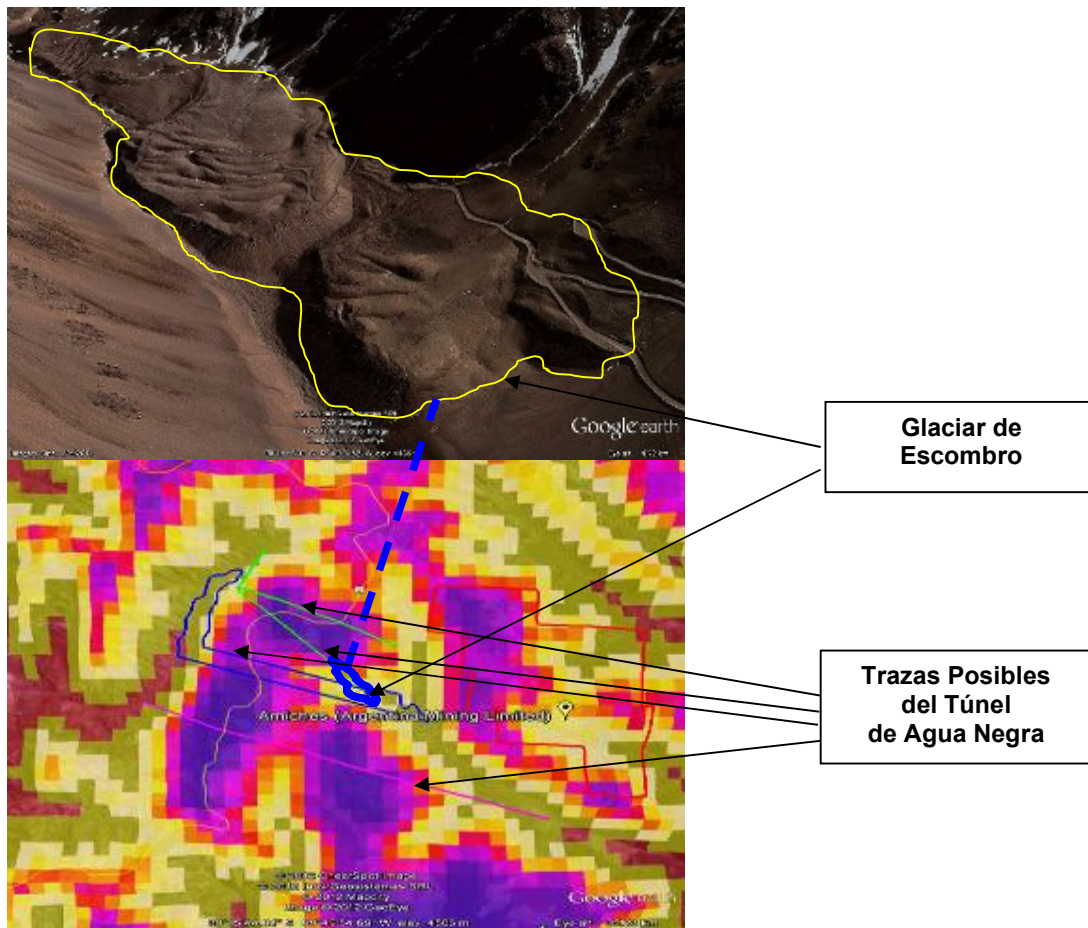


**g) El Túnel de Agua Negra**

No es solamente la actividad extractiva que impacta en ambientes periglacial. Cualquier obra industrial importante puede impactar en los suelos congelados del ambiente periglacial, afectando su función como reserva hídrica y regulador de cuencas. Por eso la Ley de Glaciares estipula que se deben hacer los estudios pertinentes por *toda actividad industrial* que pueda afectar a glaciares y/o a ambiente periglacial.

En la siguiente imagen, disponible en *Google earth* en 30 14 58.43 S, 69 50 07.52 W, vemos un camino y las plataformas de perforación, montadas sobre un glaciar de escombros activo. Se trata de trabajos exploratorios para la introducción del túnel de Agua Negra en la Provincia de San Juan.

En la segunda imagen, con el mapa de suelos congelados (permafrost) superpuesto a la imagen, vemos claramente que toda la zona donde están proyectados las opciones de caminos son ambiente periglacial. Vemos el pequeño polígono azul que corresponde al glaciar de escombros de la primera imagen (el que tiene los caminos sobre su superficie), y vemos las múltiples trazas (líneas finas rectas de colores azules, rojas, y verdes) por donde se han proyectado los posibles tramos del túnel. Todas estas opciones atraviesan zonas de suelos congelados (permafrost). A la derecha de la imagen, también vemos el cateo del proyecto Amichos (*de Argentina Mining*), que está en un 50% sobre suelos congelados. Todas estas situaciones están en contradicción con la ley de glaciares.



## h) Obras Viales que Afectan Ambiente Periglacial en Salta/Jujuy

Los expertos en glaciares, Ahumada, Ibañez, Palacios y Paez, ya han escrito sobre el impacto de la obra vial en ambientes periglaciales.<sup>5</sup> Es el caso del límite entre las provincias de Salta y Jujuy en la Sierra de Santa Victoria. Visible en: 23°11'55.82" S 65°03'05.88" W



Caminos viales en límite entre Jujuy y Salta atraviesan glaciares de escombros e impactan ambiente periglacial.

Allí vemos como caminos viales indiscriminadamente entran y salen de glaciares de escombros y de ambientes periglaciales, impactando en estos recursos y generando no solamente riesgos en el recurso hídrico (y violación de la Ley de Glaciares) pero también inestabilidades en la obra pública y problemas recurrentes en las mismas por el movimiento de estos cuerpos y suelos de hielo.

En la siguiente imagen vemos un camino introducido por Xstrata Copper para llegar a su proyecto Filo Colorado. El camino entra y sale indiscriminadamente por glaciares de escombros. Visible en: 27°20'02.20" S, 66°13'27.75" W



<sup>5</sup> Ver: <http://wp.cedha.net/wp-content/uploads/2011/10/ahumada-palacios-paez-caminos-pune%C3%B1a-1.pdf>

## Los Riesgos de la Minería en Zonas de Ambiente Periglacial

¿Por qué no es aconsejable realizar actividades mineras en zonas de ambiente periglacial?

En primer lugar, porque es ilegal. El artículo 6 de la Ley Nacional de Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial es claro, no se pueden realizar actividades que pueden afectar la condición natural o las funciones del ambiente periglacial.

Los ambientes periglaciales saturados en hielo funcionan como reguladores de cuencas hídricas. Por eso, tienen un valor hídrico estratégico y clave en el balance ecosistémico en zonas áridas. Es común que la actividad minera remueva suelos en las etapas de exploración y explotación de la actividad, mediante las perforaciones exploratorias, por el trazado de caminos, por el volcamiento directo de tóxicos (como el cianuro), o por el drenaje ácido que puede ocurrir desde las pilas estériles de desechos detríticos, o simplemente por el movimiento de suelos en zonas de alta mineralización. Realizar este tipo de acciones en zonas altamente sensibles como son los ambientes periglaciales es un enorme riesgo para el recurso hídrico y por esa razón la Ley de Glaciares prohíbe la actividad minera en ambientes glaciales y periglaciales, que afectarían la calidad del agua contenida en los suelos congelados.

Las impermeabilizaciones que realizan las empresas para evitar impactos de drenaje, no siempre son seguras, puede existir fisuras y puede haber drenaje de ácido al ambiente. Si esto ocurre en zona de ambiente periglacial que está funcionando como regulador de cuenca, la cuenca se podría ver comprometida.

Pero hay otros motivos que son también importantes, como, por ejemplo, afectaciones a las propiedades térmicas y geofísicas del ambiente periglacial. Los suelos congelados sufren cambios permanentes en sus estructuras físicas, expandiéndose y contrayéndose a causa del congelamiento y descongelamiento del agua que contienen. Recordemos que el volumen ocupado por el agua se expande cuando ésta se convierte en hielo. Tan solo debemos pensar en una botella de líquidos en el congelador. Cuando líquido en la botella se congela, suele explotar la botella, esto sucede porque el hielo ocupa más lugar que el líquido y si no hay lugar en la botella para el hielo en expansión, la fuerza ejercida como consecuencia en contra del vidrio es tan grande que el hielo rompe el vidrio para ocupar su nuevo volumen. En el suelo pasa lo mismo, la nieve y el agua penetran los espacios libres, fisuras, etc. en la piedra, y cuando se congela, el hielo expande y rompe la piedra, y otros materiales en el suelo en este proceso de expansión. Cuando se derrite, vuelve a cambiar su volumen y se vuelve a alterar el espacio físico que ocupa el líquido. Por este motivo, por su pendiente, y por la lubricación causada por el derretimiento, los suelos congelados están en continuo movimiento y pueden incluso estar lentamente deslizándose por la superficie.

También debemos considerar que cualquier peso apoyado en la superficie del hielo también genera una presión sobre el mismo, y si es lo suficientemente importante (como por ejemplo, las millones de toneladas que se suelen depositar sobre escombreras mineras), esto también genera una presión excesiva y una posible alteración y desestabilización de la geofísica del suelo.

Tenemos un caso en Argentina donde sucedió justamente este problema. Es en uno de los proyectos mineros más importantes del país. Se trata del proyecto Veladero de Barrick Gold. En este proyecto, según el experto en ambientes periglaciales, Juan Pablo Milana, Barrick Gold decidió, a pesar de recomendaciones que no lo hiciera por peligros de derrumbe, ubicar una de sus escombreras encima de suelos congelados. Milana advirtió al gobierno de San Juan que esto era peligroso, pues el suelo estaría en continuo movimiento y alteración y podía ceder en reacción al peso, y la escombrera, que se ubicaba sobre una ladera, podría colapsar.

En algún momento entre fines del 2007 y principios del 2008 pasó justamente esto. El colapso fue colosal, y pudo haber sido trágico. Los hechos están detalladamente documentados en un informe que preparó Milana<sup>6</sup> y que puso a disposición de las autoridades. Las imágenes del colapso, sin embargo, están fácilmente visibles en *Google earth*, y con la herramienta del tiempo, se puede ver lo ocurrido. Reproducimos a continuación la información y secuencia de imágenes que dan testimonio a este evento que ya habíamos publicado en octubre del 2011.

<sup>6</sup> Ver: <https://center-hre.org/wp-content/uploads/2011/10/Landslide-at-Veladero-Juan-Pablo-Milana.pdf>

El lector podrá ver el antes y el después, utilizando la herramienta de tiempo de *Google earth* en el siguiente lugar.

29°22'45.00" S 69°57'40.58" W

Las escombreras mineras, dice Milana,

“se planifican para mantenerse estables, ya que los drenajes ácidos de las mismas deben ser controlados, y un movimiento accidental de una escombrera no solo implica riesgos a los trabajadores, sino una alteración de la planificación original de la construcción y una clara afectación al medio ambiente.”

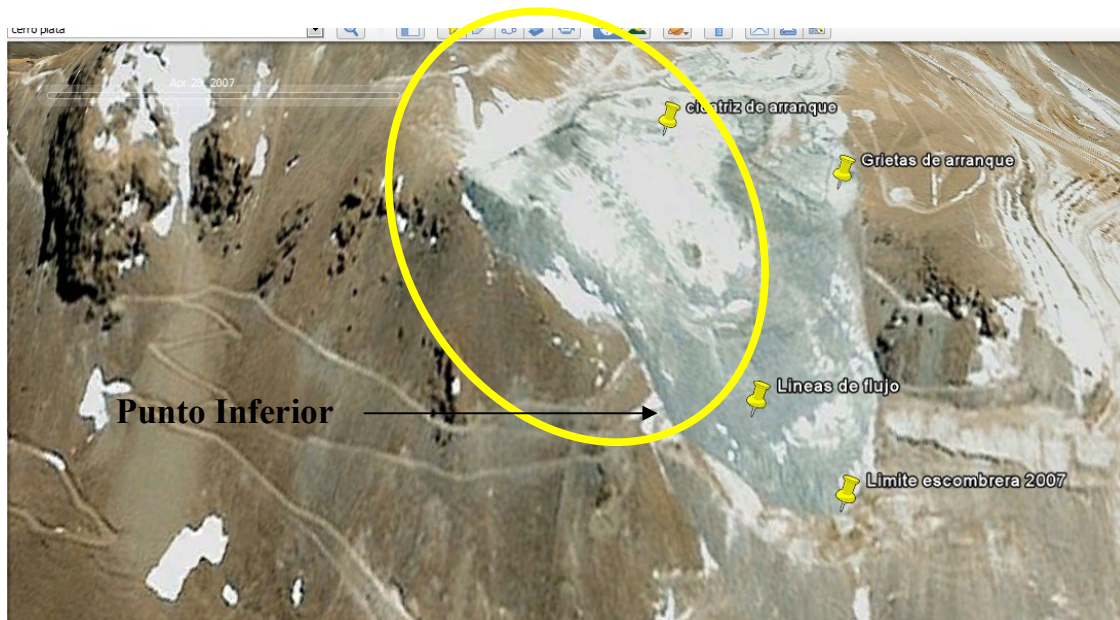
Milana sugiere que la presencia de suelos congelados en la zona de Veladero y en el lugar donde sucedió el colapso, pudo haber sido determinante en la falla de la estructura construida por Barrick Gold. Critica severamente a los técnicos de Barrick Gold en su falla de diseño:

“El hecho que colapse una escombrera habla muy mal de la ingeniería aplicada en la Mina Veladero, ya que son los ingenieros encargados de determinar la estabilidad de los taludes y cuidar porque las pendientes de los mismos no superen ángulos críticos para el tipo de material y saturación de agua asociada. Lo que creo que ha sucedido es que las impermeabilizaciones necesarias en las escombreras para evitar el drenaje ácido de las mismas, no fue instalada y como resultado, el material se saturó en agua (ácida) y se fluidificó parcialmente deslizándose pendiente abajo, afortunadamente no por una distancia considerable sino hubiera terminado justamente en el “Valle de Lixiviación”.”

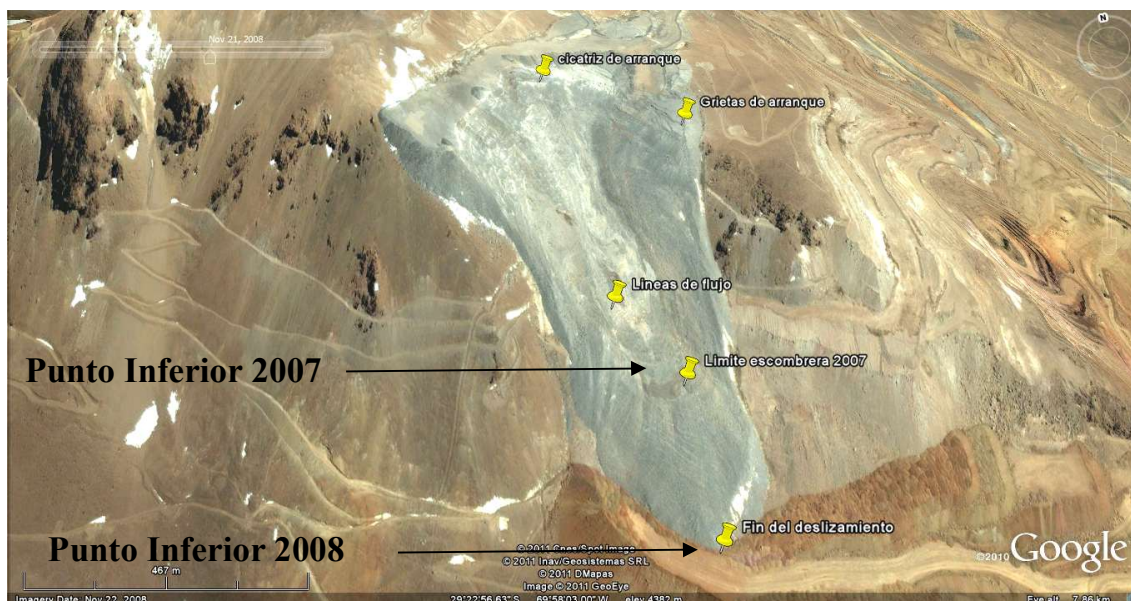
Sigue su crítica, alertando a la población sanjuanina,

“Por ello, espero que esta oportunidad sirva para concientizar a la población sanjuanina de que existen peligros muy importantes (por ejemplo el propio colapso del dique de lixiviación), y no hay suficientes elementos de seguridad aguas abajo de estos emprendimientos mineros para garantizar la seguridad de la población. También nos enseña que la ingeniería aplicada en esta mina es defectuosa, por lo cual permite concluir que este u otros accidentes peores se podrían repetir en el futuro, indicando la NECESIDAD de los controles independientes.”

En la próxima imagen vemos la escombrera en el 2007, antes del colapso. La pila es de color gris, lo que contrasta con el marrón de los alrededores. Hemos indicado a la pila con un óvalo amarillo. Nótese el marcador puesto por Milana del punto inferior de la pila.



La siguiente imagen muestra la pila luego del colapso, con su punto inferior significativamente más bajo que en la imagen anterior. La diferencia son varios centenares de metros en un derrumbe colosal.



Nos detenemos en los proyectos de Barrick Gold (Pascua Lama y Veladero), pues no solamente son de los proyectos mineros más significativos del país, pero porque Barrick Gold niega sistemáticamente su impacto en glaciares y ambiente periglacial a pesar de los numerosos estudios contratados por la misma empresa que dicen precisamente lo que estamos divulgando aquí, Pascua Lama impacta e impactará a los ambientes periglaciales que se encuentran en la zona del proyecto. Varios estudios atestatan a esta presencia de hielo y generan por lo tanto enormes dudas sobre la idoneidad de la relación de estos proyectos.

Veamos lo que dicen los consultores de BGC Engineering que hicieron el estudio de suelos congelados (permafrost) en el 2009 enfocándose en las zonas del proyecto de Pascua Lama. La siguiente tabla resume perfectamente la situación deplorable en términos de estabilidad y seguridad de las futuras zonas del proyecto, esto sin considerar las implicancias en la contaminación por drenaje ácido y contaminación directa que se puede esperar por el emplazamiento de zonas del proyecto sobre suelos congelados. En esta tabla se resume con muy preciso detalle, que las principales zonas de Pascua Lama, incluyendo el rajo, las escombreras, son zonas de permafrost. Si contienen agua estas zonas sería reservas hídricas y reguladores de cuenca, es decir, ambiente periglacial protegido por ley.

En el resumen ejecutivo del informe de BGC, encontramos datos alarmantes respecto a la presencia de ambiente periglacial y en particular, suelo congelado. En las 14 calicatas realizadas, se encontró evidencia de permafrost con una capa activa de entre 0.4m y 2.6 metros. En el hielo superficial encontrado, habría un 23% de humedad. El suelo permanentemente congelado (o el permafrost) llega a espesores de hasta 270 metros de profundidad. Según los técnicos, los suelos congelados en la zona del proyecto se encuentran a partir de 4,000 metros de altura y es probable encontrar suelos congelados a partir de los 4,200 metros en las laderas que miran al sur y a partir de los 4,800 metros en laderas que miran al norte. Y por encima de los 5,100 metros, es probable que el suelo permanentemente congelado (el permafrost) tenga un espesor mayor a los 320 metros.

La experta en glaciares del IANIGLA, Espizua, remarca también (citando a Trombotto y a otros autores) en su trabajo sobre Pascua Lama y Veladero<sup>7</sup> sobre la presencia de permafrost discontinuo, es decir, de suelos congelados que se congela y se descongela (actuando como regulador de cuencas). Espizua constata que solamente en la zona de su estudio, que es una pequeña porción de la zona de influencia del proyecto Pascua Lama, si bien es la zona central del mismo, habría unas 300 hectáreas de

<sup>7</sup> Ver: <https://center-hre.org/wp-content/uploads/2011/11/Informe-Glaciares-Lama-Veladero-Espizua-2006.pdf>

permafrost discontinuo, lo que según Espizua representa el 17% del área de permafrost discontinuo de la cuenca del Arroyo Turbio. (Espizua, p.44). Los rajas de Pascua Lama, Penélope Oeste y Este, la cinta transportadora subterránea y superficial, y los caminos de la mina, dice Espizua, afectarían 170 hectáreas de permafrost discontinuo—es decir, a ambiente periglacial. La escombrera el Morro, agrega, cubre un área de 170 hectáreas.

CMN / BEASA Estudio de caracterización del Permafrost		Junio 25, 2009 Proyecto No. 0442-009, 0443-009		
Tabla 8: Infraestructuras y permafrost.				
		Comentario	Probable Permafrost	Posible permafrost
<b>Lama</b>	<b>Area de la Cuenca</b>	Arroyo Turbio, 24.2 km <sup>2</sup>	14.2 km <sup>2</sup>	7.0 km <sup>2</sup>
	<b>Area del botadero</b>	Posiblemente la mayoría del área es permafrost	0.99 km <sup>2</sup>	0.46 km <sup>2</sup>
	<b>Area del rajo</b>	Toda el área es permafrost	0.91 km <sup>2</sup>	0.01 km <sup>2</sup>
	<b>Sitio de la planta</b>	Solo pequeñas partes son permafrost	Parcialmente	-
	<b>Tailings Facility</b>	No se espera permafrost a estas elevaciones	-	-
<b>Pascua</b>	<b>Area de la Cuenca</b>	Rio del Estrecho, 35.9 km <sup>2</sup>	18.1 km <sup>2</sup>	14.2 km <sup>2</sup>
	<b>Area del rajo esperanza</b>	Toda el área es permafrost	2.06 km <sup>2</sup>	0.03 km <sup>2</sup>
	<b>Botadero Nevada</b>	La mayoría del área es permafrost	1.25 km <sup>2</sup>	1.58 km <sup>2</sup>
	<b>Divisiones norte de los canales</b>	La mayoría de los canales probablemente están localizado en permafrost	Si	Si

En la siguiente imagen, publicada en el informe de Espizua, vemos un glaciar de escombros en la ladera sur del valle del Arroyo Canito a 4150 metros de altura. Se puede visitar este glaciar en *Google earth* en la siguiente coordenada: 29°20'48.82" S 69°59'08.86" W



Glaciar tipo Protalus Ramparts en Veladero (Barrick)  
Fuente: Espizua

Espizua también hace referencia a otro tipo de cuerpos de hielo en zonas de ambiente periglacial, que son los llamados protalus ramparts, que son según Espizua cuerpos embrionarios de glaciares de escombros activo. No siempre son tan fáciles de percibir estos cuerpos de hielo, que también están protegidos por la ley nacional. Según Espizua, los glaciares son numerosos y se ubican por encima de los 4350 metros y por debajo de la isoterma -2 grados Centígrados.

También existen en zonas de ambiente periglacial, glaciares de escombros inactivos. Estos son cuerpos de hielo que ya no tienen movimiento. Es a veces difícil distinguir a estos glaciares de glaciares fósiles, ya que tienen formas similares en algunos casos.

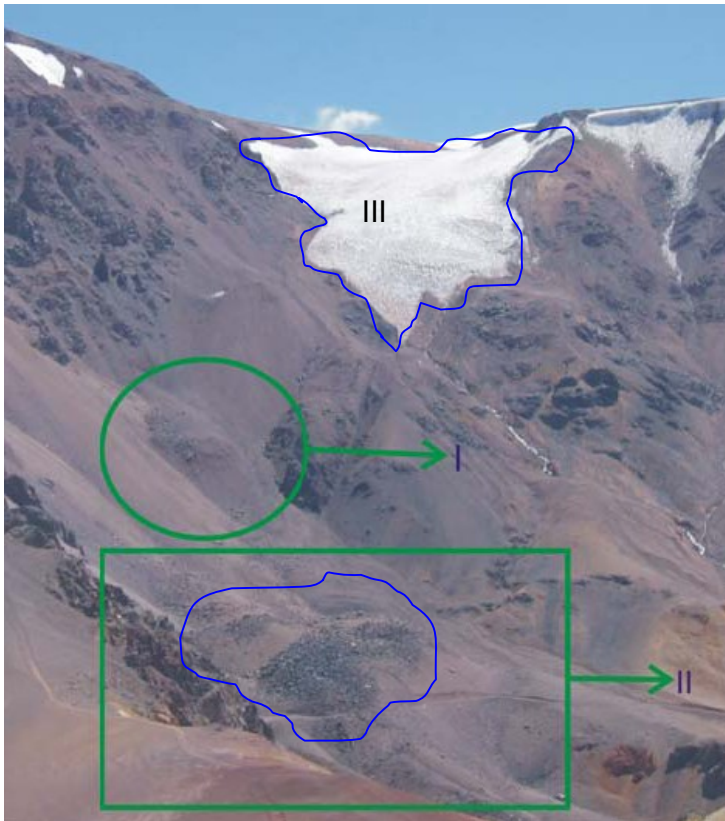
Lo importante es entender que los glaciares de escombros inactivos pueden tener importantes cantidades de hielo en su interior. La siguiente imagen tomada por Espizua es de un glaciar de escombros inactivo en el valle del Arroyo Turbio. Vean lo difícil que es distinguir este cuerpo de hielo. Según Espizua, los glaciares de escombros inactivos aparecen como hielo colapsado, con suavizado escarpe, y en ocasiones con vegetación en su frente.



Glaciar de Escombros Inactivo. Fuente: Espizua

Abajo reproducimos una última imagen del informe de Espizua pues nos ayuda a ver la gran diferencia que existen entre los diversos tipos de glaciares y geoformas de piedra y hielo que pueden encontrarse en un ambiente periglacial, todas protegidas por la ley nacional de glaciares y ambiente periglacial (y varias difíciles de percibir sin una capacitación específica). Veamos la siguiente imagen que contiene:

- I) un proglacial rampart
- II) un glaciar de escombros activo
- III) un glaciar descubierto (el glaciar Canito)



Tipologías de Glaciares en Veladero (Barrick Gold). Fuente: Espizua

## El Inventario Nacional de Glaciares y del Ambiente Periglacial

Si queremos proteger al ambiente periglacial, debemos primero saber dónde está.

Oficialmente, aun no lo sabemos. No existe un mapeo oficial argentino del ambiente periglacial en el territorio nacional. El IANIGLA solamente ha mapeado los glaciares de escombros activos.

El artículo 5 de la Ley de Glaciares y de Ambiente Periglacial, indica:

**Art. 5º – Realización del Inventario.-**

**El inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial será realizado y de responsabilidad del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) con la coordinación de la autoridad nacional de aplicación de la presente ley.**

Es decir, el IANIGLA deberá ubicar, registrar y monitorear a:

- todos los glaciares del país
- todo el ambiente periglacial de país

El segundo punto es clave, y muy claro en la ley. En términos prácticos, entendemos por esto que el inventario deberá registrar todos los elementos protegidos por la ley en lo que denominamos ambiente periglacial, particularmente aquellos que se consideran estratégicos por su valor hídrico, tanto como reserva como regulador de cuencas. Aparte de inventariar glaciares descubiertos y cubiertos, el inventario debería contar además, en el ambiente periglacial:

1. glaciares de escombros activos
2. glaciares de escombros inactivos
3. otras crioformas con hielo (por ejemplo, protalus ramparts, aunque estos podrían considerarse glaciares de escombros)
4. suelo permanentemente congelado saturado en hielo (o permafrost saturado en hielo) ... que no necesariamente evidencia glaciares de escombros superficiales ...

El cronograma de ejecución del inventario presentado en octubre del 2010, por el IANIGLA,<sup>8</sup> institución a cargo del inventario nacional, estipula que se realizará un inventario de glaciares y crioformas en el ambiente periglacial. En la sección “5. Definiciones a los fines del Inventario Nacional”, el IANIGLA incluye a glaciares descubiertos, cubiertos y de escombros. Luego indica:

**“en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica.” (IANIGLA, Cronograma p.21)**

Cabe señalar que el IANIGLA decidió no incluir en el inventario, *el ambiente periglacial que no evidencia geoformas—más precisamente, glaciares de escombros activos*. Es decir, puede haber suelos congelados con alto contenido hídrico, pero que no manifiestan geoformas que no estarían inventariados. Nosotros nos comunicamos con el IANIGLA manifestando esta inquietud y la respuesta que recibimos de la dirección de la institución fue:

- que el IANIGLA manejará al inventario en relación al concepto de reserva hídrica estratégica (dando cumplimiento al artículo 1 de la ley).
- que el suelo bajo 0 puede contener o no hielo, aún no hay estudios que indiquen cuánto.
- estudiarán durante las etapas 2 y 3 del inventario, la contribución al escurrimiento de los suelos congelados para ver si es reserva hídrica.
- si su contribución es importante deberán incluirse en futuros inventarios.

Ante la falta del inventario completo del ambiente periglacial y todos sus elementos protegidos por ley porque son reservas hídricas y reguladores de cuenca, nos podemos remitir al modelo virtual de la Universidad de Zúrich, que por el momento, nos da buenos indicios sobre la presencia de zonas con

---

<sup>8</sup> Ver: [En: Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución](#). P.21

posibles o probables suelos congelados con valor hídrico. Al menos es un principio con el cual podemos orientarnos y con el cual también podemos tomar la decisión de exigirles a las empresas que pretenden realizar actividades en estas zonas, los estudios pertinentes.

## Conclusiones

El *Ambiente Periglacial* es una zona en la alta montaña que funciona como regulador de cuencas hídricas, y además es una enorme reserva de agua que es crítica para el ecosistema de montaña. Hay mucho ambiente periglacial en los Andes Centrales, y en particular en provincias como San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucumán (en la Sierra del Aconquija), Salta y Jujuy.

El ambiente periglacial es importante independientemente de los glaciares descubiertos, de los glaciares cubiertos, y de los glaciares de escombros que son solamente *un* elemento del ambiente periglacial pero no el único.

El ambiente periglacial tiene propiedades particulares a sus características que son distintas a las propiedades de los glaciares y de los glaciares de escombros (que son uno sólo de los elementos que contienen). Existen suelos congelados (permafrost) saturados en hielo en el ambiente periglacial que es una importante reserva hídrica y es protegida por ley.

*Hay minería donde hay ambiente periglacial.*

*Hay impacto minero y de algunas otras obras de infraestructura (viales por ejemplo) donde hay ambiente periglacial.*

Esto es violatorio de la Ley de Glaciares. Donde la actividad fue previa a la ley, deberían hacerse estudios para ver si el impacto debe ser reparado. Donde la actividad es actual, debe cesarse hasta tanto se determine el impacto. Y donde la actividad es futura, no debe proceder hasta tanto existan los estudios apropiados para determinar si la actividad tendrá o no un impacto en estos importantes recursos de hielo, reservas hídricas y reguladores de cuencas.

La Ley de Glaciares se aprobó unánimemente por ambas cámaras del Congreso en el 2008, y fue vetada por la presión del sector minero que veía un enorme riesgo en sus negocios de sostenerse la ley. Podemos suponer que su mayor preocupación no era en realidad los glaciares, si no el *ambiente periglacial* pues es mucho más extenso el territorio de ambiente periglacial que el territorio cubierto por glaciares.

Sin embargo, la ley apuntaba a proteger un recurso vital para todos los argentinos y para los ecosistemas que dependen del agua de deshielo de glaciares y de la misma montaña que alberga agua en forma de hielo en los ambientes periglaciales. Estos recursos hídricos son claramente infinitamente más importantes que los metales más preciosos que puedan subyacer en la montaña.

Es por esto que los congresistas entendieron la importancia del hielo en la montaña, y la ley volvió con toda su fuerza, incluso mejorada y reforzada, en el 2010, con un extensivo debate y a pesar de embestidas fuertes del sector minero. La presidente de la nación prometió que no vetaría la ley si se aprobara nuevamente, y así fue. La ley 26.639, "**Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**", aprobada en Septiembre del 2010 y promulgada el mes posterior, es *la primera ley del mundo* que protege a los glaciares y al ambiente periglacial, recursos hídricos hoy extremadamente vulnerable por las tendencias de cambio climático que estamos afrontando en el mundo.

Dos megaempresas mineras (Barrick Gold y Xstrata Copper) y una provincia (San Juan) atacaron la ley en la justicia federal. Argumentaban que los glaciares son dominio de las provincias y por lo tanto decían que la Ley de Glaciares federal vulneraba derechos constitucionales. Aparecieron leyes provinciales, bastante menos rigurosas, que por ejemplo no protegen al ambiente periglacial o a glaciares de escombros inactivos, en un intento de derivar el marco jurídico actual e interponer otro marco jurídico sobre el recurso. Por suerte, hasta el momento, la justicia ha premiado la protección del hielo y se mantiene la Ley de Glaciares.

Este informe, un producto de nuestra iniciativa de “democratizar a los glaciares”, intenta explicar al lector *no experto* en la materia *qué es el ambiente periglacial*, porqué es importante, cuáles son los riesgos para este recurso hídrico, y cuál es el impacto de la actividad minera y de algunas otras actividades industriales (como la vialidad) sobre los ambientes periglaciales.

El propósito del trabajo no es oponerse a la minería, sino más bien, informar al público sobre un riesgo y daño enorme que la minería de alta montaña, hoy en Argentina, está causando a los glaciares, a los glaciares de escombros y al ambiente periglacial. Este impacto es evitable. No es necesario que empresas mineras tracen caminos por encima de glaciares y sobre ambiente periglacial. Pueden evitarlo, y el Estado debe protegerlos y asegurar que empresas mineras cumplan a rajatabla con la Ley de Glaciares. Deberían, y pueden hacerlo.

Los actores responsables deben asumir su debida diligencia y actuar conforme a la ley.

- **El IANIGLA** debe realizar los inventarios prioritarios de zonas donde hay emprendimientos mineros y otras obras de infraestructura donde hay glaciares, glaciares de escombros y ambientes periglaciales. También debe realizar un inventario del ambiente periglacial completo, no solamente los glaciares de escombros activos.
- **Los profesionales dedicados a la glaciología, geología, criología, geocriología**, afectados y/o dedicados a la temática en la región deben obrar por la protección de los glaciares, de los glaciares de escombros, y del ambiente periglacial, asegurando y condicionando que su trabajo (cuando por ejemplo es a favor de una empresa) sea de carácter público y que, sobre todo, y por encima del interés de sus empleados, reine la protección del recurso.
- **Los Estados Provinciales** deben identificar donde hay emprendimientos mineros y otras obras de infraestructura en zonas de glaciares, glaciares de escombros y ambiente periglacial y exigir a las empresas los estudios pertinentes para medir el impacto pasado, presente y futuro en el recurso. Deberían además proveer al IANIGLA y a la Secretaría de Ambiente de la Nación, un listado completo de la ubicación de todos los proyectos mineros en curso (prospección, exploración y explotación). No deberían otorgar ni permitir trabajos de ningún tipo, ni de exploración ni de extracción hasta tanto no se realicen los estudios y se determine el impacto.
- **El Estado Nacional** debe velar por el cumplimiento de la Ley de Glaciares, asegurar que el IANIGLA realice el inventario adecuadamente, en tiempo y forma, y que este inventario incluya el ambiente periglacial que funciona como reserva y regulador de cuencas.
- **Las empresas mineras** y otras empresas realizando obras de infraestructura en zonas de glaciares, glaciares de escombros y ambiente periglacial, deben adoptar políticas operativas y los sistemas de gestión necesario para proteger al recurso de hielo. Deben realizar estudios de impacto en glaciares, glaciares de escombros y ambiente periglacial. Deben medir el aporte hídrico de los glaciares y ambientes periglaciales entorno a su emprendimiento. Deben reparar daños pasados en el recurso y deben evitar todo daño futuro y deben brindar toda información que tienen sobre la presencia de hielo al público en general, pues los glaciares y el ambiente periglacial son de interés público.
- **La justicia** debe tomar las medidas necesarias, antes las denuncias planteadas por interesados, para frenar todo tipo de actividad que dañe a glaciares, glaciares de escombros y a ambiente periglacial, y asegurar que las personas, empresas y agencias públicas responsables realicen los estudios pertinentes antes de dejar avanzar a dichas actividades.
- **La sociedad civil organizada y la sociedad en general** debe estar alerta e informar sobre situaciones de su conocimiento donde la actividad extractiva u otra actividad industrial está afectando a glaciares, glaciares de escombros o ambiente periglacial, y denunciar a las autoridades competentes cuando esto se revele.

Para más información:  
[ambienteperiglacial@gmail.com](mailto:ambienteperiglacial@gmail.com)

## ANEXO: Proyectos Mineros y Obras en Curso en Ambientes Periglaciales

Todos estos proyectos y/o obras de infraestructura, están en zonas con suelos congelados (permafrost) y ambiente periglacial. No nos consta que se haya realizado un inventario de glaciares y de ambiente periglacial, tal como estipula la ley en las zonas de estos proyectos. Tampoco sabemos de estudios de impacto en glaciares o en ambiente periglacial para ellos, también como determina la ley de glaciares. Debería suspenderse toda actividad en dichos proyectos hasta tanto se asegure cumplimiento con la ley de glaciares.

***Están listados en orden de aparición de Norte a Sur. Se pueden ver dichos lugares cortando y pegando la dirección de coordenadas en Google earth. En algunos casos no se ha podido identificar el dueño de la actividad/impacto visible por Google earth.***

### Jujuy

El Aguilar (Glencore); 23°12'24.69" S 65°42'32.94" W

### Salta

Obras Viales: 23°17'12.82" S 65°01'10.82" W  
23°13'59.44" S 65°02'38.03" W  
23°16'39.39" S 65°01'12.41" W

### Catamarca

Filo Colorado (Xstrata Copper); 27°20'23.91" S 66°13'17.62" W  
Agua Rica (Yamana Gold/Xstrata Copper); 27°21'47.82" S 66°16'33.19" W

### La Rioja

Caballos (Golden Arrow); 28°12'10.64" S 69°16'49.53" W  
Vicuñitas; 28°17'56.34" S 69°26'34.20" W  
Cerro Verde (Anglo American); 28°18'19.85" S 69°27'54.73" W  
Chola (NGX Resources); 28°19'24.91" S 69°30'39.43" W  
La Ollita; 28°19'48.71" S 69°31'39.57" W  
Cerro Blanco; 28°20'05.97" S 69°33'33.79" W  
Peñas Negras (Yamiri); 28°20'32.79" S 69°33'28.18" W  
Sillimanita/El Potro (NGX Resources); 28°22'42.48" S 69°33'12.03" W

### San Juan

Portones (NGX Resources); 28°24'42.03" S 69°35'04.41" W  
Jose Maria (NGX Resources); 28°24'58.85" S 69°32'49.70" W  
Vicuña (NGX Resources); 28°26'30.35" S 69°36'10.94" W  
Maranceles (NGX Resources); 28°27'02.46" S 69°38'53.13" W  
Batidero (NGX Resources); 28°27'36.64" S 69°31'25.65" W  
Filo del Sol (NGX Resources); 28°28'15.28" S 69°38'34.08" W  
Proyecto No-Identificado; 28°32'12.31" S 69°39'22.35" W  
Proyecto No-Identificado; 28°33'32.27" S 69°38'24.33" W  
Cerro Amarillo/Cerro Dante; 28°36'05.34" S 69°36'29.62" W  
28°39'18.58" S 69°36'03.71" W  
La Aparecida; 28°39'43.00" S 69°40'01.38" W  
Las Flechas (NGX Resources); 28°42'48.30" S 69°39'38.92" W  
Las Carachas (TNR); 28°45'38.11" S 69°30'04.11" W  
Proyecto No-Identificado; 29°09'53.08" S 69°51'49.22" W  
San Crispin (Entropy); 29°10'04.49" S 69°43'58.31" W  
Proyecto No-Identificado; 29°12'04.01" S 69°52'19.17" W  
Proyecto No-Identificado; 29°13'46.58" S 69°52'39.00" W  
Mogotes (IMA Resources); 29°15'27.10" S 69°51'25.25" W  
Proyecto No-Identificado; 29°18'41.28" S 69°50'18.96" W  
Potrerillos (Golden Arrow); 29°21'28.60" S 69°51'17.61" W  
Pascua Lama (Barrick Gold); 29°19'37.32" S 69°59'56.23" W  
Veladero (Barrick Gold); 29°21'48.90" S 69°57'30.47" W  
La Ortiga (Argentine Mining); 29°24'12.54" S 69°39'46.62" W  
Sancarron Este (Argentine Minerals); 29°38'22.95" S 69°44'49.06" W  
Jaguelito (Corporación América); 29°45'40.78" S 69°36'32.31" W  
Proyecto No-Identificado; 29°49'17.50" S 69°39'47.37" W  
La Poncha (Genesis Minerals); 29°52'20.04" S 69°34'33.75" W  
Del Carmen (Malbex); 30°02'23.35" S 69°53'33.72" W

Amiches (Argentine Minerals);	30°15'19.20" S 69°42'39.58" W
Tunel Agua Negra;	30°14'39.28" S 69°50'42.87" W
Cerro Moro (Anglo American);	30°30'22.10" S 69°41'31.51" W
San Francisco (Argentine Minerals);	30°41'39.34" S 69°48'52.94" W
	30°31'42.92" S 69°50'30.24" W
	30°37'38.26" S 70°01'29.32" W
Proyecto No-Identificado;	30°47'13.08" S 69°53'31.04" W
Los Azules (McEwen Mining);	31°06'33.34" S 70°13'21.82" W
Rincones de Araya;	31°13'28.83" S 70°16'10.15" W
El Altar (Peregrine/Stillwater);	31°29'01.61" S 70°28'36.61" W
El Pachón (Xstrata Copper);	31°45'31.17" S 70°25'34.48" W
Proyecto No-Identificado;	31°51'52.72" S 70°16'33.93" W
Mercedario;	31°57'39.75" S 70°02'44.37" W
Amos Andres (Rio Tinto);	32°16'01.61" S 70°16'51.80" W

Mendoza

Complejo de Ski Las Leñas;	35°07'52.56" S 70°07'39.87" W
Cerro Amarillo (Concordia Resources Corp);	35°18'01.12" S 70°12'40.00" W

## Bibliografía

- [Ahumada et.al. Caminos de Alta Montaña en un Ambiente de Criósfera Puneña](#)
- [Ahumada, et.al Periglacial Phenomena in the High Mountains of Northwestern Argentina.](#)
- [Ahumada, et.al. El Permafrost Andino ... de la Puna NO Argentino. 2009](#)
- [Ahumada, Paez y Palacios. Los Glaciares de Escombros en la Alta Cuenca el Río Andalgalá, SE de la Sierra del Aconquija, Catamarca 2011.](#)
- [Ahumada, Ibañez y Paez. Glaciares de Escombros Sierra Santa Victoria. 2011.](#)
- [Arenson, L & Jacob, M. A new GIS based Mountain Permafrost Distribution Model. 2010](#)
- [Arenson & Pastore. Periglacial Investigations ... South American Perspective. 2011.](#)
- [Arenson, Pastore, Trombotto. Characteristics of Two Rock Glaciers in the Dry Argentinean Andes \(on El Pachon\)](#)
- [Azocar & Brenning. Intervenciones de Glaciares Rocosos en Minera Los Pelambres, Chile](#)
- [Bahr, D & Radic, V. Significant Total Mass Contained in Small Glaciers. 2012.](#)
- Barsch, Dietrich. Rock Glaciers: Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments. Springer. 1996.
- Benn, D I. and Evans, David J.A. Glaciers and Glaciation. Arnold. 1998
- Bodin X, Rojas F, & Brenning A. Status and Evolution of the Cryosphere in the Andes of Santiago Chile.
- [Borquez, Larraín, Polanco y Urquidi, Glaciares Chilenos: Reservas Estratégicas de Agua Dulce.](#) Eds. Larraín y Schauenburg. Chile Sustentable. LOM Ediciones. 2006.
- Brenning & Azocar. Minería y Glaciares Rocosos: Impactos Ambientales, Antecedentes Políticos y Legales, Perspectivas Futuras
- [Caine, N. Recent Hydrological Change in a Colorado Alpine Basin: ... Permafrost](#)
- Carey, Mark. In the Shadow of Meeting Glaciers: Climate Change and Andean Society. Oxford University Press. 2010.
- Corte, Arturo E. Geocriología: El Frio en la Tierra. Ediciones Culturales de Mendoza. 1983.
- Espizua, Lidia E. [Ambiente y procesos glaciales en Lama-Veladero](#), San Juan Argentina. 2006
- [Fauqué & Azcurra. Condiciones Periglaciales ... Aconquija, Catamarca. 2009](#)
- [Francou, B. Montaña y Glaciares, 2011](#)
- French, Hugh M. The Periglacial Environment. 3<sup>rd</sup> Edition. Wiley. 2008
- [Gascoin et.al. Glacier Contribution to Streamflow \(Huasco River\) \(2011\)](#)
- Gruber S. Derivation and Analysis ... global permafrost zoning. 2012.
- Higuchi, K. Nepal-Japan Cooperation in Research on Glaciers and Climate of the Nepal Himalayas (inquire to: [glaciares@cedha.org.ar](mailto:glaciares@cedha.org.ar))
- Humlum. The Climate and Palaeoclimatic Significance of Rock Glaciers. 2010.
- Humlum. Geomorphic Significance of Rock Glaciers: Rock Glacier Debris Volume ... (inquire to: [glaciares@cedha.org.ar](mailto:glaciares@cedha.org.ar))
- [Iribarren Anacona, PR. Glaciares Rocosos en el Semiarido Chileno.](#) Su Significado Climático y Geomorfológico. Análisis de Caso: Cuenca Superior del Río la Laguna. Universidad de Chile. 2008.
- [Kaab & Haeberli. Mapping of Rock Glaciers w/Optical Satellite Imagery](#)
- [Kaab. Rock Glaciers and Protalus Forms](#)
- [Kumtor Commission Report](#)
- Lliboutry, L. Nieves y Glaciares de Chile: Fundamentos de la Glaciología. Ediciones de la Universidad de Chile. Santiago. 1956
- Milana, JP. Hielo y Desierto: Los Glaciares Áridos de San Juan. Elite Ediciones. 2010.
- [Milana, JP. Predicción de Caudales de Ríos Alimentados por Deshielo](#)

- Owen & England. Observation of Rock Glaciers in the Himalayas and Karakoram. (inquire to: [glaciares@cedha.org.ar](mailto:glaciares@cedha.org.ar))
- Paul F, Kaab A, Haeberli W. Mapping of Rock Glaciers with Optical Satellite Imagery.
- [Perucca, L. Esper M, & Martos L. Inventario de Glaciares de Escombros en el Area del Proyecto del Carmen, Andes Aridos de San Juan](#)
- [Picolotti, Juan M. La actividad minera y la protección de los Glaciares en la República Argentina](#)
- [Rabatel et.al. Glacier changes in the Pascua-Lama region, Chilean Andes \(29° S\): recent mass-balance and 50-year surface-area variations](#)
- [Robinson & Dea. Quaternary Glacial and Slope Failure Deposits of the Crested Butte. Area ... Robinson & Dea 1981.](#)
- Romanovsky V. et.al. Frozen Ground.
- Ruiz L & Trombotto D. Descubrimiento de Glaciares de Escombros Fósiles ... Chubit.
- [Taillant, JD \(CEDHA\). A Definition of the Glaciosystem - English \(Spanish\)](#)
- [Taillant, JD \(CEDHA\). Impact to Rock Glaciers and Periglacial Environments by Los Azules \(Minera Andes\)](#)
- [Taillant, JD \(CEDHA\). Impacts to Rock Glaciers and Periglacial Environments by the Filo Colorado \(Xstrata\) and Agua Rica \(Yamana Gold\) Projects \(5.6mg\)](#)
- [Taillant, JD \(for Rio +20\) The Human Right ... to Glaciers?](#)
- [Taillant, JD. \(CEDHA\). Impact to Glaciers by El Pachon \(Xstrata\) - \(English\) \(Spanish\)](#)
- [Taillant, JD. \(CEDHA\). Preliminary Report: Glaciers, Rock Glaciers and Permafrost in the Del Carmen \(Malbex of Canadá\) Project Area, San Juan Argentina \(CEDHA\)](#)
- Trombotto, D. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. *In* Revista do Instituto Geológico, Sao Paulo. 21. (1/2), 33-55, 2000.
- [Trombotto & Borzotta. Indicators Global Warming - Rock Glaciers Central Andes. 2008](#)
- [Vatican. Report by the Vatican on the Melting of Glaciers in the Anthropocene](#)
- [Vick. Morphology... Rock Glaciers - Mosquito Range - Colorado \(USA\) \(1981\)](#)
- [Vivero Andrade. Inventario Glaciares Cuenca del Copiapo \(Chile\) \(2008\)](#)

#### Otras Referencias sobre Glaciares

- [Política Nacional de Glaciares \(Chile\)](#)  
[Precisiones acerca de Política Nacional de Glaciares](#)
- Capacitación/Capacity Building  
[Training on Glaciers - Legal and Social Aspects \(UNEP Course\)](#)
- [Global Map Permafrost - TCD](#)
- [UNEP Report – “Ice and Snow” – 2007](#)
- [CONAMA 2008 – Política de Glaciares de Chile](#)
- [Glaciares de Argentina \(IANIGLA\)](#)
- [Nuestros Glaciares \(Provincia de San Juan\)](#)
- [World Bank on Glacier Water Use by Communities](#)
- [Fallo Galvez Glaciares San Juan](#)
- [UICN: Publication on Glacier Legal Framework \(2.7mg\)](#)
- [Nota period-Los GI-Un recurso renovable](#)
- [Mining Destruction of Glaciers](#)  
[Climate Impact to Andean Glaciers](#)