



Gobierno Regional de Atacama



Universidad de Atacama

Informe Final Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-FNDR 2014)

Universidad de Atacama

**“INVENTARIO DE GLACIARES, AMBIENTE PERIGLACIAL Y OTRAS
RESERVAS HÍDRICAS CRIOSFÉRICAS DE LA III REGIÓN DE
ATACAMA Y ÁREAS BINACIONALES, PARA DETERMINAR NUEVAS
FUENTES DE AGUA.”**

FIC-1401

Período de Evaluación: (18/11/2014 al 30/06/2016)

Fecha de Presentación del Informe: 10/08/2016



ÍNDICE

PÁG

1	Resumen ejecutivo del proyecto.....	3
2	Contexto y justificación del proyecto.....	5
3	Estado de Avance del proyecto.....	7
3.1	Logro por objetivos del proyecto.....	7
3.2	Logro de los indicadores (indicadores de cumplimiento).....	58
3.3	Análisis cualitativo del avance de los indicadores.....	59
3.4	Resumen Ejecución financiera del Proyecto (\$ Nominales).....	60
3.5	Análisis de la Ejecución Financiera.....	63
3.6	Dificultades durante su ejecución (externas e internas).....	63
4	Hitos de difusión.....	63
4.1	Charlas y seminarios para el público interesado	63
4.2	Charlas científicas	63
4.3	Comunicaciones en la prensa	64
5	Desafíos futuros.....	69
6	Conclusiones.....	70
7	Anexos.....	71
7.1	Anexo 1: Tesis de Titulación (6)	71
7.2	Anexo 2: Publicaciones científicas	71
7.3	Anexo 3 Charlas	71
7.4	Anexo 4: Notas de Prensa	71
7.5	Anexo 5: Cortes de Prensa.....	71



1 Resumen Ejecutivo del Proyecto

En el presente proyecto, se pretendió definir de manera aproximada, las reservas hídricas en forma de cuerpos de hielo (criosféricas) en la Región de Atacama. Se entiende por “reserva” a los depósitos de hielo que se encuentran estables en el lugar de yacencia (que tienen más de 3 años de permanencia en donde se hallan). El presente proyecto comprende la evaluación de tres clases principales de cuerpos de hielos: A) los que se enmarcan en cuerpos glaciares (glaciares descubiertos, cubiertos y de rocas), B) los cuerpos de hielo que no son glaciares pero que presentan alguna expresión morfológica (crioformas: protalus, lobes, permafrost reptante, suelos poligonales, etc), y C) los cuerpos de hielo que no son morfológicamente visible (permafrost continuo y discontinuo).

Los reconocimientos se realizaron principalmente mediante una interpretación avanzada de imágenes satelitales de alta resolución. Para revelar los depósitos de hielo en áreas donde el mismo no sea morfológicamente visible, se utilizó y desarrolló modelos teóricos de la distribución de hielo en el suelo, y mediante los mapas generados se determinaron puntos de reconocimiento en el campo (con metodologías no invasivas como el muestreo geofísico de los sitios), con el fin aprobar la veracidad de los modelos teóricos. Finalmente, con los datos obtenidos de los segmentos principales de trabajo (a-glaciares, b-crioformas visibles, c-criósfera no evidente) se determinaron varios aspectos relevantes como la distribución espacial de los cuerpos criosféricos, su ubicación en relación de la altura, su vulnerabilidad en el contexto del cambio climático y su probable exposición a intervenciones antropológicas.

Se generaron modelos que apoyan una discusión científica que podría ser útil y necesaria en proyectos que conducen a generar un marco legal respecto a la hidrósfera y criósfera. De gran interés era la cuantificación de recursos nivales en el sector de estudio. Como cada año tiene su dinámica propia, se realizó un análisis semanal de la situación nival en Atacama. Las cifras son útiles para definir probables recursos hídricos disponibles a base de la nieve estacional.

Finalmente, durante el proyecto se trabajó en las cuatro cuencas, ubicadas en la Región Atacama:

Cuenca Alto Andina
Cuenca Río Salado
Cuenca Río Copiapó
Cuenca Río Huasco

Se diferenció y clasificó en cada cuenca las siguientes crioformas:



- A) Glaciar descubierto
- B) Glaciar cubierto
- C) “Permafrost” que incluye:
 - C-1) Glaciar de Roca
 - C-2) Lóbulos de Talu
 - C-3) Laderas de criofluxión
- D) La distribución de la nieve estacional entre 2000 a 2015

Se calculó las reservas y los recursos hídricos probables de cada cuenca. Los reconocimientos se realizaron a base de imágenes satelitales MODIS (o Landsat (8) con informaciones a partir del año 2000. Los modelos numéricos y la interpretación de los datos tienen que tomar en cuenta los fenómenos o procesos como sublimación, evaporación, descongelación y escurrimiento.

Resumiendo, en forma generalizada se clasificó los glaciares, el permafrost y el recurso nival como reserva probable de recursos hídricos. Limitantes del uso de esta reserva son de índole técnica, ambiental y legislativa. El proyecto clasificó y diferenció las reservas, generando un catastro de factibilidad de aprovechamiento de estos recursos, poniendo en énfasis las limitantes anteriormente mencionadas.



2 Contexto y justificación del proyecto

La Región de Atacama se ubica en un área de clima desértico – sub-desértico, en conjunto con el aumento de las actividades económicas, especialmente las actividades en la minería se observa un aumento significativo en la densidad poblacional de la zona. La necesidad de contar con una disponibilidad suficiente en agua potable es un criterio importante en la factibilidad de un desarrollo económico y humano de la Región de Atacama. A parte de formas convencionales (pozos) o no tradicionales como la desalinización, se pretendió investigar y evaluar el rol de la criósfera en la región de Atacama, especialmente los recursos y reservas posibles en ella.

Las sucesivas crisis hídricas que ha sufrido la Región de Atacama en los últimos años determinan la necesidad urgente de conocer mejor los recursos hídricos reales y existentes en la región con el fin de generar políticas de estado acorde a la distribución de las reservas hídricas aprovechables.

Aplicando la Estratégica Regional de Atacama (ERDA), definida por el Gobierno Regional, se encuentra como primera prioridad (Eje No. 1) actuaciones que mejoran la disponibilidad de recursos hídricos en la Región. Los tres lineamientos serán: Uso eficiente, incorporación de nuevas fuentes y mejora de la calidad del agua. En este proyecto se propone acciones ligadas al segundo punto: La incorporación de fuentes nuevas.

El sector de la cordillera de los Andes entre 26° Lat. S hasta 29° Lat.S es un ecosistema no común, con su dinámica propia, que merece de un estudio profundo con el objetivo de conocer su vulnerabilidad. Por eso, el paso inicial en cualquier estudio ambiental, es definir la Línea Base y generar un inventario de glaciares, crioformas y la situación nival. Sin embargo, la capacidad hídrica de estas crioformas es variable por lo cual se estudiará la relación entre las mismas y la provisión hídrica. También se pretende definir la importancia verdadera del permafrost y generar un modelo que permita predecir su presencia y validar su precisión con estudios de campo. Finalmente, y entendiendo que el recurso nival es el germen inicial criosférico, se pretende hacer un relevamiento retrospectivo de las precipitaciones nivales en toda la región, y mediante modelos de redes neuronales que en otras cuencas tienen una precisión de entre el 4-5%, generar modelos de escorrentía predictivos para diferentes coberturas nivales con el fin de hacer más eficiente el uso del agua durante la temporada de su utilización. Cabe mencionar que por las condiciones climáticas y la altura de la cordillera de los Andes en el sector de estudio las transiciones entre recurso nival, recurso hídrico y permafrost tienen su propia dinámica, especialmente por la alta tasa de sublimación.

Hay que indicar que la existencia de glaciares en regiones áridas no es común. Atacama es una de las pocas regiones geográficas donde se puede observar este fenómeno. A parte de la dinámica general de un glaciar, se puede agregar factores especiales debido a la altura extrema y el clima extremo que se presenta en estas regiones. Los procesos de sublimación, descongelamiento y probablemente el comportamiento interno son diferentes a comparación de glaciares en regiones polares.



Figura 1: Procesos entre criósfera e hidrosfera, especialmente sus transiciones entre si.

Para la Universidad de Atacama, como institución pública con sello regional es de alta importancia investigar temas de la Región. Especialmente temas de alta importancia que involucran un probable avance en un futuro desarrollo de la Región. Además, se pretende formar grupos de investigadores potentes, con el objetivo de asegurar "Atacama" como centro de investigación en algunos temas relevantes para la zona.



3 Estado de Avance del Proyecto

3.1 Logro por Objetivos del Proyecto

Objetivo General del proyecto:

Identificación, caracterización y monitoreo inicial de glaciares y crioformas, que actúan como reservas hídricas estratégicas en la III Región de Atacama y de los mecanismos de transferencia sólido-líquido a las cuencas hídricas aportantes. Se prestará un énfasis particular a las zonas de tratado binacionales entre la Región de Atacama y La Rioja, Catamarca y San Juan. Además de definir una línea base hídrico-criosférica, se pretende establecer también, los factores ambientales que regulan su comportamiento, determinar la significancia hidrológica de Inventario de glaciares y crioformas de Cuenca de la región y sus cuencas endorreicas asociadas.

- **Objetivo Específico 1:** Entregar a la comunidad un inventario de glaciares y crioformas del sector cordillerano entre 26°S y 29° Lat.S. Generar inventario de glaciares y crioformas de la Cuenca Chañaral, incluyendo cuencas endorreicas asociadas, de la cuenca del río Copiapó y del río Huasco. Se pretende cubrir el sector cordillerano entre 26°S y 29°S.

Hitos asociados a objetivo específico 1				
Descripción de Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditables
1. Compra de equipos: Adquisición de equipos asociados a la realización del proyecto	Diciembre de 2014 a mayo 2016	Diciembre de 2014 a mayo 2016	Si	-Órdenes de compra -Facturas -Existencia física de equipo: Computadores Georadar Estaciones meteorológicas Departamento de Geología. -Inventario oficial de la Universidad de Atacama
2. Reconocimiento foto aéreas, imágenes satelitales, búsqueda de antecedentes.	Diciembre 2014 a junio 2015	Diciembre de 2014 a agosto 2015	Si	Datos bajados, publicación, tesis.



Hitos asociados a objetivo específico 1				
Descripción de Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditables
3. Visitas a terreno a los lugares preelegidos, generación de un plan de visitas por prioridad, mapeo litológico y de las estructuras crioformas.	Diciembre 2014 – Enero 2016	Marzo 2015 – enero 2016	Si	Evidencias de terreno (cortometraje) Viáticos de la UDA
4. Modelamiento de los sectores anteriormente estudiados. Estudios geofísicos con “Georadar, Radar de penetración Terrestre” en sectores anteriormente definidos.	Diciembre 2014 a junio 2015	Diciembre 2014 a septiembre 2015	Si	Existencia de los datos modelados en las publicaciones y las tesis de los participantes

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 1:

Hito 1.1. Compra de equipos e instalación física del laboratorio

Para cumplir con el primer objetivo específico se habilitó una sala de “Inventario de Glaciares” en el Departamento de Geología. La sala albergó a los 6 participantes permanentes más los científicos visitantes. Además, se instaló en la sala los computadores y los equipos científicos comprados. En la sala se realizaron los talleres y las reuniones respectivamente.

La descarga de los datos (imágenes satelitales) se realizó con apoyo de la Unidad de computación de la Universidad de Atacama. Como se trata de grandes cantidades de datos estas descargas superaron extremadamente el tráfico de datos normales. Con el objetivo de minimizar errores se habilitó un servidor en forma preferente para los datos requeridos.

MODIS:

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Es un espectrorradiómetro que captura 36 bandas de medición de radiación, captando frecuencia de luz visible e infrarroja, esta información deriva en distintos productos, entre ellos la cobertura nival, cuenta con una resolución temporal diaria, y una resolución espacial entre 250 metros y 1000 metros por celda o pixel (NASA, 2015).



Características de MODIS:

Rango espectral:	20 bandas dentro de 0,4 a 3,0 micras; 16 bandas dentro de 3 a 14,5 micras
Ancho cobertura:	2.300 kilómetros a 110° ($\pm 55^\circ$)
Longitud cobertura:	Cubre la superficie de la tierra en 1 día
Resolución espacial:	250 m, 500 m, y 1 km
Potencia:	162,5 W (promedio), 225 W (máximo)
Velocidad de datos:	6.2 Mbps (promedio), 10,5 Mbps (durante el día), 3.2 Mbps (nocturna)
Instrumento Nadir IFOV:	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1.000 m (29 bandas)

Adquisición de un georadar:



Figura 2: Equipo Georadar



Hito 1.2. Reconocimiento mediante foto aéreas, imágenes satelitales, búsqueda de antecedentes.

En primer lugar se clasificó los tipos de criósfera, incluyendo la nieve estacional como objetivo de análisis multiespectral. Los tipos de la criósfera que se diferenciaron en este estudio son:

Glaciar descubierto (GD):

Para este proyecto se consideraron dos tipos de glaciares descubiertos presentes en esta región. Primero, los glaciares propiamente tal, que se define como un cuerpo de hielo formado a partir de la recristalización de nieve, cuya vida es al menos comparable a la del ser humano y de suficiente tamaño como para desarrollar un movimiento perceptible, y en el cual se identifica una región donde domina la acumulación y otra donde domina la ablación. Segundo, los glaciares reservorios glaciaretes, o “glaciar reservoirs”, hay numerosos cuerpos de hielo estables que debido a su falta de comportamiento dinámico glaciar, no son referidos como “glaciares” en muchas clasificaciones.

Como se explica en el ítem de geomorfología, Lliboutry (1958) utilizó en Chile el nombre de reservorios glaciales (“glaciar reservoirs”), pero en la mayoría de los textos modernos locales se les denomina con el nombre de “glaciaretes”. Los glaciares reservorios constituyen importantes reservas hídricas, dado que su área acumulada suele superar la de los glaciares propiamente dichos, y dado que son más pequeños suelen ensuciarse más en años poco nevados por lo que su desgaste acelerado es fundamental para contrarrestar los efectos hídricos negativos de la escasez de nieve estacional.

Glaciar Cubierto (GC):

Son cuerpos de hielo masivo que derivan de un glaciar descubierto, con una cubierta detrítica externa. Se diferencian del hielo de permafrost debido a que este último se encuentra intermezclado con detrito. Estas cubiertas detríticas se desarrollan en las áreas de ablación y pueden llegar a formar cuerpos muy extensos, que se caracterizan por morfologías de Termokarst (Milana, 2005). Las características del termokarst son una consecuencia de la profundización de la capa activa y el deshielo de la parte superior del permafrost.

Permafrost:

Además de los cuerpos criosféricos delimitados que se han mencionado, se delimitaron geoformas que contienen permafrost en su estructura, que según Milana (2005) es el suelo independientemente de su composición que se mantiene congelado por al menos dos años consecutivos. Nótese que “congelado” implica una proporción de agua al estado sólido, prefiriéndose esta definición a la de tipo térmica en que tiene incidencia



hídrica y es un tipo de suelo detectable mediante técnicas geofísicas, mientras que el suelo por debajo de 0°C pero seco, no. Debido a la estacionalidad del clima, la parte superior que se descongela durante la estación más cálida, se le denomina capa activa. Para estos cuerpos criosféricos que contienen permafrost se delimitaron las siguientes crioformas: glaciares de roca, protalus lobe y laderas de criofluxión.

Glaciar de Roca (GR):

Los glaciares de roca son unidades geomorfológicas y geocriogénicas (debido a que están asociadas a hielo), caracterizadas por presentar estructuras fluidales y un frente distintivo. Estos cuerpos fluyen ladera abajo por la deformación plástica, debido a que internamente tienen un núcleo de permafrost. También se les denomina “permafrost de montaña”, concepto que da lugar a confusiones ya que el permafrost es un término más amplio y a veces conflictivo, ya hay mucho permafrost de montaña que no evoluciona o forma glaciares de roca. Hay muchas variedades de glaciares de roca en función de su forma y génesis, y su actividad es evaluada en función de la inclinación de su frente. Los Glaciares de Roca se diferencian de las geoformas asociadas a permafrost (protalus lobe y laderas de criofluxión) debido a que los últimos son de mucho menos relieve. Las clasificaciones genéticas de estos cuerpos los separan en glaciares de roca glacigénicos y criogénicos (Corte, 1976). Esto significa que si bien pueden originarse de la transformación de glaciares normales (glacigénico) o de la acumulación de avalanchas o flujos de roca y nieve (criogénicos), su morfología final es similar, pero no su estructura interna tal como se ha definido en la Zona del Elqui para ambos tipos genéticos de glaciares de roca (Milana y Guell, 2008). Hay varias otras clasificaciones morfológicas, utilizándose aquí una clasificación simple que los califica en glaciares de roca de valle, de circo y de talud, según su ubicación.

Lóbulo de Talud (PL):

Éstos se crean por la lenta reptación de la superficie del suelo por efecto de la gravedad. Tal reptación es posible debido a la plasticidad que da el hielo al suelo, permitiendo el flujo del mismo, como un manto de alta viscosidad. Éste, al ser detenido por un cambio de pendiente, se apila formando arrugas. Si este flujo ocurre durante un tiempo significativo, al pie de las laderas se pueden formar los lóbulos de talud (protalus lobe), que son muy frecuentes en nuestra cordillera árida (Milana, 2010). Los protalus lobe, generalmente se encuentran localizados lejos del hielo glaciar, es generalmente aceptado que son de origen no glaciar, aunque el hielo podría ser originado por bancos de nieve y luego enterrarse por detritos desde los acantilados de arriba (Whalley & Azizi, 2003).

Ladera de Criofluxión (LC):

Se caracterizan por tener por la formación de “arrugas” en el suelo, producidas por la reptación de los suelos congelados, es la formación de terracillas como resultados de estas arrugas. Las mismas suelen tener un espaciamiento bastante regular, que depende



de la pendiente en la que se encuentran. Por la pendiente y tipo de detrito que hay en ellas, estas laderas no podrían retener agua tal como lo hace un acuífero, pero sí son extremadamente adecuadas para retenerla en su fase sólida, como hielo, e ir liberándola, a medida que el calor del verano funde este hielo (Milana, 2010).

Además, en forma separada se analizó la magnitud de presencia de nieve estacional en la Región de Atacama. Como es un proceso muy dinámico se analizó imágenes satelitales entre el año 2000 a 2015 en forma semanal. Hay que indicar que la cantidad de datos necesarios para este proceso superó la capacidad de un procesamiento normal. Se manifiesta que la nieve estacional es un recurso renovable, que normalmente en ciclos anuales se renueva. Por ende, la nieve se puede clasificar como RECURSO hídrico.

Hito 1.3. Visitas a terreno a los lugares preelegidos, generación de un plan de visitas por prioridad, mapeo litológico y de las crioformas.

Durante la ejecución se realizó varias salidas a terreno, especialmente al sector Tres Cruces y Quebrada Montosa – Cerro Potro. El objetivo de las salidas a terreno era obtener una visión directa de lo estudiado por metodologías de remote sensing. Además, se re-evaluó las observaciones y las conclusiones obtenidas con las imágenes satelitales.

Hay que mencionar que la situación climática en la Región de Atacama durante del año 2015 no permitió un desarrollo de este punto como se ha planificado inicialmente. Justamente el evento de altas precipitaciones e inundaciones en 25 de marzo de 2015, la destrucción de las mayores vías de acceso, la inestabilidad climática hasta los fines del año 2015 nos obligó enfocar el programa a métodos de remote sensing.

Salidas a terreno:

7.1. – 9.1. 2014:

Salida a terreno de reconocimiento:

La primera salida a terreno se realizó con el objetivo reconocer a los accesos y validar los permisos.

15.1. a 17.1. 2014:

Salida a terreno guiada por Sr. Dr. Juan Pablo Milana.

Participantes:

Sr. Ayón García, Srta. Catherine Medina, Sr. Juan Campos, Sr. Christopher Ulloa, Sr. José Espinoza y Sr. Gonzalo Amigo.



Recolección de datos, visualización del sector Maricunga – Tres Cruces.

23. 3. 2015:

Se inició una salida a terreno, planificada por varios días (6) pero por las condiciones climáticas, la salida fue interrumpida el 24 de marzo del 2015. Los participantes lograron volver a Copiapó en medio del inicio del aluvión.

31.3.2016 – 3.4. 2016

Salida: jueves 31 de marzo al domingo 3 de abril. Comprobación de inventario glaciar, lugar: Los Maranceles (Cuenca del Río Copiapó)

7.4.-9.4.2016

Salida: jueves 7 de abril al sábado 9 de abril. Comprobación de inventario glaciar Los Tronquitos (Cuenca del Río Copiapó)

14.4.2016 – 17.4.2016

Salida a terreno de 14 de abril al 17 de abril, comprobación de inventario, Volcán Copiapó y Nevado Tres Cruces (Cuencas Alto - Andinas)

12.5.2016:

Salida a terreno: jueves 12 de mayo adquisición de registro audiovisual para el documental y análisis de la situación nival.



Figura 3: Salida a terreno



Figura 4: Trabajos en terreno

Hito 1.4.: Modelamiento de los sectores anteriormente estudiados. Estudios geofísicos con “Georadar, Radar de penetración Terrestre” en sectores anteriormente definidos.

Modelación del permafrost en Atacama

En este trabajo, la delimitación de geoformas con presencia de hielo (permafrost), en relación al modelo teórico para predecir la presencia de permafrost desarrollado por Gruber (2012), obtiene que un 98,3% del total de área relevada coinciden con el modelo teórico. Al analizar en detalle los cuerpos, el modelo arroja valores bajos de probabilidad de ocurrencia a una gran cantidad de ellos. Las zonas de transición (coloración verde en el modelo de Gruber) donde el permafrost es dudoso se correlaciona con un 10,5% de las hectáreas de los cuerpos, y generalmente en condiciones favorables como en pendientes orientadas hacia el Sur. Las bajas probabilidades encontradas para una cantidad de cuerpos importantes, se pueden atribuir a la baja resolución espacial del modelo (1 km de pixel), a la utilización de modelos globales de temperatura que no siempre funcionan correctamente en estas latitudes con baja densidad de estaciones meteorológicas, o bien al factor de tiempo de respuesta de los sistemas criosféricos. En este sentido, es interesante mencionar que en los estudios de Schrott (1992) en el Paso Agua Negra, justo al sur de la región, se determinó la existencia de un “talik” que es una zona desconectada entre la capa activa y el permafrost, que indica que este último es relíctico.



La importancia de la correcta modelación de permafrost asociado a zonas áridas cobra gran relevancia, en el marco del cambio climático. Según Bolch (2006), con el documentado retroceso de los cuerpos glaciares, el hielo asociado a permafrost podría aumentar el futuro suministro de agua, y la fusión del hielo presente en el permafrost, podrían convertirse en una fuente cada vez más importante de agua dulce en estas regiones áridas de montaña. Esto tendría gran importancia para la región de Atacama donde se encuentra el desierto más seco del mundo (Clark, 2006).

Potencialidad hídrica de la criósfera de Atacama

En la mayor parte de los estudios de glaciares y permafrost en los Andes Centrales se calcula principalmente su volumen para estimar el contenido en agua equivalente. Conocer el dato volumétrico es relevante para conocer el total de reservas en forma de hielo en el marco del constante cambio climático. Este valor tiene un significado a largo plazo sobre el uso del agua proveniente desde estas reservas, sin embargo, la aplicación de ecuaciones calibradas para sistemas Alpinos (Chen y Ohmura, 1990) no es aplicable de manera directa para estos glaciares áridos, debido a las diferentes condiciones climáticas y topográficas. Sumado a esto, la escasez de datos instrumentales de las profundidades de los glaciares, no hacen comprobable la eficacia de las ecuaciones.

La metodología aplicada en esta memoria apunta a obtener un valor de productividad de la configuración actual de toda la criósfera en su conjunto en base a su extensión de área. Es difícil calcular con exactitud el valor de la contribución hídrica de la criósfera, sin embargo, Milana (2005) sugiere parámetros obtenidos del único lugar de la Región de Atacama con información meteorológica, fluviométrica y criosférica suficientemente detallada como para realizar estas estimaciones. Es importante destacar que los valores calculados por Milana son válidos únicamente para la cuenca donde fueron calculados ya que un glaciar descubierto no producirá lo mismo a los 5.000 m s.n.m. con una temperatura media anual de $-7,18^{\circ}\text{C}$, que a los 6.000 m s.n.m. con una temperatura media anual de $-15,63^{\circ}\text{C}$, sumado a las diferencias que genera la deriva latitudinal, que registra valores de humedad inferiores acercándose a la diagonal árida. Sin embargo con el fin de obtener una visión general del comportamiento hídrico de la criósfera en Atacama se extrapolaron los valores calculados.

Al utilizar los valores obtenidos por Milana (op. cit.), es interesante resaltar que si bien los glaciares descubiertos representan un 2% del área de los cuerpos criosféricos, aportan un 26% del caudal de base, mientras que las clases que representan *permafrost* como las laderas de crioflucción presentarían un rendimiento hídrico muy bajo; pero debido a su gran extensión de área (90% del total de la criósfera inventariada), representa un 61% para el total de aporte hídrico, superando a la productividad de los



GD. Los lóbulos de talud son una gran cantidad de cuerpos (2.160) pero su extensión en área es poca debido a su reducido tamaño, por lo que su aporte es bajo y solo representan un 3% del caudal de base total.

Según los resultados la cuenca con mayor productividad hídrica de la región de Atacama es el conjunto Altoandinas, es importante recalcar que éstas son las cuencas con mayor superficie sobre los 4.000 m s.n.m. (74% del área total), es decir, están asociadas a temperaturas muy bajas, esto podría originar una sobrevaloración de la productividad relativa calculada para los cuerpos.

La cuenca del Río Huasco tiene una gran cantidad de cuerpos de GR mientras que de GD tiene la menor área de las tres cuencas que se presentan en la cordillera principal, llegando a tener una productividad hídrica muy cercana para estas dos clases con valores que rodean a 500 l s^{-1} .

Resumen:

A pesar de la fuerte reducción de los recursos hídricos de GD y GR en el norte de la región, los PL y LC sobreviven mejor en estas condiciones más áridas. Los cuerpos de permafrost, parcialmente inspeccionados en terreno, son la principal reserva hídrica de este segmento hiperárido de los Andes. Estos cuerpos a pesar de tener baja eficiencia para la producción de agua (Milana, 2005), dado que son muy extensos en la región, son los más importantes para los ecosistemas locales, ya que dependen de la escasa agua presente en este, el desierto más seco del mundo.

El modelo de distribución teórica del *permafrost* desarrollado por Gruber (2012) arroja altos valores de coincidencia con el mapeo de cuerpos asociados a permafrost, donde el 98,3% de las hectáreas están dentro del modelo teórico, resultando de gran ayuda como una guía para la detección de estas reservas, sin embargo, debido a su baja resolución muchos cuerpos inventariados con morfologías asociadas a permafrost, en el modelo, entregaron una probabilidad de ocurrencia bastante baja donde el 10,5% de las hectáreas se encuentran en la probabilidad mínima de ocurrencia donde el permafrost es escaso o dudoso, por lo que se hace imperativo desarrollar modelos de alta resolución que permitan tener mayor certeza de donde están presentes estas importantes reservas hídricas. Todo esto con el fin de promover marcos de protección para esta importante fuente de recurso hídrico, que se encuentra comprometida climática y antrópicamente.



Objetivo Específico 2: Estimación de la cantidad del recurso hídrico criosférico de la región de Atacama, Chile y de los compartidos en zonas binacionales. En base al inventario de glaciares y crioformas de Cuenca de la región y sus cuencas endorreicas asociadas, y al modelado de la distribución de permafrost en la III región, se busca cuantificar la cantidad y calidad del recurso criosférico.

Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Análisis e interpretación de imágenes satelitales	Diciembre 2014 a junio 2015	Diciembre 2014 a agosto 2015	Si	Existencia de las cartas digitales de cada cuenca.
Uso de modelos matemáticos avanzados (Redes neuronales)	12/2014 – 6/2015	12/2014 – 9/2015	si	Capacitación en Redes neuronales y el uso de la metodología en los trabajos.
Discusión y publicación de datos relevantes para cada sector	12/2014 – 3/2016	12/2014 – 4/2016	si	Existencia de las publicaciones y las tesis de las personas

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 2:

Hito 2.1. Análisis e interpretación de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son una herramienta potente en el área de remote sensing. Las bandas multiespectrales permiten un análisis avanzado y profundo de la situación de la superficie. Multiespectral significa que un detector analiza cantidad de una banda (rango de frecuencia) especial y emite un valor de la intensidad. La combinación de tres bandas, traspasado al sistema RGB permite un análisis visual. Las limitaciones de la metodología son la resolución de cada pixel, la cantidad de bandas y la situación climática.

Para cada tipo de crioforma se definieron sus características específicas, obteniendo la selección del satélite y selección de bandas óptimas.

En concreto se analizaron varios parámetros de las crioformas presente en la Región de Atacama. Las crioformas consideradas:

- a) Glaciar cubierto
- b) Glaciar de roca
- c) Glaciar descubierto
- d) Ladera crioeflujo



e) Protalus lobe

De estos elementos detectados se analizaron varios parámetros:

- a) Ubicación geográfica exacta
- b) altura
- c) extensión
- d) orientación
- e) Inclinación

Con estos datos fue posible generar varios análisis estadísticos:

- a) Cantidad de crioforma en total
- b) Distribución latitudinal
- c) Distribución por altura
- d) Orientaciones preferidas

Finalmente se diferenció entre recursos y reservas criosféricas: Se entiende por **“reserva”** a los depósitos de hielo que se encuentran estables en el lugar donde yacen (con más de 3 años de permanencia). El presente informe comprende la evaluación de dos clases principales de cuerpos de hielos:

A) Los que se enmarcan en cuerpos glaciarios (glaciares descubiertos, cubiertos y de rocas).

B) Los cuerpos de hielo que no son glaciares pero que presentan alguna expresión macromorfológica en el terreno y por ello son factibles de reconocer en proceso de fotointerpretación (crioformas: protalus lobes, permafrost reptante, suelos poligonales, etc).

La nieve estacional actúa como **“recurso”** cuando se fusiona el mismo año en que precipita (es decir, tiene tiempos de permanencia de entre días y meses) donde una fracción se recrystaliza pasando a formar parte de una de las 2 primeras clases, esto se produce, durante años hídricamente más benignos, o sea con mayor precipitación nival (Milana, 2005). En años de poca precipitación o en fechas de máxima ablación, las reservas se pueden derretir parcialmente y generar recurso hídrico el cual es aportado a los cursos superficiales y subterráneos.

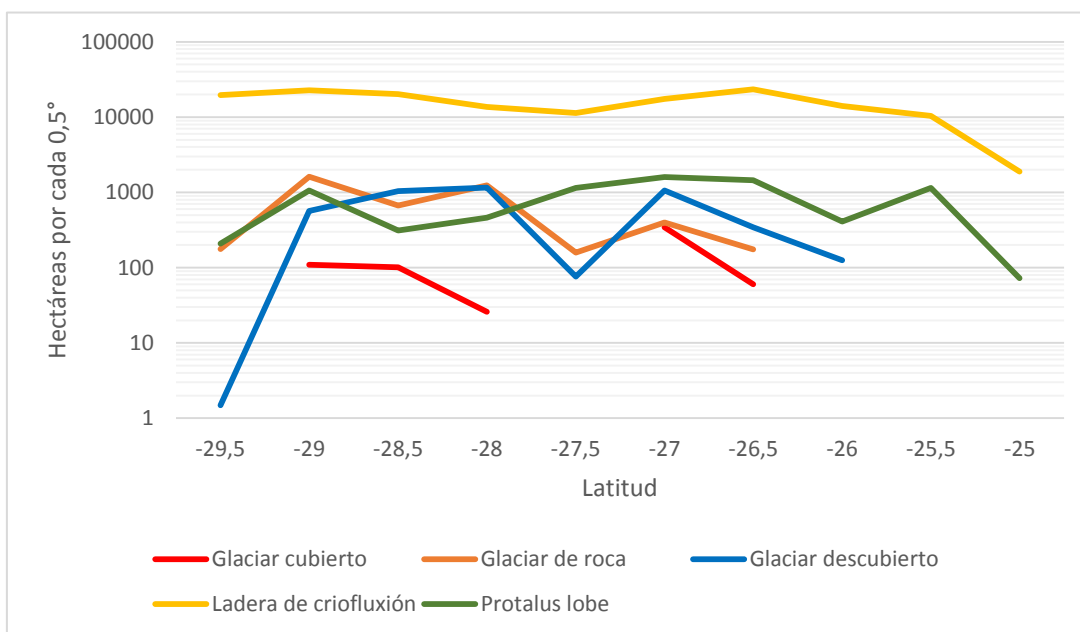


Figura 5: Distribución latitudinal del área de crioformas en la región de Atacama.

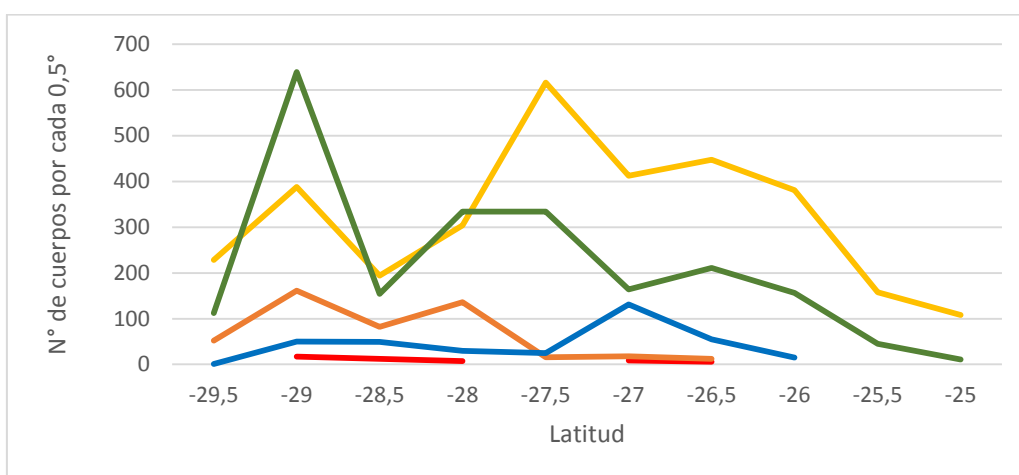


Figura 6. Variación latitudinal de la cantidad de cuerpos de crioformas por clase para la región de Atacama.

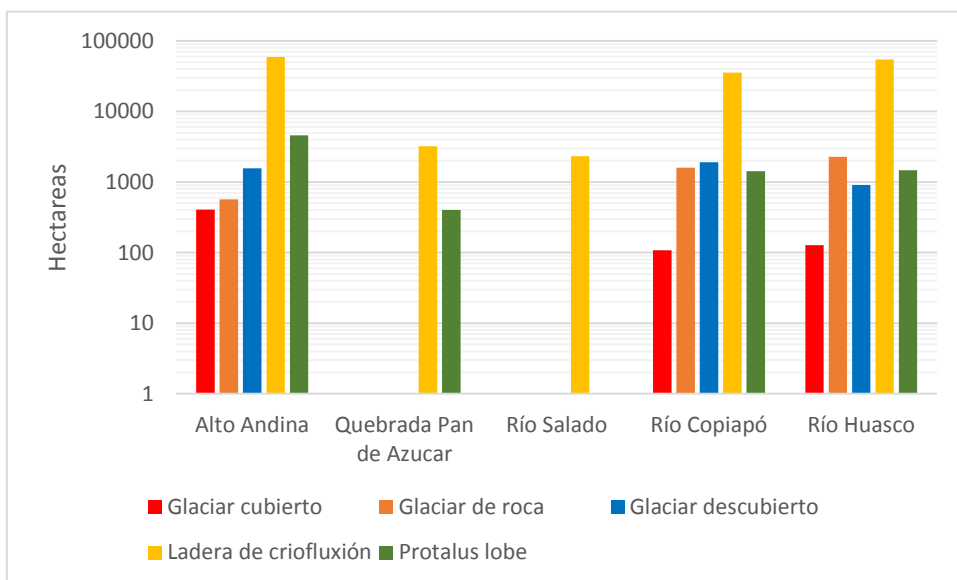


Figura 7: Distribución del área de crioformas por cuencas principales en la región de Atacama. (Elaboración propia).

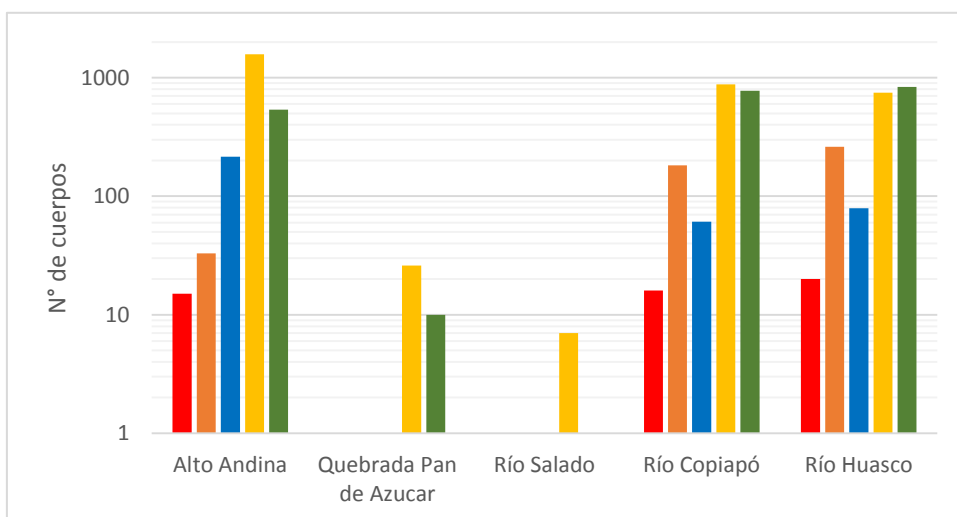


Figura 8: Cantidad de cuerpos de crioformas por cuencas principales de la región de Atacama (Código de color figura anterior). (4.1.)



Área y número de cuerpos

El sector sur del área de estudio entre los 28°S y hasta los 29°S, presenta la mayor concentración de área y cantidad de cuerpos de glaciares de roca, con una leve tendencia a la baja hacia los 29,5°, esto se podría deber a que este inventario solo alcanzó los 29°43' S. Al norte de los 28° la clase GR está marcada por una fuerte disminución en área y número de cuerpos, disminuyendo en un orden de magnitud ambos parámetros.

Los glaciares descubiertos se presentan continuos desde los 29°S hasta los 27°S con áreas sobre las 1000 ha, con una anomalía de solo 76 ha a los 27,5°S, en esta misma latitud existe una gran concentración de hielo descubierto del lado Argentino en el sector del Monte Pissis. En la latitud 27° S se observa una anomalía en la cantidad de cuerpos de GD causada por los múltiples cuerpos de tamaño medio y pequeño, por ejemplo, en el Nevado Ojos del Salado existen 40 cuerpos y en el Nevado Tres Cruces existen 55 cuerpos de glaciares descubiertos. En la cabecera del Río Copiapó, se encuentra ubicado el glaciar El Potro específicamente a los 28°22' S, este es el glaciar descubierto de mayor tamaño de toda el área de estudio, con aproximadamente 7 km². La cantidad de cuerpos y sus áreas tienden a disminuir hacia el sector septentrional de la región, llegando a desaparecer las clases GD, GC, GR, estas no se encuentran al norte de los 26,5°S y son reemplazadas por clases de permafrost como laderas de crioflucción y protalus lobe, es importante destacar que estas GD, GC y GR sólo se presentan en la Cordillera Principal. Por ende las cuencas de Río Salado y Quebrada Pan de Azúcar que tienen como máximas cumbres las pertenecientes a la Cordillera de Domeyko no presentan estas clases de cuerpos criosféricos.

Los cuerpos que se mantienen latitudinalmente a lo largo del área de estudio son las laderas de crioflucción y los protalus lobe. Existe una anomalía en la cantidad de cuerpos de PL a los 29°S que se puede explicar por las mayores pendientes que hay en el sector. Las LC también presentan una anomalía en la cantidad de cuerpos a los 27° con una tendencia a disminuir hacia el norte con el punto más bajo del área de estudio a los 25°, que pudo verse influenciado debido a que este inventario solo consideró hasta los 25,2° S. Sin embargo la tendencia general de la criósfera es a disminuir de sur a norte por el efecto de la diagonal árida sudamericana (Fig. 4.2 y 4.3). Agrupando los resultados en las cuencas principales, es posible apreciar que las cuencas Altoandinas, Copiapó y Huasco se comportan similarmente presentando las 5 clases estudiadas, mientras que las cuencas de río Salado y Pan de Azúcar solo presentan clases del tipo permafrost. Los GD presentan su mayor concentración en la Cuenca Copiapó con 1.906 ha, seguida por Altoandinas con 1.567 ha y finalmente por Huasco con 906 ha (Tabla 4.1). Los GC



presentan su mayor concentración de área en las cuencas Altoandinas con 404 ha seguidas por Huasco con 128 ha y finalmente Copiapó con 108 ha. Los GR tienen su mayor concentración en la cuenca de Huasco con 2.272 ha, seguida por Copiapó con 1.595 ha y finalmente con una cuarta parte del área de Huasco, están las cuencas Altoandinas con 565 ha (Tabla 4.2). Los PL presentan su mayor concentración en área en las cuencas Altoandinas con 4.538 ha seguido por Huasco y Copiapó con aprox. 1.400 ha, con un orden de magnitud menos que la cuenca Altoandinas esta finalmente la quebrada Pan de Azúcar con 400 ha. Las LC se presentan en mayor área en las cuencas Altoandinas con 59.252 ha, seguidas por Huasco con 54.292 ha, y Copiapó con 35.533 ha, finalmente con un orden de magnitud menos que las cuencas anteriores están Quebrada Pan de Azúcar con 3.194 ha, y el río Salado con 2.312 ha. (Fig. 4.4 y 4.5).

Rasgos altitudinales (hipsometría)

La criósfera de Atacama presenta una distribución normal como lo indica el histograma de frecuencias (Fig. 4.9) con una asimetría positiva y un sesgo hacia los valores más altos. La altitud regional promedio es de 4.659 +/- 42 m s.n.m., para un intervalo de confianza del 95%, presentando alturas entre 3.499,14 y 6.722,24 m s.n.m.

La clase de la criósfera que en promedio domina las cumbres de los Andes Centrales entre los 25°18'S y los 29°43'S son los glaciares descubiertos ubicados en promedio a 5.614,48 m s.n.m. siguiendo directamente por los glaciares cubiertos que en promedio tienen una altitud de 5.192,28 m s.n.m., en tercer lugar representando a las clases del permafrost tienen lugar las laderas de crioflucción que se encuentran a alturas promedio de 4.683,44 m s.n.m. En un promedio de 4.504,77 m (s.n.m.) se encuentran los cuerpos de *Protales lobe*. La clase criosférica con menores altitudes promedio fueron los glaciares de roca con 4.426,85 m s.n.m. En la Tabla 4.4 es posible obtener la totalidad de los datos entregados por el análisis estadístico.

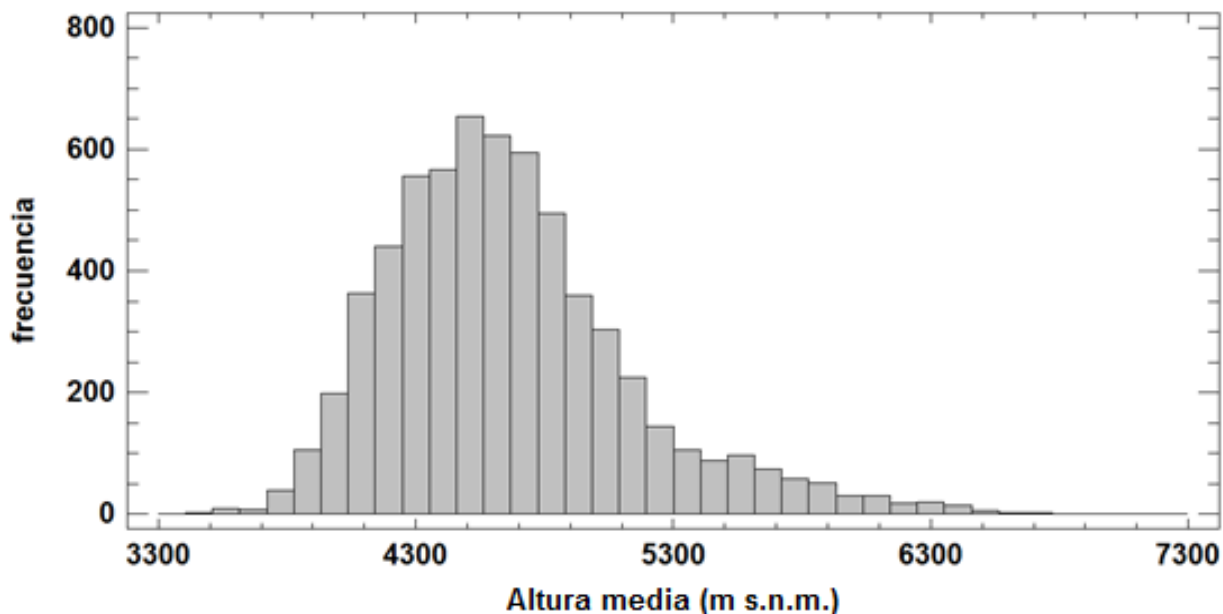


Figura 9: Histograma de frecuencia para altura media en m s.n.m., de los 6.280 cuerpos criosféricos relevados para la región de Atacama.

Cobertura nival en Atacama.

Para analizar las zonas de mayor acumulación nival concentradas en un año, se utilizaron imágenes diarias MODIS, las cuales se trataron matemáticamente basadas en las distintas áreas de cobertura nival concentradas en los puntos de mayor fusión nival mediante el modelo de degree day. Este mapa queda ilustrado en la figura 4.1-1, en el cual se observan dos mapas por año, el que se encuentra al lado izquierdo presenta la concentración de las distintas áreas por cada año para la región de atacama y el mapa presente en el lado derecho indica la cantidad de fusión existente en base a la cantidad de área cubierta de manto nival. El mapa presente en el lado izquierdo de cada año indica la concentración de manto nival siendo el 100% una permanencia de nieve durante todo el año, y 0% ausencia de manto nival durante el transcurso del año, donde observamos que existe una gran variabilidad en cada uno de los años, siendo el año 2002 el que presenta mayor permanencia de cobertura nival y el año 2014 una menor permanencia de cobertura nival, considerando los 15 años de estudios a partir del año 2000. El mapa presente en el lado derecho de cada mapa indica la fusión generada en base al área del manto nival, la cual se encuentra expresada en hectómetros cúbicos por pixel correspondiente a cada año. Estos mapas denotan una diferencia debido a la presencia de mayor aporte por fusión a cotas entre los 3400 a 5000 m.s.n.m, marcado además por una fusión en orden decreciente de su Sur a Norte en la Región de Atacama.

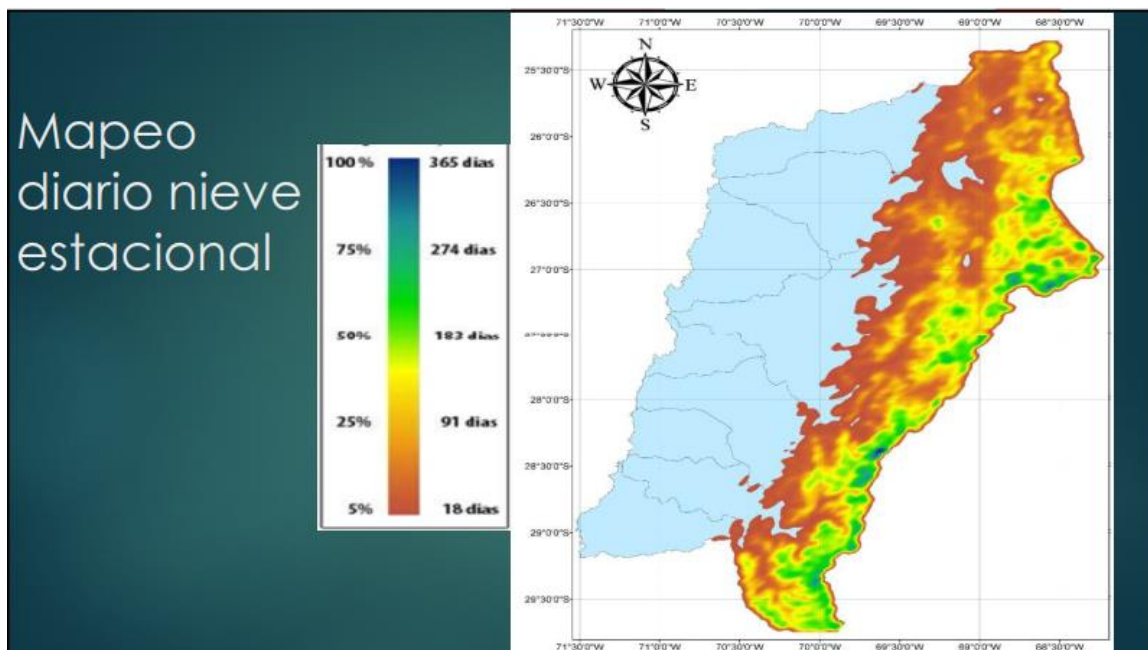


Figura 10: Mapeo diario nieve estacional: Cantidad de nieve presente estadísticamente en un sector.

2.2 Uso de modelos matemáticos avanzados (Redes neuronales)

La metodología de las redes neuronales artificiales tiene varias ventajas en comparación de principios o modelos matemáticos tradicionales. Las redes neuronales son sistemas que reaccionan mejor en ambientes y/o procesos no-lineales. Las características principales de “aprendizaje” son:

- El sistema puede generar nuevos enlaces o borrar enlaces
- El sistema puede cambiar la jerarquización de la información disponible
- Los valores de reacción pueden ser cambiadas
- El sistema mismo puede agregar o eliminar neuronas

Es decir, redes neuronales pueden adaptarse a ciertas características en forma independiente, son en cierta forma inmunes a errores – una tolerancia a fallas. Normalmente se aplican modelos con una etapa de aprendizaje y de auto-organización.

Un buen ejemplo son los programas modernos de OCR (Reconocimiento automático de caracteres). Estos programas se adaptan a la situación del escrito y tienen una fase de aprendizaje.



La complejidad de los datos usados no permite el uso de modelos matemáticos simples, lineales – se pretende generar datos o modelos que conducen a predicciones más confiables, donde modelos lineales son limitados.

Hito 2.3: Discusión y publicación de datos relevantes para cada sector

En esta sección se estiman los aportes hídricos de base en litros por segundo, para cada una de las cuencas principales, siguiendo los lineamientos metodológicos ya expuestos. Los resultados fueron: 3.983 l.s-1 para la cuenca Alto Andina, 3.161 l.s-1 para la cuenca río Copiapó, 3.471 l.s-1 para la cuenca río Huasco, 99 l.s-1 para la cuenca río Salado y 155 l.s-1 para la Quebrada Pan de Azúcar. Los GD tienen mayor aporte hídrico en la cuenca del río Copiapó con 1.220 l.s-1 y la cuenca con menor aporte dentro de las tienen hielo descubierto es Huasco con 580 l.s-1. Para el caso de los GR el mayor aporte hídrico se produce en Huasco 454 l.s-1, mientras que el menor se produce en las cuencas Altoandinas con 1.13 l.s-1. La cuenca con mayor aporte hídrico proveniente del permafrost es la Altoandina con 2.848 l.s-1, seguida por Huasco y finalmente Copiapó, las cuencas del río Salado y Quebrada Pan de Azúcar concentran los valores más bajos. En la Tabla 4.5 es posible obtener los aportes hídricos por clase y por cuenca con más detalle. La Figura 4.20 muestra el aporte hídrico (l.s-1) al caudal de base de las cuencas principales por cada tipo de cuerpo criosféricos estudiado.

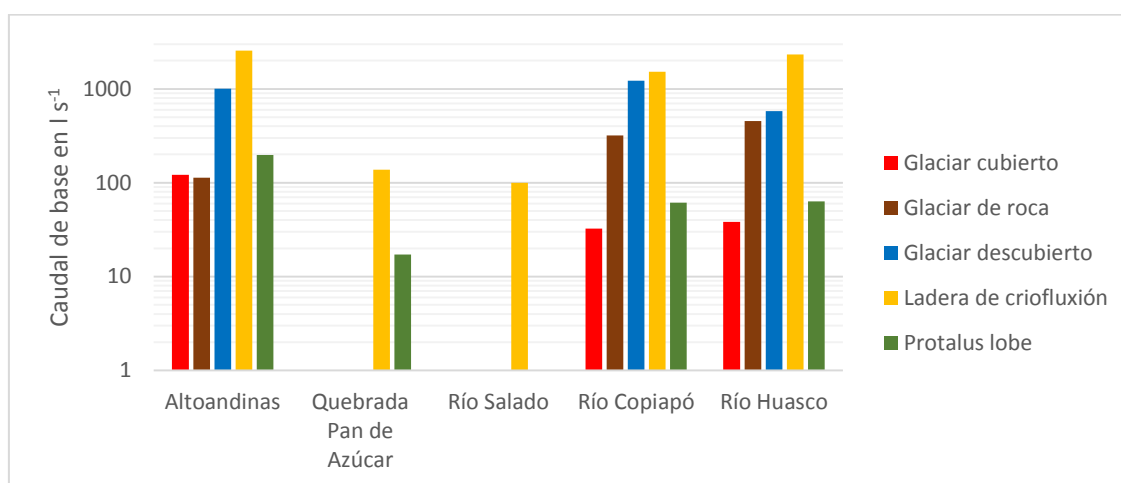


Fig. 11: Productividad hídrica en litros por segundo, por clase y por cuencas principales, eje y en escala logarítmica en base 10. (García, 2016)



Cuencas	Glaciar cubierto	Glaciar de roca	Glaciar descubierto	Ladera de criofluxión	Protalus lobe	Total general
Altoandinas	121	113	1003	2548	197	3.983
Quebrada Pan de Azúcar				137	17	155
Río Salado				99		99
Río Copiapó	33	319	1220	1528	61	3.161
Río Huasco	38	455	580	2335	63	3.471
Total general	192	887	2.804	6.647	339	10.869

Tabla x. Tabla con los valores de productividad hídrica obtenidos, por clase y por cuenca.

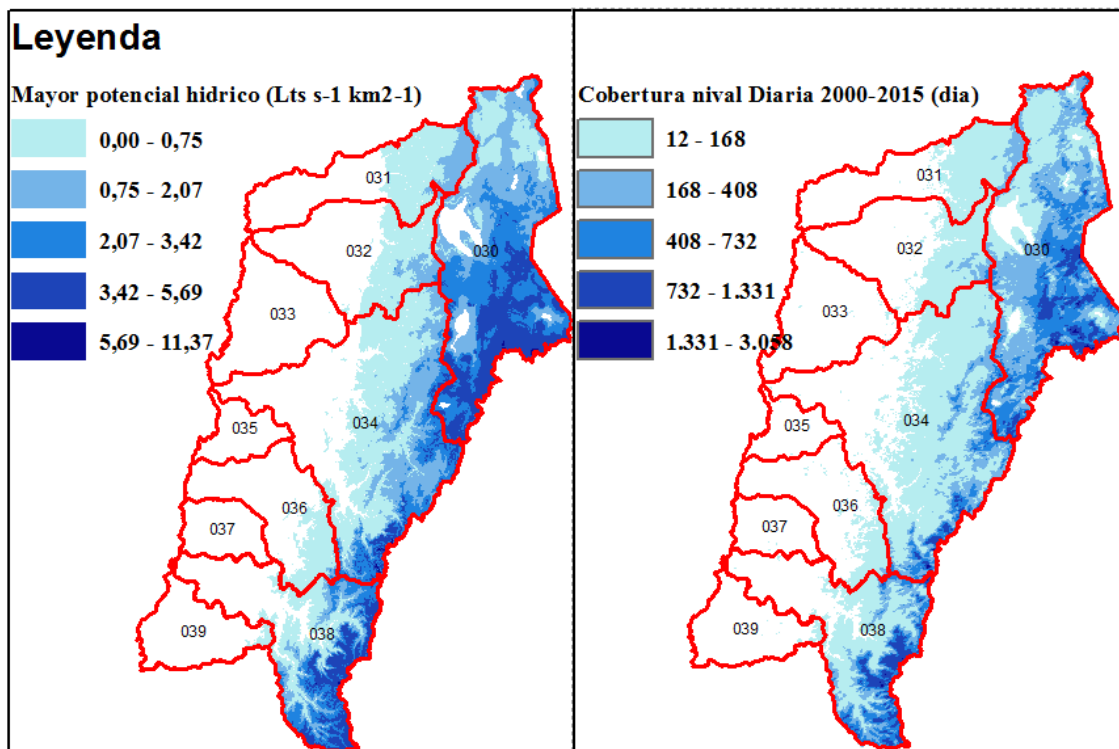


Figura 12: A la izquierda, Subcuencas con mayor productividad hídrica promedio, y a la derecha cobertura nival diaria. (José Espinoza)

Objetivo Específico 3: Identificación de posibles zonas de captación nival, diseño teórico de estaciones de captación y modelo experimental. Generar un modelo integral.

Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Análisis histórico de las precipitaciones navales con el fin de definir modelos de escorrentía en base a redes neuronales	12/2014 – 6/2014	12/2014 – 6/2014	si	Datos presentados en las publicaciones.



Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Posterior a la identificación de los potenciales sectores de captación nival, se realiza el diseño experimental de las estaciones de captación nival.	3/2015 – 12/2015	4/2015 – 12/2015	si	Publicación y tesis de titulación

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 3:

Como fue anteriormente mencionado la nieve se puede titular como RECURSO nival, de acuerdo que la nieve se renueva cíclicamente. Los procesos naturales, la acumulación de nieve, la sublimación, la fusión y finalmente la evaporación de agua recién generada por el proceso de descongelamiento son generalmente bien conocidos. Solamente hay que mencionar que en el sector estudiado se encuentra en una situación geográfica muy particular, debido a:

- a) La gran altura del área
- b) La presión atmosférica muy baja
- c) Temperaturas nocturnas muy bajas
- d) Insolación muy alta y muy frecuente, altamente energético
- e) La aridez en general
- f) La falta de vegetación
- g) La baja cantidad de humedad atmosférica

Estos factores están generalmente fuera del rango común respecto a áreas “normales” de nuestro globo terrestre. Como estos factores directamente influyen al sistema hielo – nieve – agua, se estima un comportamiento diferente a lo observado en regiones boreales o árticas.

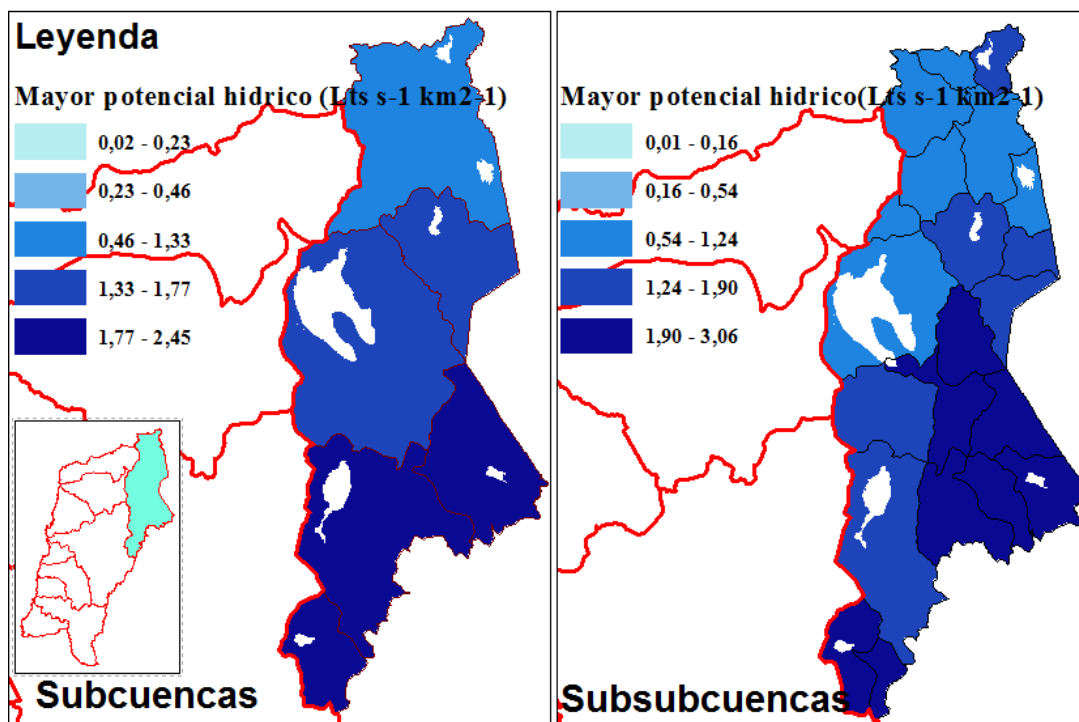


Figura 13: Productividad nival en diferentes cuencas y subcuencas de Atacama

3.2 Identificación de los potenciales sectores de captación nival, se realiza el diseño experimental de las estaciones de captación nival.



Figura 14: Situación nival en la cordillera de los Andes



Cobertura nival en Atacama.

Para analizar las zonas de mayor acumulación nival concentradas en un año, se utilizaron imágenes diarias MODIS, las cuales se trataron matemáticamente basadas en las distintas áreas de cobertura nival concentradas en los puntos de mayor fusión nival mediante el modelo de degree day. Este mapa queda ilustrado en la figura 4.1-1, en el cual se observan dos mapas por año, el que se encuentra al lado izquierdo presenta la concentración de las distintas áreas por cada año para la región de atacama y el mapa presente en el lado derecho indica la cantidad de fusión existente en base a la cantidad de área cubierta de manto nival. El mapa presente en el lado izquierdo de cada año indica la concentración de manto nival siendo el 100% una permanencia de nieve durante todo el año, y 0% ausencia de manto nival durante el transcurso del año, donde observamos que existe una gran variabilidad en cada uno de los años, siendo el año 2002 el que presenta mayor permanencia de cobertura nival y el año 2014 una menor permanencia de cobertura nival, considerando los 15 años de estudios a partir del año 2000. El mapa presente en el lado derecho de cada mapa indica la fusión generada en base al área del manto nival, la cual se encuentra expresada en hectómetros cúbicos por pixel correspondiente a cada año. Estos mapas denotan una diferencia debido a la presencia de mayor aporte por fusión a cotas entre los 3400 a 5000 m.s.n.m, marcado además por una fusión en orden decreciente de su Sur a Norte en la Región de Atacama.

La superficie total de la Región de Atacama desde la altura 2.000 m.s.n.m. hasta 6.900 m.s.n.m. es de aproximadamente 4.178.481 hectáreas, de los cuales, la cobertura nival promedio es solo de 275.239 hectáreas representando solo el 7% del total del área. En la figura se observa esta relación, entre área total de la región, y cobertura nival, además de eso, se muestra en una línea azul, el porcentaje cubierto de nieve de la superficie, superando el 60% del área de las cuencas cubiertas por la nieve a grandes alturas.

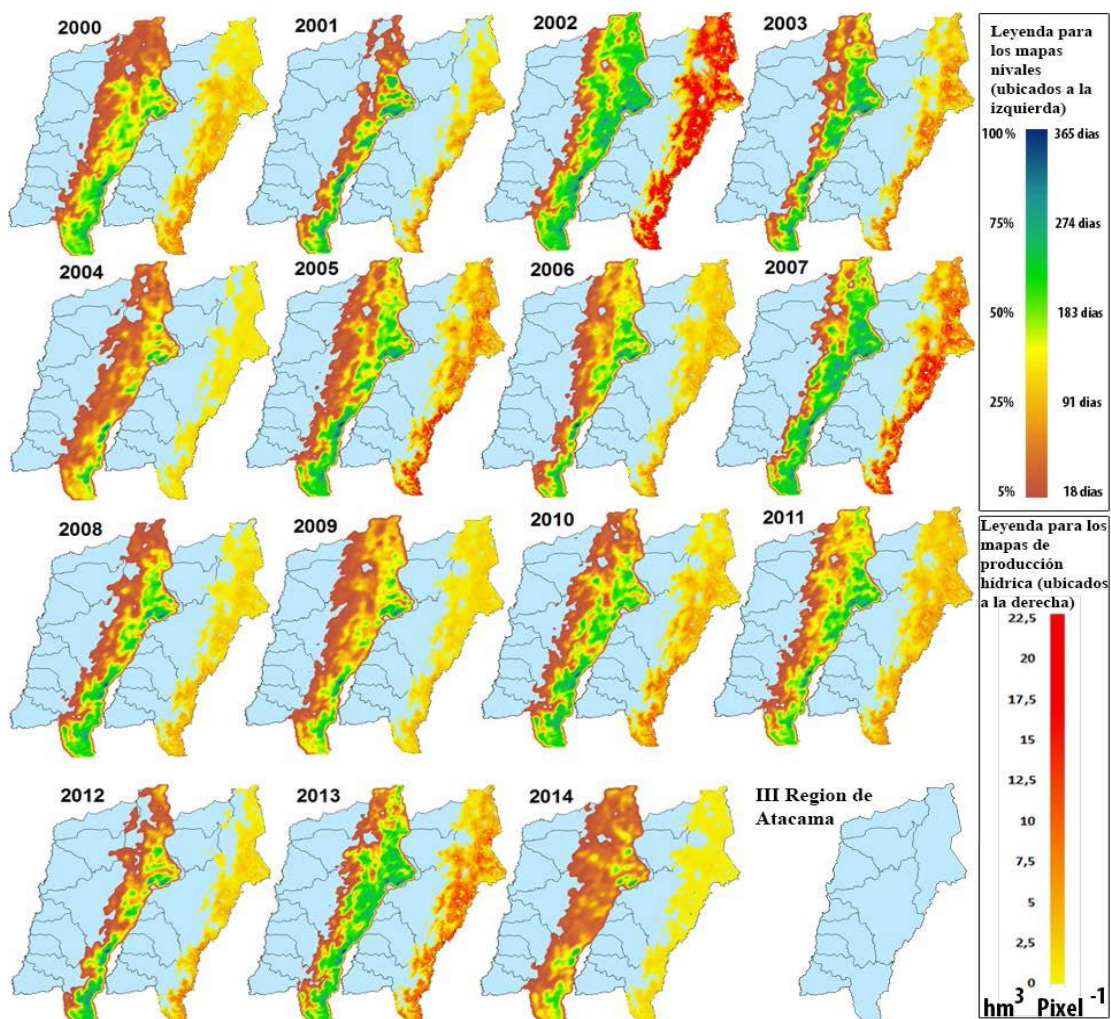


Figura 15: Mapas del manto nival (izquierda) y la de fusión de esté (derecha), para los años 2000 al 2014 (Figura 4.1.1, Espinoza, 2016)



Leyenda

Sub-subcuencas con mayor potencial hídrico (Lts s-1 km²-1)

2,11 - 2,18

2,18 - 2,50

2,50 - 3,06

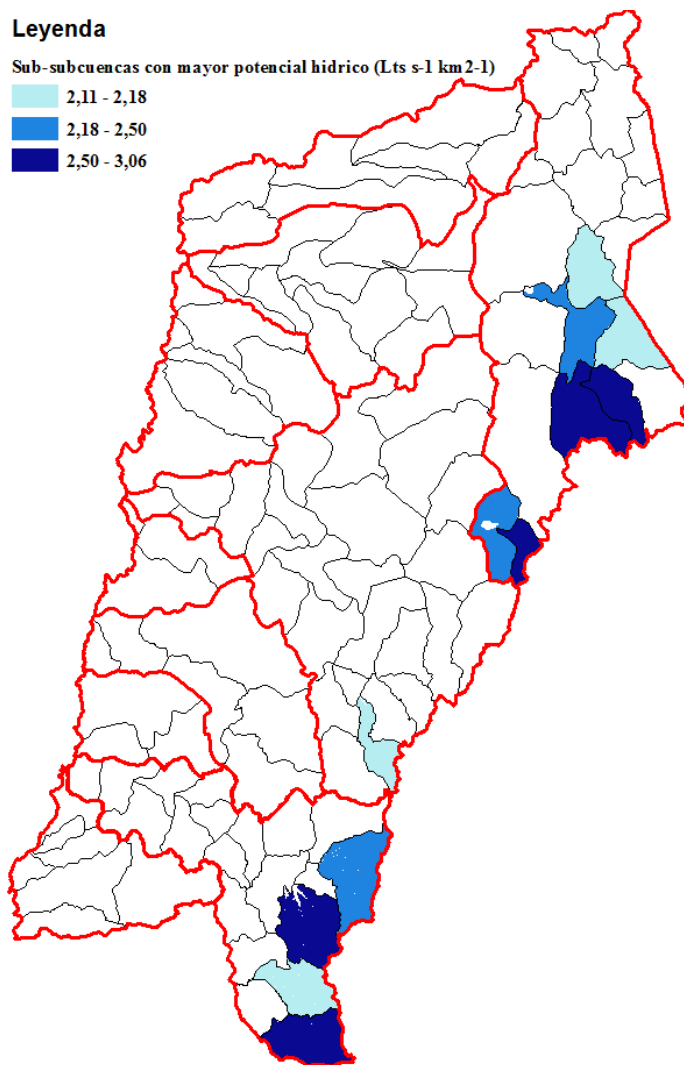


Figura 16: Sectorización de potencial hídrico presente en la Región de Atacama.

Se puede identificar cuatro sectores con un potencial significativo en recursos nivales durante los últimos 15 años. Los cuatro sectores con mayores probabilidades de caídas de nieve son:

- Área al este y sureste del Salar de Maricunga; Los sectores Juncal, Laguna Verde y Campo Piedra Pomez llegando a Cerros Tres Cruces.
- Sector al este de la Laguna Negro San Francisco y sus alrededores
- Un sector de dimensiones menores en las nacientes de los afluentes pertenecientes a la cuenca del río Copiapó, Sector Potro, Montosa.
- La cordillera de los Andes en el extremo sur-este de la Región de Atacama entre los nacientes del Río Huasco hasta al límite de la Región de Coquimbo.

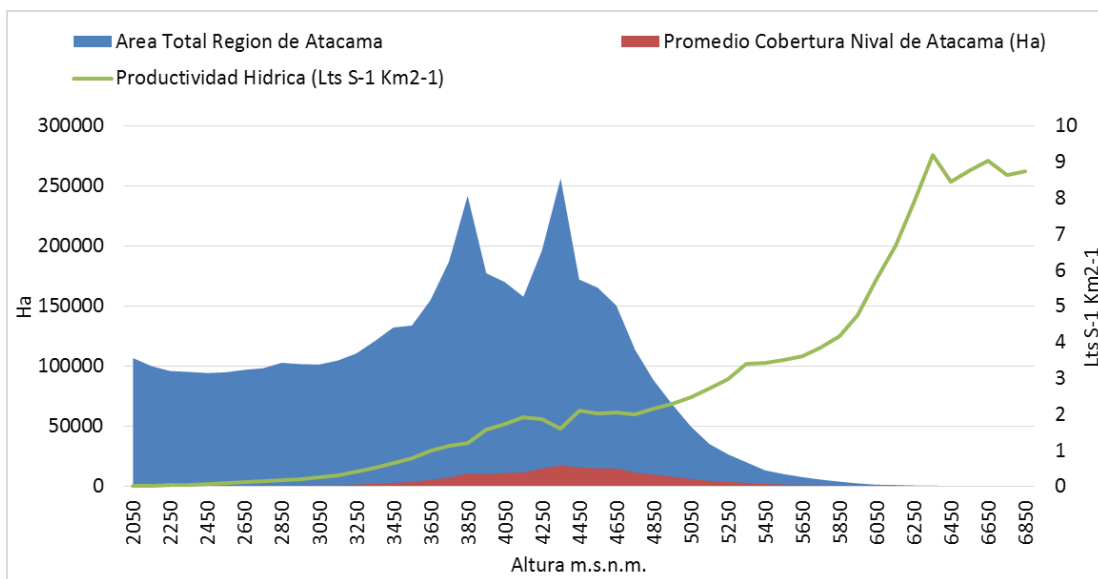


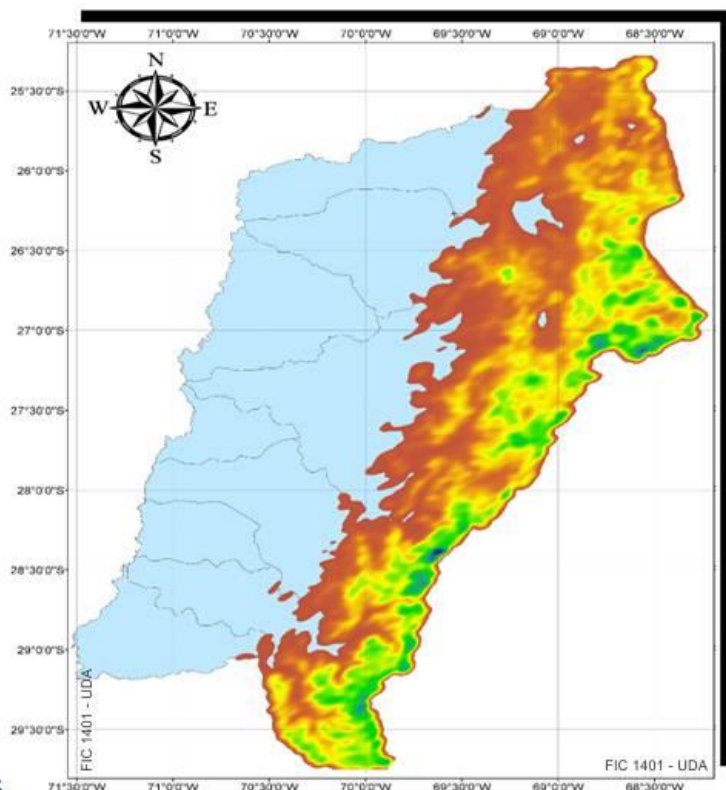
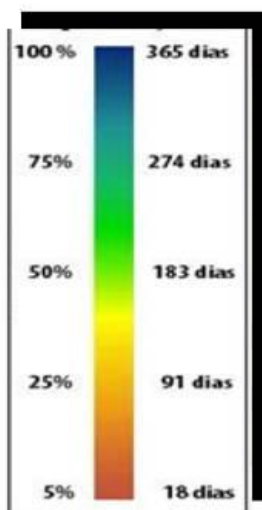
Figura 17: Área total de la Región de Atacama, y la cobertura nival promedio en todas las imágenes analizadas en la región, así como su porcentaje en base al área total.



FIC 1401 - UDA

Mapeo diario nieve estacional

2000 - 2014



Espinoza, J. et al. 2015

Figura 18: mapeo diario de nieve estacional: Los colores verdes a azul grafican las áreas con mayor cantidad de días con nieve.

Un probable aprovechamiento del recurso nival tiene que tomar algunos factores en consideración como la frecuencia y magnitud de caídas de nieve, la altura, la accesibilidad.

En total se definió 11 puntos de un probable aprovechamiento del recurso nival. Los 11 puntos se dividen a 4 sectores:

- 1) Al este del Salar de Maricunga, Sector Tres Cruces Llano Piedra Pómez (5)
- 2) Sector cerca Laguna Negro Francisco (2, más uno cerca Pantanillo)
- 3) Sector nacientes cuenca Río Copiapó (1)
- 4) Sector nacientes cuenca Río Huasco (2)

De los 11 puntos definidos 5 se encuentran en la cuenca entre al este y al sur del Salar de Maricunga, cerca Cerros Tres Cuces y Ojos del Salado. El sector destaca por su relativa seguridad en recursos nivales y su accesibilidad.

Según antes mencionado la mayor acumulación de recursos nivales se encuentra entre 3900 m hasta 5000 m de altura.



Un proyecto debería aprovechar la morfología natural y procesos naturales de acumulación de nieve.

El tercer sector con interés se ubica en los nacientes del Río Huasco, cerca de la frontera a Argentina. La extensión de las áreas de altas cantidades de recursos nivales no son tan importantes, pero suficiente para un factible aprovechamiento.

El cuarto sector se ubica en los nacientes de los afluentes de la cuenca del Río Copiapó, en la cercanía del Río Manflas y Río Montosa. La accesibilidad no es la mejor, pero también se puede definir una cierta posibilidad de un aprovechamiento exitoso de los recursos nivales de este sector.

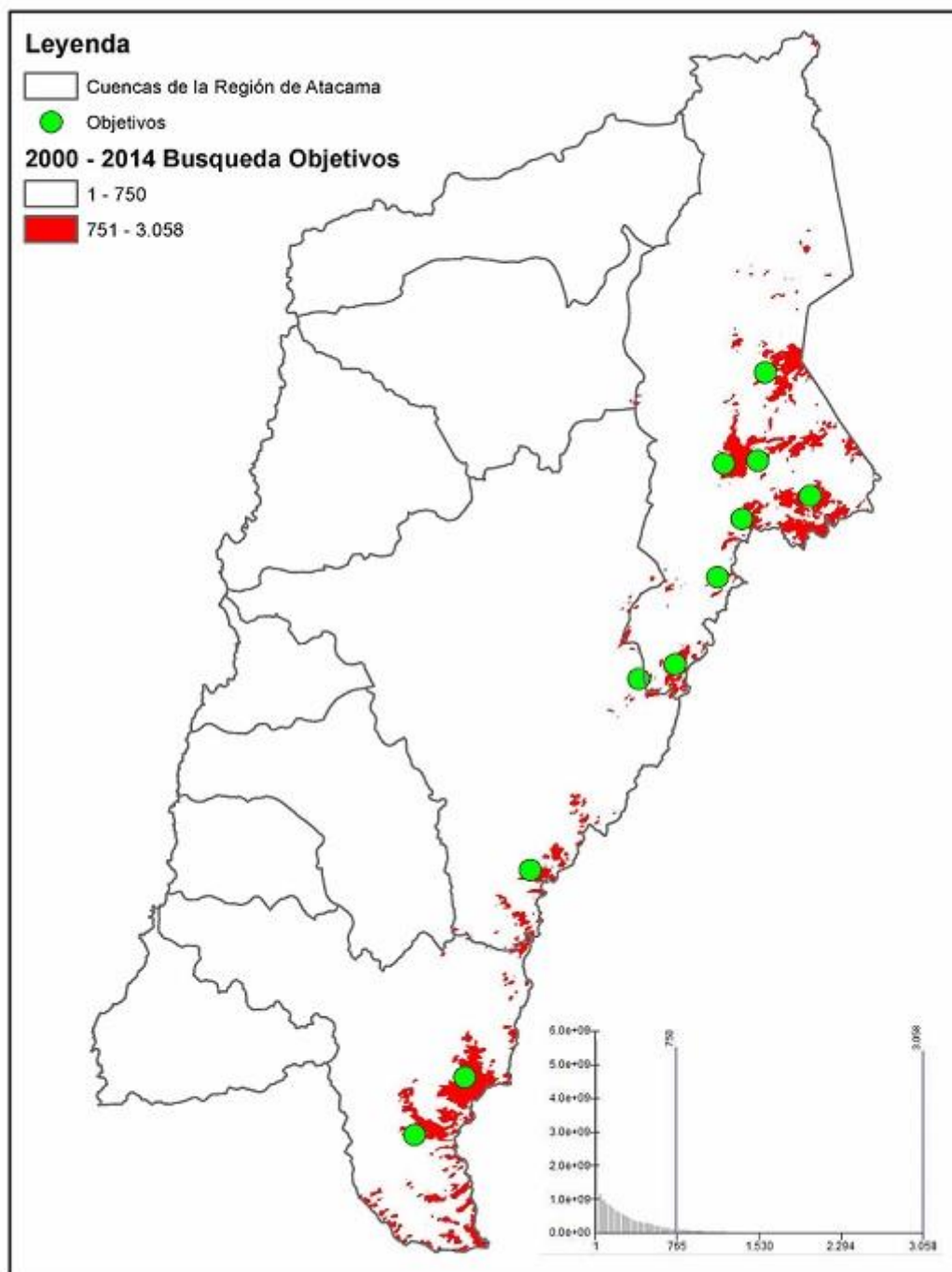


Figura 19: Puntos de mayor interés en aprovechamiento de recursos navales

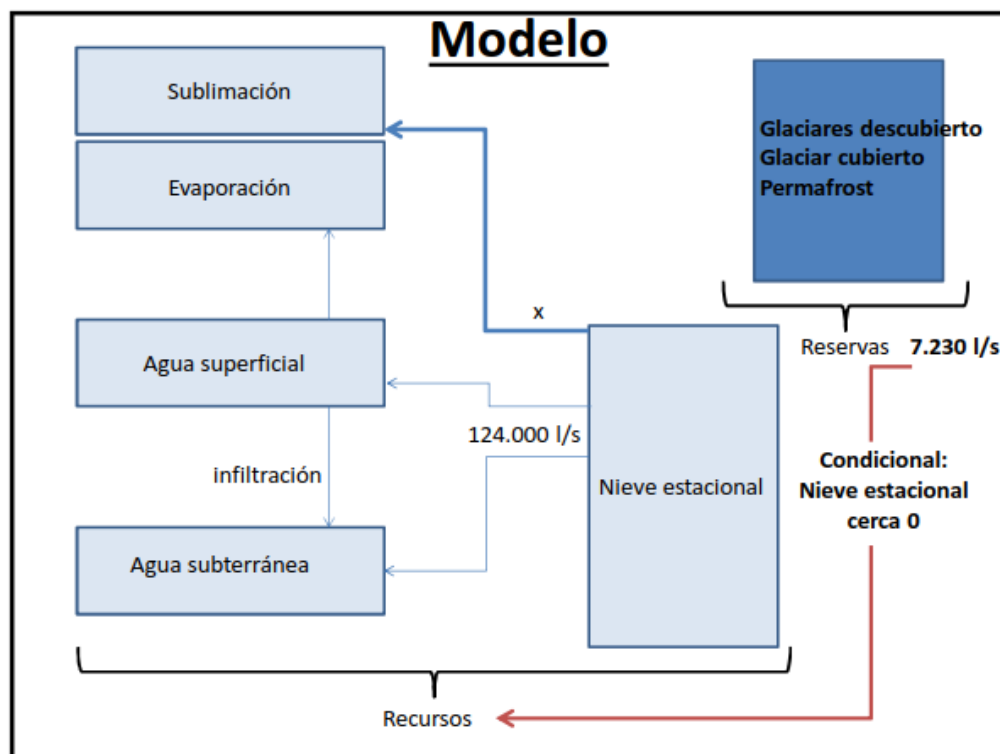


Figura 20: Modelo integral de la situación

Un modelo integral finalmente muestra las conexiones entre las diferentes recursos y reservas hídricas (líquidos y sólidos). Se puede indicar que la nieve estacional puede llegar a cifras alrededor de 124.000 l/s en forma teórica. Hay que tomar en consideración que problemas técnicos impiden el aprovechamiento de la totalidad de los recursos.

También hay que indicar, que en los años sin recursos navales, los glaciares cubiertos, glaciares descubiertos y el permafrost se convierte en recurso hídrico.



Técnicas de captación de nieve para generar agua potable

Un metro cúbico de nieve corresponde entre 60 a 500 litros de agua, el valor definitivo depende de la consistencia y compactación del recurso nival. El clima árido del desierto de Atacama puede ser un argumento para valores bajas, las cantidades grandes de acumulación y los procesos de compactación podrían ser un argumento para números más altas.

Por razones climáticas no existe experiencia en el traspaso de nieve a agua potable, la razón se puede buscar en la correlación entre precipitaciones de agua y de nieve en regiones de climas templadas “normales”. En la Región de Atacama se vive en un ambiente especial: Por un lado, las precipitaciones en lluvias no logran una filtración suficiente para generar un equilibrio. Pero, por otro lado, como mostrado en este proyecto, existen extensos recursos de nieve en la Región de Atacama que no entran en su totalidad a la hidrosfera del sector.

Se puede indicar la alta tasa en sublimación y la evaporación impiden un traspaso de grandes partes del recurso nival a las napas de agua subterránea.

Se puede generar procesos que fortalecen el traspaso de nieve a agua, se puede diferenciar entre:

- a) Procesos activos invasivos: Corresponde a métodos donde se acumula la nieve y procesos activos que producen en derretimiento.
- b) Procesos activos: La nieve se acumula por procesos naturales, se genera procesos que llegan a un derretimiento.
- c) Procesos pasivos: Simplemente se aprovecha la nieve naturalmente acumulada y genera métodos que impiden la evaporación inmediata después del proceso.

Algunas precauciones en este proceso hay que tomar in consideración:

- a) Contaminación de la nieve (química, partículas)
- b) Aspectos ambientales en un ecosistema frágil
- c) Una cierta autonomía del proceso
- d) Eficiencia del proceso versus complejidad del proceso
- e) Distancia hacia el consumidor
- f) Épocas de inoperatividad durante los meses sin nieve

Pero hay que indicar la nieve es una reserva estacional, sin proceso grandes cantidades se subliman y se pierde el recurso.

Un proceso de conversión de nieve a agua potable instalado en la cordillera de los andes tiene que ser relativamente simple, ampliable a un sistema “industrial”. Como las cantidades de recursos nivales en la Región no son menor, el sistema no necesariamente tiene que ser muy eficiente, lo importante es que es constante.



Como el recurso con mayor disponibilidad en Atacama y los Andes es la energía solar se puede diseñar un sistema de tubería, encima de planchas de color negro que permiten la transmisión de un líquido de calor elevada. Con este sistema se “ataca” la nieve en el momento de su caída, es decir no se permite una acumulación, se produce un descongelamiento inmediatamente después de caída. Sí se acumula nieve, la tubería con un medio tibio (agua tibia) igualmente cumple su función y produce un descongelamiento en la nieve ya acumulada.

En resumen, se puede definir un sistema de siguientes características:

- a) Lugar adecuado a respecto de disponibilidad de nieve
- b) Lugar de altura moderada, acceso relativamente fácil
- c) La morfología puede apoyar el proceso (ladera hacia al norte)
- d) Aprovechando energía solar
- e) Sistemas relativamente pasivos con poca intervención permanente humana
- f) Sistemas de acuerdo de las normas ambientales vigentes
- g) Evitando la sublimación y la evaporación
- h) Se puede pensar en sistemas activos de descongelamiento.

Bibliografía:

ACGR: Glossary of permafrost and related ground ice terms, Associate Committee on Geotechnical Research (ACGR), *National Research Council of Canada*, Ottawa, 1988.

Aguado, E. y Burt, J.E. (2004) - Understanding Weather y Climate. New Jersey, Pearson Education Inc.

Aguilar, G.; Riquelme, R.; Martinod, J.; Darrozes, J. (2013) - Rol del clima y la tectónica en la geomorfología de los Andes Semiáridos chilenos entre los 27-32°S. *Andean Geology*. 40 (1): 79-101.

Amigo, Gonzalo (2016): Línea Base Hídrico – Criosferica para la cuencas Alto - Andinas, Región de Atacama, Chile. -173 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Amigo, G., García, A., Ulloa, C., Milana, J.P. (2015) - Línea Base de la Criósfera en las Cuencas Alto-Andinas de la Región de Atacama, Chile. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).



Andersson, J.G. (1906) - Solifluction, a component of subaerial denudation. *Journal of Geology* 14, pp. 91–112.

Azizi, F. y Whalley, W. B. (1995) - Finite element analysis of the creep of debris containing thin ice bodies. In: Proceedings of the 5th International Offshore and Polar Engineering Conference, Volume 2. International Society of Offshore and Polar Engineers, The Hague, pp. 336–341.

Azócar, G. y Brenning, A. (2010) - Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°–33°S). *Permafrost and Periglacial Processes* 21, 42–53.

Ballantyne, C.K., Harris, C., (1994) - The Periglaciation of Great Britain. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Bockheim, J. G (1995) - Permafrost distribution in the southern circumpolar region and its relation to the environment: a review and recommendations for further research, *Permafrost Periglac.*, 6, pp. 27–45.

Bolch T, Marchenko SS. 2009. Significance of glaciers, rockglaciers and ice-rich permafrost in the Northern Tien Shan as water towers under climate change conditions. In Selected papers from the Workshop “Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia” held in Almaty, Kazakhstan, 28–30 November 2006, Braun L, Hagg W, Severskiy IV, Young GJ (eds). Bundesanstalt für Gewässerkunde: Koblenz, Germany. IHP/HWRP-Berichte, Nr.8; 132–144.

Brenning A, Azócar GF. 2009. Statistical analysis of topographic and climatic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes Chile, (27–33-S). *Permafrost and Periglacial Processes* In press. DOI:10.1002/ppp.670

Brenning A. 2005. Climatic and geomorphological controls of rock glaciers in the Andes of Central Chile: Combining statistical modelling and field mapping. PhD dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin: 153p.

Brenning, A., Azocar, G. (2010) - Minería y glaciares rocosos: impactos ambientales, antecedentes políticos y legales, y perspectivas futuras. *Rev. geogr. Norte Gd.* n.47. pp. 143–158.

Brown, J., Ferrians Jr, O. J., Heginbottom, J. A., and Melnikov, E. S (1997) - Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions, Washington, DC: U.S. Geological Survey in



Cooperation with the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000, 1 sheet.

Campos, Juan (2016): Predicción de caudales aplicando modelos de precipitación nival simple y redes neuronales artificiales para la cuenca del río Huasco, Región de Atacama, Chile. – 120 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Campos, J., García, A., Espinoza, J., Milana, J.P. (2015) - Estudio de las relaciones entre la cobertura nival y los caudales en la Cuenca del Río Huasco y posibilidad de pronóstico de caudales usando dicha información. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

Capps, S. R. J. 1910. Rock glaciers in Alaska. *Journal of Geology* 18, 359–375.

Castro, M., Delgado, S., Ferri-Hidalgo, L., Salazar, L., Falaschi, D., Lenzano, G., Masiokas, M., Pitté, P., Ruiz, L., (2012) - Manual para la realización del Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial. IANIGLA-CONICET. Inédito, p. 131.

Chen J, Ohmura A. (1990) - Estimation of Alpine glacier water resources and their change since the 1870s. In *Hydrology in Mountainous Regions, I-Hydrological Measurements; the Water Cycle, Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990*, Lang H, Musy A (eds). IAHS Press: Wallingford, Oxfordshire, UK 193: 127–135.

Clark, D., Clark, M. y Gillespie, A. 1993. Debris- Covered Glaciers in the Sierra Nevada, California, and their implication for Snowline Reconstructions: *Quaternary Research* 41: 139-153.

Clarke, J., (2006) - Antiquity of aridity in the Chilean Atacama Desert. *Geomorphology*, 73, pp. 101-114. doi:10.1016/j.geomorph.2005.06.008

CMC, 2010 - ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL OPTIMIZACIÓN PROYECTO MINERO CERRO CASALE

Corte, A.E. 1976. The Hydrological Significance of Rock Glaciers, *Journal. of Glaciology*, v. 17, Nº 75, p. 157-158.

Corte, A.E. 1980. Glaciers and glaciolithic systems of the Central Andes. *World Glacier Inventory (Proceedings of the Riederalp Workshop, september, 1978)*: IAHS-AISH Publ. Nº 126, p.124.



Corte, A.E. 1990. GEOCRIOLOGÍA El frío en la Tierra. Ediciones Culturales de Mendoza. 444pp.

Croce, F.; Milana, J.P. 2002 Internal Structure and Behaviour of a Rock Glacier in the Arid Andes of Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, Wiley InterScience, v. 13, pp. 289-299.

Espinoza, José (2016): Estructura espacial y temporal de las precipitaciones nivales en La Región de Atacama y modelación del aporte hídrico por fusión de la cobertura nival. – 199 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Espinoza, J., García, A., Milana, J.P. (2015) - Estructura espacial y temporal de las precipitaciones nivales en La Región de Atacama y modelación del aporte hídrico por fusión del manto nival. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

French, H.M., 1996. The Periglacial Environment, 2nd ed. *Longman*, Essex.

García, Ayón (2016): Línea Base Hídrico – Criosférica para la Región de Atacama, Chile. – 121 páginas, , tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

García, A., Ulloa, C., Medina, C., Amigo, G., Milana, J.P. (2015) - Sustitución progresiva de geoformas criosféricas por la creciente aridez de la diagonal árida de América del Sur, Andes centrales entre 25°30'S y 29°30'S; Atacama, Chile. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

Garín, C. (1987) - Inventario de Glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur. *Revista de Geografía Norte Grande* 14: 35-48.

Garreaud, R.D., Vuille M. y Clements, A. (2003) - The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3054: 1-18.

Garreaud, R.D., Vuille M., Compagnucci, R. y Marengo, J. (2007) - Present-day South American Climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3, pp. 1-10.

Gestión Ambiental Consultores (GAC). (2012) - Línea de base: medio físico: glaciares. En EIA Proyecto expansión Andina 244, CODELCO, Cap. 2.4.7. <http://seia.sea.gob.cl/Expediente6044819> [Abril 2015].



Ginot, P.M., Schwikowski, H.W., Gäggeler, U., Schotterer, Ch., Kull, M., Funk, A., Rivera, F., Stampfli, W., Stichler. (2002) - First results of a paleoatmospheric chemistry and climate study of Cerro Tapado, Chile. *The Patagonian Icefields, A Unique National Laboratory for Environmental and Climate Change Studies*. Eds. G. Casassa, F. Sepulveda, R.M. Sinclair, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 157-167.

Golder Associates. (2005) -. Estudio de impacto ambiental modificaciones Proyecto Pascua-Lama. Línea base de la criósfera. Technical report, Santiago, Chile.

Grinsted, A. (2013) - An estimate of global glacier volumen. *The Cryosphere*, 7, pp. 141–151. DOI:10.5194/tc-7-141-2013

Gruber, S. (2012) - Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. *The Cryosphere*. 6, pp. 221-233.

Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* 77: 1-142.

Hamilton, S. J. y Whalley, W. B. 1995. Rock glacier nomenclature: a re-assessment. *Geomorphology*, 14, 73–80.

Haselton, K., Hilley, G., Strecker, M. (2002) - Average Pleistocene Climatic Patterns in the Southern Central Andes: Controls on Mountain Glaciation and Paleoclimate Implications. *The Journal of Geology* 110, pp. 211–226]

Houston, J y Hartley, Aj. (2003) The central andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of HYPER-ARIDITY in the Atacama desert. *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1453-1464.

Jorgenson, M. T., Racine, C. H., Walters, J. C., and Osterkamp, T. E.: Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in Central Alaska, *Climatic Change*, 48, 551–579, 2001.

Juliá, C., Montecinos, S., y Maldonado, a. (2008) - Características Climáticas de la Región de Atacama. In: F. A. Squeo, G. Arancio y J. R. Gutiérrez (eds.) *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación*. Ediciones Universidad de La Serena (Chile), pp. 25 -42.

Kalthoff, N., Bischoff-Gauss, I., Fiebig-Wittmaack, M., Fiedler, F., Thürauf, J., Novoa, J.-



E., Pizarro, C., Gallardo, L., and Rondanelli, R.: Mesoscale wind regime in Chile at 30 S, J. Appl. Meteorology, 41, 953–970, 2002.

King, L.: Zonation and ecology of high mountain permafrost in Scandinavia, Geogr. Ann. A, 68, 131–139, 1986.

Kull, C., Grosjean, M. (2000) - Late Pleistocene climate conditions in the north Chilean Andes drawn from a climate glacier model: *Journal of Glaciology* 46, pp. 622-632.

Kull, C., Grosjean, M. (2002) – Modeling modern and late Pleistocene glacio-climatological conditions in the North Chilean Andes (20-30°S). *Climatic Change* 52, pp. 359-381.

Le Quesne, C., et al. (2006), Ancient Austrocedrus chronologies used to reconstruct central Chile precipitation variability from A. D. 1200 to 2000, *Journal of Climate*, 19, 5731 – 5744.

Lecomte, K.L., Milana, J.P., Formica, S. y Depetris, P. 2007. Hydrochemical appraisal of ice and rock-glacier meltwater in the hyperarid Agua Negra drainage basin, Andes of Argentina. *Hydrological Processes*, doi: 10.1002/hyp.6816

Lliboutry, L. (1956) - Nieves y glaciares de Chile. Fundamentos de glaciología. Ediciones Universidad de Chile, Santiago. 471 pp.

Lliboutry, L.: (1998) -Glaciers of the Dry Andes, in R. S. J. Williams and J. G. Ferrigno (eds), *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World SOUTH AMERICA*, United States Geological Survey Professional Paper 1386–I.

Loomis, S. R. (1970) – Morphology and ablation processes on glacier ice. PART I. Morphology and structure of an ice-cored medial moraine, Kaskawulsh Glacier, Yukon. *Arctic Institute of North America Research Paper* 57, p. 1-65.

Lundstrom, S. C., McCafferty, A. E., and Coe, J. A. (1993) – Photogrammetric analysis of 1984-89 surface altitude change of the partially debris-covered Eliot Glacier, Mount Hood, Oregon, U.S.A. *Annals of Glaciology* 17, pp. 167-170.

Matsuoka N. (2001) - Solifluction rates, processes and landforms: a global review. *Earth-Science Reviews* 35: 107–134.

Matsuoka, N. Ikeda, A.; Date, T., (2005) - Morphometric analysis of solifluction lobes and rock glaciers in the Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, V. 16, 99-113.



Medina, Catherine (2016): Línea Base Hídrico – Criosférica para la cuenca del río Huasco, Región de Atacama, Chile. 123 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Medina, C., Ulloa, C., García, A., Campos, J., Milana, J.P. (2015) - Inventario de Glaciares y Crioformas (reservas hídricas criosféricas) integrado para el Valle del Río Huasco. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

Milana, J.P. 1998. Predicción de caudales de ríos alimentados por deshielo mediante balances de energía: Aplicación en los Andes Centrales, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología*, revista, v. 5 (2), pp. 53-69.

Milana, J.P. 2005. Línea base de la criósfera proyecto pascua-lama (informe de glaciares y permafrost), Junta de Vigilancia del Río Huasco y sus Afluentes: 134p., Chile.

Milana, J.P. y Güell, A. (2008) - Diferencias mecánicas e hídricas del permafrost en glaciares de rocas glaciogénicos y criogénicos, obtenidas de datos sísmicos en El Tapado, Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (3), pp. 310-325.

Milana J.P. 2010. Hielo y desierto. Los glaciares áridos de San Juan. Elite Group: 196p., Argentina.

Milana, J.P. y Schmok, J. (2015) - El modelo de Glaciar Reservorio indicado por Georadar, Glaciar Guanaco, III Región de Chile y Argentina., Chile. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

Miller, A. (1976) - The Climate of Chile. *Climates of Central and South America*. W. Schwerdtfeger. Amsterdam, *Elsevier Scientific Publishing Company*: pp. 113-145.

Nakawo, M., Raymond, C.F. y Fountain, A. (eds). 2000. Debris-covered glaciers. *International Association of hydrological Sciences, Publication 264*, IAHS Press, 288 p., Wallingford.

Nelson, F. E., Anisimov, O. A., and Shiklomanov, N. I.: Subsidence risk from thawing permafrost, *Nature*, 410, 889–890, 2001.

Nicholson, L., Marin, J., Lopez, D., Rabatel, A., Bown, F. and A. Rivera. 2009. Glacier inventory of the upper Huasco valley, Norte Chico, Chile: glacier characteristics, glacier change and comparison to central Chile. *Annals of Glaciology* 50(53): 111-118.

Olea, P., Quevedo, D. (2015) - Distribución espacio-temporal de la precipitación durante



el evento meteorológico del 24 a 26 de marzo de 2015 y sus efectos sobre la generación de flujos aluviales. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).

Ohmura, A. (2004) - Cryosphere During the Twentieth Century. The State of the Planet: Frontiers and Challenges Geophysics 1503 in Geophysics, Geophysical Monograph 150, IUGG Volume 19, *International Union of Geodesy and Geophysics and the American Geophysical Union*, 239-257, doi: 10.1029/150GM19

Østrem, G. (1959).- Ice melting under a thin layer of moraine and the existence of ice in moraine ridges. *Geografiska Annaler* 41, pp. 228-230.

Outcalt, S. I. y Benedict, J.B. 1965. Photo interpretation of two types of rock glaciers in the Colorado Front Range, U.S.A., *Journal of Glaciology* 5(42): 849-856.

Peña, H. y Nazarala, B. (1987). Snowmelt-Runoff Simulation Model of a Central Chile Andean Basin with Relevant Orographic Effects. Large Scale Effects of Seasonal Snow Cover. *IAHS Publication*, 215 (166), pp. 161-171.

Richmond, G. M. 1952. Comparison of rock glaciers and block streams in the La Sal Mountains, Utah. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 1292–1293.

Schrott, L. 1991. Global solar radiation, soil temperature and permafrost in the Central Andes, Argentina: a progress report. *Permafrost and Periglacial Processes*, v. 2:59-66.

Schrott, L. 1994. The hidrological significance of hight mountain permafrost and its relation to solar radiation, a cause study in the hight Andes of San Juan, Argentina. *Geographisches Institut, Universität Heidelberg, Germany*. 18 p.

Stichler, W., Schotterer, U., Fröhlich, K., Ginot, P., Kull, C., Gäggeler, H., y Pouyaud, B. (2001). Influence of sublimation on stable isotope records recovered from high-altitude glaciers in the tropical Andes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 106(D19), 22613-22620.

Strahler, A.N. y Strahler, A.H. (1986) - *Geografía Física*. Barcelona, Ediciones Omega S.A.

Ulloa, Christopher (2016): Línea base Hídrico-Criosférica para la cuenca del río Copiapó, Chile. – 110 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Ulloa, C., García, A., Amigo, G., Milana, J.P. (2015) - Línea base de la Criósfera para la cuenca del Río Copiapó, Chile. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena (Chile).



Vivero, S. (2008) - Inventario de glaciares descubiertos de las cuencas del río Copiapó y variaciones recientes en sus frentes. Technical report. Dirección General de Aguas: Santiago, Chile.

Wahrhaftig, C. y Cox, A. 1959. Rock glaciers in the Alaska Range, Geological Society of America, Bulletin 70: 383-436.

Walter, K. M., Zimov, S. A., Chanton, J. P., Verbyla, D., and Chapin, F. S.: Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming, *Nature*, 443, 71–75, 2006.

Wang, B. and French, H. M. (1995) - Permafrost on the Tibet Plateau, China, *Quaternary Sci. Rev.*, 14, 255–274, doi:10.1016/0277-3791(95)00006-B.

Washburn, A.L. (1979) - *Geocryology: A Survey of Periglacial Processes and Environments*. Edward Arnold, London.

Washburn, A.L., (1979) - *Geocryology: A Survey of Periglacial Processes and Environments*. *Edward Arnold*, Londres (UK).

Whalley, W. B. y Azizi, F. (2003). Rock glaciers and protalus landforms: analogous forms and ice sources on Earth and Mars. *Journal of Geophysical Research, Planets*, 108, 8032, doi: 8010.1029/2002JE001864.

Whalley, W. B. (1974) – Rock glaciers relative to true glacier as part of a glacier debris-transport system. *Geographical Papers* 24, Geographical Department, University of Reading.

Zech, R., May, J.H., Kull, C., Ilgner, J., Kubik, P.W., Veit, H. (2008) - Timing of the late Quaternary glaciation in the Andes from ~15 to 40°S. *Journal of Quaternary Science*, 23 (6-7), pp. 635–647.

Zhang, T. y Wang, N. (2015) – Introduction – Changing cryosphere under a warming climate. *Artic Antartic and Alpine Research*, Vol. 47, 2, pp.191-193.

Zhou, J., y Lau, K. M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America?. *Journal of Climate*, 11(5), 1020-1040.



Objetivo Específico 4: Recursos humanos capacitados en temas avanzados. Poner a disposición de la comunidad un grupo de profesionales altamente capacitados en materia de la criósfera.

Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Charlas de científicos extranjeros y nacionales.	4/2015 – 8/2015	10/2014 – 6/2016	sí	Simposio Internacional Charla Dölling Charla Milana
Capacitaciones por científicos extranjeros			si	Programa y listados de asistencia
Pasantillas de los participantes				
Presentación de trabajos en congresos	Sept. 2015	Sept. 2015	si	Publicaciones y certificados
Titulaciones realizadas	Enero / marzo 2016	Enero / marzo 2016	si	Existencia de las tesis
Cursos dictados por parte de los participantes (Adicional)		Marzo 2016 – Julio 2016	si	Dos participantes del proyecto dictaron cursos electivos para la carrera de geología (UDA)

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 4:

Hito 4.1. Charlas y seminarios

SEMINARIO INTERNACIONAL DE GLACIARES Y GLACIARISMO ALTOANDINO EN CHILE Y ARGENTINA

29 de Octubre de 2014, Salón Minas, Facultad de Ingeniería UDA, Copiapó.
Extracción del programa:

10:00 – 10:20 hrs. Dr. Igor Parra Vergara, Microbiólogo "Doctor Europeus", Universidades de Montpellier y Roma, Arqueólogo MA, Universidad de Barcelona: Procesos de formación, equilibrio y retroceso de los glaciares terrestres como parte del ciclo global del agua: el caso particular de los glaciares sur andinos.



10:20 – 10:40 hrs. Dr. Juan Pablo Milana, Glaciólogo PhD, Universidad de San Juan, Argentina: Experiencia en Argentina en el Estudio y Conservación de Glaciares en Zonas Áridas.

10:40 – 11:00 hrs. Dr. Wolfgang Griem, Geólogo PhD, Director Escuela de Geología Universidad de Atacama: Descripción del proyecto aprobado FIC-R “Inventario de glaciares, ambiente periglacial y otras reservas hídricas criosféricas de la III Región de Atacama y áreas binacionales, para determinar nuevas fuentes de agua”.

12:00 – 12:20 hrs. Sr. Carlos Estévez Valencia, Director General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile: Estrategia Nacional de Conservación de Glaciares.

12:20 – 12:40 hrs. Sr. Luis Lemus Aracena, Diputado distrito N°9, Presidente de la Comisión de Recursos Hídricos de la Cámara, Chile: Estado del arte del proyecto de Ley de Protección de Glaciares en Chile.

Seminario criósfera, primeros resultados

27.7.2015: Seminario de primeros resultados del proyecto FIC 1401 - criósfera. Exposiciones de Dr. Wolfgang Griem, Ayón García, José Espinoza, Catherine Medina, Christopher Ulloa. Juan Campos y Juan Campos. Sala D12, Universidad de Atacama - 17:20 hrs - 180 personas asistentes.

Se invitaron autoridades del gobierno regional, directores y funcionarios de entidades públicas, académicos de la UDA, alumnos de la UDA y público en general. El evento se desarrolló entre 17:20 hrs hasta las 21:00 hrs – frente de un público que superó 180 personas. Debido a la gran cantidad de personas y una ronda de preguntas extendida el seminario terminó a las 21:00 hrs.

Programa del seminario:

- 1) Dr. Wolfgang Griem, Director del Proyecto): Proyecto Criósfera en Atacama: Que es la criósfera ? – Primeros resultados del proyecto FIC 1401.
 - 2) Sr. Christopher Ulloa: Criósfera de Atacama
 - 3) Srta. Catherine Medina: Mapeo de la criósfera
 - 4) Sr. José Espinoza: Mapeo de nieve estacional
 - 5) Sr. Juan Campos: Rol de la criósfera en el sistema hídrico
 - 6) Sr. Ayón García: Primeros resultados del proyecto
- Discusión

Hay que mencionar que la cantidad de personas que participaron en este seminario superó a todas las expectativas por parte de los realizadores.



Figura 21: Realización del seminario “Criósfera” en la sala D12. – 27.7.2015

Charla:

Dr. Oscar Dölling en la sala D12 de la Universidad de Atacama.

Se realizó 27.8.2015 una Charla científica: REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADAS A PREDICCIÓN DE CAUDALES FLUVIALES por el Dr. Oscar Dolling. Publicado en varios medios de comunicación Regionales y con alto interés por parte de los expertos (académicos y alumnos de los últimos niveles) en la UDA. Cabe mencionar que el tema de las redes neuronales es un tema transversal que marca importancia en las ciencias matemáticas, computacionales y en este caso aplicada en las ciencias de la tierra.

Publicado en Atacama en línea: <http://atacamaenlinea.cl/?p=18029/>

Atacama Noticias: <http://atacamanoticias.cl/2015/08/28/experto-argentino-enseno-a-desarrollar-modelos-de-prediccion-y-simulacion-del-comportamiento-glaciario/>



Figura 22: Charla de Dr. Dölling en la UDA

12.12.2015: Charla en “Visión Atacama” : Proyecto FIC Glaciar dio a conocer resultados preliminares en Encuentro “Visión Regional”



Figura 23: Charla en “Visión Atacama”, 2015

Charla:

24.3.2016: Criósfera en Atacama, charla en Día Mundial del Agua: CORFO, Hotel Diego de Almeida, Copiapó: Presentaciones de Dr. Wolfgang Griem, Sr. Ayon García. Alrededor de 40 personas.

Realización de un Stand en la plaza información proyecto (Día del agua)



Hito 4.2: Cursos y capacitaciones dictadas para los participantes:

Fecha: 26.-29. 1.2015.

Lugar: Universidad de Atacama, Departamento de Geología

Relator: Dr. Juan Pablo Milana

Entre 26 a 29 de enero se realizó la capacitación “reconocimiento de geoformas por medio de imágenes satelitales” por Dr. Juan Pablo Milana (Universidad San Juan, Argentina). Los participantes fueron: Sr. Ayón García, Sr. Jose Espinoza, Srta. Catherine Medina, Sr. Juan Campos, Sr. Christopher Ulloa y Sr. Gonzalo Amigo – todos los alumnos de la carrera de Geología y participantes en el proyecto.

Fecha: 18.8. – 19.8. 2015

Título: Uso del georadar

Relator: Sr. Jorge Véliz

Capacitación en Georadar, capacitación teórica y práctica del uso: Se realizó una capacitación por parte de Sr. Jorge Veliz de la Empresa GSSI. En total fueron 16 horas de clases: Especialmente teoría de funcionamiento, análisis de datos y connotaciones prácticas. Dos días (18.8. y 19.8.) 8:00 hrs – 17:00 hrs



Figura 24: Calibración del georadar en el marco del Curso de capacitación

Fecha: 24.8.2015 – 28.8.2015

Relator: Dr. Oscar Dölling



Curso “REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADAS A PREDICCIÓN DE CAUDALES FLUVIALES”

Dictado por Dr. Oscar Dölling académico de la Universidad Nacional de San Juan (Argentina). Curso de 5 días de duración (con evaluación final).

Objetivo del curso era obtener habilidades avanzadas en el uso de redes neuronales y sus bases matemáticas.

24.8.2015 – 28.8.2015

Fecha: 15.3.2016 – 21.3.2016

Capacitaciones durante la estadía en San Juan, Argentina

Relator: Dr. Oscar Dölling (San Juan, Argentina)

- 1) Miércoles 16.3. 2016: Practico Redes neuronales Software y ambiente de simulación (Departamento de Ingeniería UNSJ, Dr. Oscar Dolling).
- 2) Viernes 18.3. 2016: Charla “Metodologías aplicadas al estudio del ambiente glacial y periglacial en Atacama, Chile” (Departamento de Ingeniería UNSJ), practica Redes neuronales, validación del caso para la Región de Atacama. (Departamento de Ingeniería UNSJ, Dr. Oscar Dölling).



Figura 25: Registro de las actividades en la Universidad de San Juan, Argentina entre 15.3.2016 a 21.3.2016

Fecha: 10.5.2016 – 12.5.2016:

Relator: Dr. Juan Pablo Milana

Lugar: Dependencias de la Universidad de Atacama, Departamento de Geología



Curso UDA (10 al 12 de mayo), “Rudimentos de geofísica aplicada al estudio de los glaciares y ambiente periglacial”.

Hito 4.3.Pasantías:

Primera gira a San Juan (Argentina; Curso Oscar Dölling: 15 a 19 de diciembre 2014:

Gira de los alumnos a San Juan (Argentina): Se realizó una pasantía a la Universidad San Juan con el objetivo de participar en un taller dictado por el académico Prof. Dr. O. Dölling: Elementos de Climatología Moderna, Introducción al Uso de Redes Neuronales para el Cálculo de Aporte Hídrico Nival en Cuencas Hidrogeológicas. Los Participantes eran: Sra. Carla Latorre (Académica del Departamento de Geología, Sr. Ayon García, Srta. Catherine Medina, Gonzalo Amigo, José Espinoza y Sr. Christopher Ulloa.

El curso se realizó entre 15 a 19 de diciembre 2014 en San Juan / Argentina. (véase anexos).

Durante la ida y vuelta se realizó una salida a terreno: Geomorfología glacial de la Alta Cordillera de los Andes.

15.3.2016 – 21.3.2016

Pasantía a la Universidad de San Juan (Argentina)

Programa Pasantía:

La pasantía se desarrolló en la Universidad Nacional de San Juan en el la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y se desarrollaron las siguientes actividades:

Martes 15.3. 2016: Salida Copiapó 11:00hrs con destino San Juan. Llegada a San Juan: 18:00hrs

Miércoles 16.3. 2016: Jornada de la mañana: Practico Redes neuronales Software y ambiente de simulación (Departamento de Ingeniería UNSJ, Dr. Oscar Dolling).

Jornada de la tarde: Practica Redes neuronales aplicación del software al caso de la Región de Atacama. (Departamento de Ingeniería UNSJ, Dr. Oscar Dolling).

Jueves 17.3. 2016: Jornada de la mañana: Revisión de tesis Catherine Medina y José Espinoza (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Dr. Juan Pablo Milana)

Jornada de la tarde: Charla Glaciares Áridos de Atacama (Rectorado Universidad Nacional de San Juan)

Viernes 18.3. 2016: Jornada de la mañana: Charla “Metodologías aplicadas al estudio del ambiente glacial y periglacial en Atacama, Chile” (Departamento de Ingeniería UNSJ)



Jornada de la tarde: Practico Redes neuronales, validación del caso para la Región de Atacama. (Departamento de Ingeniería UNSJ, Dr. Oscar Dolling).

Sábado 19.3. 2016: Jornada de la mañana: Trabajo en publicación para Quaternary International “Present day structure of snow fall from Atacama Desert to Puna Plateau, as an indication of different past climatic scenarios and as a tool for predicting desert hydrological resources” (Departamento de Ciencias exactas UNSJ, Dr. Juan Pablo Milana)

Domingo 20.3. 2016: Jornada de la mañana y tarde: Trabajo en publicación Quaternary International “Progressive replacement of glacial and cryospheric landforms as a result of increasing aridity near the arid diagonal of South America, as indicated by cryosphere inventory. Chilean Andes from 29°30'S to 25°20'S (Departamento de Ciencias exactas UNSJ, Dr. Juan Pablo Milana)

Lunes 21.3. 2016: Salida San Juan 07:00 AM con destino Copiapó (vía aeropuerto de Mendoza).

Hito 4.4: Presentación de trabajos en congresos científicos:

Se presentaron 6 trabajos en el Congreso Geológico de Chile en septiembre de 2015. El congreso geológico es una de las más importantes reuniones de científicos nacionales e internacionales en Chile en el ámbito de las geociencias. A continuación se detallan las contribuciones científicas:

ULLOA, Chr., García, A., Gonzalo A. & Milana J.P. (2015) Línea base de la biosfera para la cuenca del Río Copiapó. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

García, A., Ulloa, Chr., Medina, C., Amigo, G. Campos, J., Milana J.P. (2015): Sustitución progresiva de geoformas criosféricas por la creciente aridez de la diagonal árida de América del Sur, Andes centrales entre 25°30'S y 29°30S; Atacama. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Medina, C., Ulloa, Chr., Campos, J., García A., Milana J.P. (2015): Inventario de Glaciares y Crioformas (reservas hídricas criosféricas) integrado para el Valle del Río Huasco. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Espinoza, J., García A., Campos, J. Milana, J.P. (2015): Estructura espacial y temporal de las precipitaciones nivales en la Región de Atacama y modelación del aporte hídrico por fusión del manto nival. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).



Amigo, G., García A., Ulloa, Chr., Medina, C. Milana, J.P. (2015): Línea Base de la Criosfera en las Cuencas Alro-Andinas de la Región de Atacama, Chile. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Campos, J., García A., Espinoza, J. Milana, J.P. (2015): Estudio de las relaciones entre la cobertura nival y los caudales en la Cuenca del Río Huasco y posibilidad de pronóstico de caudales usando dicha información. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Hito 4.5: Titulaciones de los participantes:

En enero 2016 y marzo 2016 se titularon 6 alumnos como geólogos de la Universidad de Atacama. Los trabajos de titulación se relacionaron directamente con el desarrollo del proyecto.

García, Ayón (2016): Línea Base Hídrico – Criosferica para la Región de Atacama, Chile. – 121 páginas, , tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Ulloa, Christopher (2016): Linea base Hídrico-Criosférica para la cuenca del río Copiapó, Chile. – 110 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Campos, Juan (2016): Predicción de caudales aplicando modelos de precipitación nival simple y redes neuronales artificiales para la cuenca del río Huasco, Región de Atacama, Chile. – 120 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Medina, Catherine (2016): Línea Base Hídrico – Criosferica para la cuenca del río Huasco, Región de Atacama, Chile. 123 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.



Amigo, Gonzalo (2016): Línea Base Hídrico – Criosferica para la cuencas Alto - Andinas, Región de Atacama, Chile. -173 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.

Espinoza, José (2016): Estructura espacial y temporal de las precipitaciones nivales en La Región de Atacama y modelación del aporte hídrico por fusión de la cobertura nival. – 199 páginas, tesis de memoria para obtener el Título Geólogo de la Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología; Copiapó/ Chile.



Figura 26: Titulación de alumnos participantes en el proyecto.



Hito 4. 6. Cursos ofrecidos a la carrera de Geología por parte de participantes en el proyecto:

Se dictaron cursos relacionados con el proyecto como electivos en la carrera de geología:

Sr. Ayón García: 1 curso: Criósfera de zonas áridas (202) electivo
Sr. Christopher Ulloa: 1 curso, 2 grupos: Modelos digitales de elevación aplicados a la Geología. (202, electivo).

3.2 Logro de los Indicadores (indicadores de cumplimiento)

N°	Nombre Indicador	Fórmula de Cálculo	N° OE asociado	Valor real a la fecha (incluir numerador y denominador)	% de cumplimiento	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
1.	LEVAMIENTO	% Relevamiento = (Área total inventariada) / (propuesta de área inventariada) * 100	1, 2	Todas crioformas Atacama/ 171.926 ha	100 %	si	Tesis de título, publicaciones.
2.	Avance curricular:	%Tesis = No. de tesis logradas / No de tesis propuesta * 100	2, 4	6/6	100%	si	Tesis en la UDA disponible
3.	Recurso Nival	Mapas nivales semanales para la III Región de los últimos 5 años utilizando sensores MODIS / Landsat 8.	1,2,3	15/5 años	100% (+)	si	En las publicaciones, tesis José Espinoza
4.	No. Áreas pilotos	Número de áreas pilotos captadas / No. De áreas pilotos planificadas *100	3	4/3	100% (+)	si	Tesis José Espinoza, Charla



N°	Nombre Indicador	Fórmula de Cálculo	N° OE asociado	Valor real a la fecha (incluir numerador y denominador)	% de cumplimiento	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
5.	Divulgación	No. de publicaciones realizadas / número de publicaciones en propuesta * 100	4	8/4	200%	si	Publicaciones científicas

3.3 Análisis Cualitativo del Avance de los Indicadores:

Los resultados del proyecto tienen alta importancia en la definición de recursos hídricos no tradicionales para Atacama. Las actividades planificadas en el proyecto se cumplieron con éxito, algunos tópicos, como la difusión, charlas y difusión científica llegaron a un nivel extremadamente elevado. Se puede indicar que un buen porcentaje de atacameños lograron conocer esta iniciativa. Las restricciones dadas por la situación del aluvión en 25. Del marzo 2015 fue mitigada perfectamente mediante remote sensing y modelamiento de los datos. Los resultados son robustos y marcan un claro camino para solucionar la escasez hídrica de la Región de Atacama.



3.4 Resumen Ejecución financiera del Proyecto (\$ Nominales)

En el presente informe, se da a conocer la ejecución del gasto del proyecto FIC denominado “Inventario de glaciares, ambiente periglacial y otras reservas hídricas criosféricas de la III región de Atacama y áreas binacionales, para determinar nuevas fuentes de agua”, código BIP: 30337509 y adjudicado por la Universidad de Atacama en el Concurso año 2014.

El período de ejecución del proyecto fue desde el 18 de noviembre de 2014 y hasta el 31 de mayo de 2016, teniendo una duración en el plazo de ejecución de 18 meses.

A continuación se presenta el detalle de la ejecución del gasto de los aportes entregados por el Gobierno Regional de Atacama.

Ejecución de los Recursos aportados por el Gobierno Regional de Atacama

Aportes Entregados

Monto Adjudicado por el Proyecto	: \$131.497.783
Monto Transferido por el GORE	: \$115.080.575
Monto Ejecutado	: \$106.649.070
Saldo a Reintegrar	: \$8.431.505

Ejecución por Ítem de Aportes Entregados:

ITEM	MONTO APROBADO (\$)	MONTO EJECUTADO (\$)	SALDO
Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento	\$ 46.593.281	\$ 45.563.445	\$ 1.029.836
Gastos de Operación	\$ 58.894.502	\$ 35.373.125	\$ 23.521.377
Gastos de Honorarios	\$ 23.510.000	\$ 23.330.000	\$ 180.000
Gastos de Difusión	\$ 2.500.000	\$ 2.382.500	\$ 117.500
TOTAL	\$ 131.497.783	\$ 106.649.070	\$ 24.848.713



Dado que el monto transferido por el Gobierno Regional al proyecto fue de \$ 115.080.575 y el monto ejecutado por el proyecto fue de \$106.649.070 el saldo real a reintegrar es de \$8.431.505.-

A continuación se presenta un detalle del gasto por Ítem y por sub-ítem.

62



3.5 Análisis de la Ejecución Financiera

3.6 Dificultades durante su ejecución (externas e internas)

La situación climática durante el año 2015, las fuertes lluvias y la imposibilidad de realizar trabajos en terreno implicaron un cierto cambio en el enfoque del trabajo. Por razones de seguridad y falta de caminos de acceso se tuvo que reducir considerablemente la cantidad de días en terreno. Además hay que indicar que por la naturaleza del sector las salidas a terreno están aseguradas solamente entre Noviembre y Abril.

La otra dificultad fueron las tomas del Departamento de Geología por parte de un grupo de alumnos. En septiembre de 2015 y en Junio – Julio de 2016 no fue posible acceder a los datos.

4 Hitos de difusión

4.1 Charlas y seminarios para el público interesado

Véase en Hito 4.1. (pág. 48)

El contenido de algunas charlas se encuentra disponibles para descargar en:

<http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-download-recursos-01.htm>

4.2. Charlas científicas

Seminario Internacional de Glaciares y Glaciario Altoandino en Chile y Argentina.

29. de Octubre de 2014.

Expositores participantes en el proyecto:

Dr. Juan Pablo Milana: Experiencia argentina en Estudio y Conservación de Glaciares en Zonas Áridas.

Dr. Wolfgang Griem: Descripción del proyecto aprobado FIC-R “Inventario de glaciares, ambiente periglacial y otras reservas hídricas criosféricas de la III Región de Atacama y áreas binacionales, para determinar nuevas fuentes de agua”.



ULLOA, Chr., García, A., Gonzalo A. & Milana J.P. (2015) Línea base de la criosfera para la cuenca del Río Copiapó. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

García, A., Ulloa, Chr., Medina, C., Amigo, G. Campos, J., Milana J.P. (2015): Sustitución progresiva de geoformas criosféricas por la creciente aridez de la diagonal árida de América del Sur, Andes centrales entre 25°30'S y 29°30S; Atacama. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Medina, C., Ulloa, Chr., Campos, J., García A., Milana J.P. (2015): Inventario de Glaciares y Crioformas (reservas hídricas criosféricas) integrado para el Valle del Río Huasco. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Espinoza, J., García A., Campos, J. Milana, J.P. (2015): Estructura espacial y temporal de las precipitaciones nivales en la Región de Atacama y modelación del aporte hídrico por fusión del manto nival. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Amigo, G., García A., Ulloa, Chr., Medina, C. Milana, J.P. (2015): Línea Base de la Criosfera en las Cuenas Alro-Andinas de la Región de Atacama, Chile. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

Campos, J., García A., Espinoza, J. Milana, J.P. (2015): Estudio de las relaciones entre la cobertura nival y los caudales en la Cuenca del Río Huasco y posibilidad de pronóstico de caudales usando dicha información. Congreso Geológico en la Serena (Septiembre 2015).

4.3. Comunicaciones en la prensa

Hay que indicar que el conocimiento sobre el “proyecto glaciares” en la comunidad en Atacama es amplia. Una serie de publicaciones en diarios, charlas y reportajes apoyaron un profundo conocimiento de este proyecto.



22.12.2014:

Lanzamiento de proyectos FIC - UDA

Diversos diarios regionales y en línea

Radio Maray, 29.7.2015:

UDA presentó primeros avances de estudio que desarrolla inventario de glaciares de la Región (Artículo en línea, radio Maray)

29.7.2015: UDA presentó primeros avances de estudio que desarrolla inventario de glaciares de la región. Página UDA, Maray, Chile Sustentable, Diario Chañarillo

28.8.2015: EXPERTO ARGENTINO ENSEÑÓ A DESARROLLAR MODELOS DE PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GLACIAR:

Dr. Oscar Dölling, Universidad Nacional de San Juan (Argentina): Charla: Redes Neuronales artificiales aplicadas a predicción de caudales en cuencas Nivales. (Invitado en el marco de la ejecución del proyecto FIC 1401 - financiado por el gobierno Regional de Atacama.)

página UDA, Atacama Noticias, Atacama en línea

12.12.2015: Proyecto FIC Glaciar dio a conocer resultados preliminares en Encuentro "Visión Regional"

Atacama Noticias, página UDA

24.3.2016: Proyecto FIC Glaciar UDA se sumó a actividades conmemorativas del Día Mundial del Agua.

Diario Chañarillo, Diario Atacama. U Estatales - comunicado

,

7.6.2016: Ley de glaciares:

Geólogos de la Universidad de Atacama Presentaron Observaciones a la ley de glaciares.

Página UDA y otros.



PORTADA CRÓNICA POLÍTICA POLICIAL DEPORTES ECONOMÍA OPINIÓN CHILE

Chanarcillo : Unico diario autenticamente regional

Crónica

Publicado el 22/12/2014 08:28:00

A- A+ ✉ 🖨

Universidad de Atacama lanzó Proyectos FIC 2014 en Ruta de la Innovación y el Emprendimiento

[TWITTER](#) [FACEBOOK](#)

Seis son los proyectos que la Universidad de Atacama se adjudicó del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional 2014 y cuyo lanzamiento oficial se realizó este viernes 19 de diciembre en la jornada denominada Ruta de la Innovación y Emprendimiento UDA*, ocasión en que las autoridades regionales y universitarias pudieron conocer estas iniciativas que abordan temáticas prioritarias para el desarrollo económico y social de la región.



El Fondo de Innovación para la Competitividad busca masificar el desarrollo de la I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en la Región de Atacama, a través de sus distintas líneas de financiamiento, propiciando alianzas público - privada, con el fin de mejorar la calidad de vida de los atacameños y atacameñas, destinando recursos a proyectos de investigación científica, innovación empresarial, transferencia tecnológica y emprendimiento, entre otros.



Para la provisión 2014, los seis proyectos adjudicados a la Universidad de Atacama se han focalizado en áreas de investigación y desarrollo estratégicas para la zona. A cargo del

Figura 27: Publicación en el diario Regional del lanzamiento de los proyectos.

Actualidad

EL DIARIO DE ATACAMA | Domingo 27 de marzo de 2016 | 7

UDA da a conocer avances del inventario de glaciares

PROYECTO. Académicos de la Universidad de Atacama compartieron los avances del estudio que busca conocer las cuencas de crioformas en la cordillera.

Redacción
crenkus@diarioatacama.cl

Colaborando con las actividades organizadas en la región por la conmemoración del Día Mundial del Agua, el director del Departamento de Geología Wolfgang Griem, junto a los integrantes del Proyecto de Inventario de Glaciares que la UDA lleva adelante gracias al financiamiento del Fondo Regional de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional, socializaron los resultados y avances de esta iniciativa ante la comunidad.

"Este proyecto FIC financiado por el Gobierno Regional de Atacama, tiene ya un año y dos meses de ejecución, y entre mayo y junio vamos a terminar con este proyecto. Hay varios resultados sobre las cuencas más importantes y la cantidad aproximada de crioformas. Estamos bastante contentos en el uso de modelos alternativos como imágenes satelitales que llevan a un nivel de información bastante interesante" explicó el director del Proyecto, Dr. Wolfgang Griem.

Añadió que es importante para la conservación del patrimonio cultural y natural de la zona.

SE INFORMÓ QUE LAS RESERVAS SE ENCUENTRAN PRINCIPALMENTE EN OJOS DEL SALADO Y NEVADO TRES CRUCES.

García indicó que es posible identificar la ubicación de las principales reservas y recursos criosféricos. "Las reservas se encuentran principalmente en el volcán Ojos del Salado y el Nevado Tres Cruces, y los recursos mayoritariamente ubicados en la cuenca de Maricunga. Conocerlos y saber su ubicación permite desarrollar marcos de protección ya que hoy en día la cordillera contiene nuestro principal aporte hídrico a la agricultura de la zona".

LOS ASISTENTES PUSIERON ATENCIÓN A LA CHARLA.

Falta de pescado produjo malestar en los consumidores

CHAÑARAL. Vecinos indicaron que hay poca variedad y escasez del producto.

Diversas familias de Chañaral concurrían al terminal pesquero de la comuna para realizar la compra de pescados en vísperas de Semana Santa. Sin embargo, los pobladores se encontraron con un bajo stock del producto marino.

La poca variedad y escasez de pescado en el recinto generó que muchos de los asistentes tuvieran que regresar a sus hogares sin haber realizado la compra.

Silvia Cortés, vecina del puerto que llegó hasta el lugar, señaló que "uno lamenta que no exista variedad. Es verdad que existe Dorado en el terminal, pero hemos aprendido a tener mucho cuidado, más aun cuando conocemos de compra de los visitantes, muchos de los cuales optaron por alternativas como tarros de conserva, según relataron.

INTOXICACIÓN
 El sábado 12 de marzo, más de 70 personas de Diego de Almagro llegaron hasta el servicio de Urgencias de esa comuna debido a molestias gastrointestinales que habrían sido provocadas tras la ingesta del pescado Dorado, producto que habría sido comercializado en la feria libre a bajo costo.

A través de una serie de denuncias efectuadas en el grupo de Facebook "Aguante Diego de Almagro", usuarios dieron aviso de la situación sanitaria que causó preocupación.

Figura: 28: Publicación en el Diario Atacama, 27. marzo 2016.



Página Internet oficial de la UDA:

Se trabajó en una plataforma de información del proyecto, una página informativa sobre criósfera, glaciares y su importancia en las geociencias.

La jerarquía del sitio es:

Entrada: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-00.htm>

Objetivos del Proyecto: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-intro-01.htm>

Programa: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-programa-01.htm>

Participantes: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-participantes-01.htm>

Resultados: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-Resultados-01.htm>

Glosario: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-glosario-01.htm>

Recursos nivales: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-Crio-y-agua-01.htm>

Metodologías: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-metodologias-01.htm>

Extensión: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-Relacion-medio-01.htm>

Downloads y recursos: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-download-recursos-01.htm>

Aquí se encuentran las charlas y videos disponible

Literatura: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-Literatura-01.htm>

Un listado de la literatura y de las citas generadas

Galería de Fotos: <http://www.geo.uda.cl/glaciar/glaciar-Atacama-foto-01.htm>

Resumen de las actividades públicas:

Como existe una serie de actividades de difusión, difusión científica se resume:

Nombre	Lugar	Fecha	Característica	Notas
Seminario Glaciar	UDA	10/2014	Divulgación - científica	Charlas: Dr. Milana, Dr. Griem 70 personas
Lanzamiento proyecto	UDA	12/2014	Divulgación para todo el público	Charla Griem
Seminario: Criosfera	UDA	7/ 2015	Seminario, Charlas, difusión científica	Griem, Ulloa, Medina, Espinoza, Campos, García. 180 participantes
Presentación CORFO	Corfo, Copiapó	8/2015	Charla	Información a CORFO
Charla Redes neuronales	UDA	8/ 2015	Charla científica	Dr. O. Dölling, 30 personas
6 Presentaciones	La Serena	9/2015	2 Charlas	Ulloa, García,



en el Congreso geológico de La Serena			científicas 4 posters científicas	Medina, Espinoza, Campos, Riveros, Milana
Resultados proyecto criosfera en Visión Regional"	Hotel Chagall	12/2015	Charla divulgación científica	Charla Griem, Garcia
6 presentaciones públicas defensa tesis	UDA	1/2016 y 3/2016	Charlas científicas públicas ante de la comisión de evaluación	6 charlas con discusión en dos sesiones (40 personas)
Seminario Avance proyecto	Hotel Diego de Almagro	3/2016	Divulgación - científica	40 personas, Día mundial de agua
Stand en plaza	Plaza Copiapó	3/2016	Divulgación científica	Mucho interés
Lanzamiento Documental	Centro Cultural de Copiapó	6/2016	Divulgación	Alrededor 70 personas sala de cámara

5 Desafíos futuros

Temas relacionados con la criósfera muestran varios aspectos de interés regional, nacional y global. Por un lado, la simple necesidad de aumentar los recursos hídricos disponibles, además, los mecanismos y factores de cuerpos criosféricos en sectores áridos y de altura. Pero los intereses más importantes deberían tener preguntas relacionadas con el cambio climático global y su presencia en la criósfera de la cordillera de los Andes en Atacama.



6 Conclusiones

La ejecución de este proyecto permitió una mirada más cercana de la casi desconocida criósfera en Atacama. La magnitud de la importancia de los glaciares, permafrost y otras crioformas en Atacama no eran de conocimiento científico y público.

La ejecución de este proyecto permitió lograr los siguientes avances:

- Conocimiento integral de la distribución de crioformas en la Región de Atacama, Chile.
- Conocimiento de la cantidad de crioformas en Atacama
- Conocimiento de la distribución espacial y temporal de recursos nivales en la Región de Atacama.
- Conocimiento de los mecanismos que operan para la formación de recursos nivales y glaciares y permafrost.
- Amplio conocimiento en la comunidad de la Región de Atacama sobre la importancia de la criósfera
- Datos concretos de la disponibilidad teórica en recursos nivales traducidos en recursos hídricos
- Personas capacitadas en la Región de Atacama en el área de crioformas, criósfera y la aplicación de redes neuronales artificiales.



7 Anexos

7.1 ANEXO 1: Tesis de Titulación (6)

7.2 ANEXO 2: Publicaciones científicas

7.3 ANEXO 3: Charlas

7.4. ANEXO 4: Notas de Prensa

7.5 ANEXO 5: Cortes de Prensa