



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

**DINÁMICA DE GLACIARES ROCOSOS
EN EL CHILE SEMIÁRIDO:
PARTE I
PLAN DE MONITOREO**

REALIZADO POR:

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

S.I.T. N°: 234

Santiago, Diciembre 2010

ÍNDICE

Agradecimientos.....	V
Resumen ejecutivo	VI
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Objetivos.....	1
1.2.- Alcance	2
1.3.- Definiciones.....	2
2.- ANTECEDENTES.....	5
2.1.- Localización y topografía	5
2.2.- Glaciar rocoso Llano de las Liebres	8
2.3.- Glaciar rocoso Del Tapado	10
2.4.- Estudios previos del permafrost en el área	12
3.- MONITOREO DE LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES.....	13
3.1.- Objetivo de la instrumentación.....	13
3.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones	13
3.2.1.- <i>Equipo</i>	13
3.2.2.- <i>Instalación en terreno</i>	15
3.2.3.- <i>Procedimiento de configuración y toma de datos</i>	15
3.2.4.- <i>Métodos de análisis estadístico</i>	16
3.3.- Resultados y observaciones	17
4.- MONITOREO DE LAS TEMPERATURAS SUBSUPERFICIALES.....	20
4.1.- Objetivo de la instrumentación.....	20
4.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones	21
4.2.1.- <i>Perforaciones</i>	21
4.2.2.- <i>Equipo</i>	21
4.2.3.- <i>Detalle de instalación en terreno.</i>	24
4.2.4.- <i>Procedimiento de configuración y toma de datos</i>	27
4.3.- Resultados y observaciones	28
4.3.1.- <i>Estación Liebres 1</i>	28
4.3.2.- <i>Estación Liebres 2</i>	30
4.3.3.- <i>Estación Tapado 1</i>	32
4.3.4.- <i>Estación Tapado 2</i>	34
5.- MONITOREO DE LA DINÁMICA DE LOS GLACIARES ROCOSOS	37
5.1.- Objetivo de la instrumentación.....	37
5.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones	37
5.2.1.- <i>Equipo y principios de la medición GPS diferencial</i>	38

5.2.2.- <i>Instalación en terreno</i>	39
5.2.3.- <i>Procedimiento de configuración y toma de datos</i>	43
5.3.- <i>Resultados y observaciones</i>	45
5.3.1.- <i>Mediciones realizadas a la fecha</i>	45
5.3.2.- <i>Evolución temporal del desplazamiento</i>	45
6.- CAUDALES CERCANOS A GLACIARES ROCOSOS	49
7.- RECOMENDACIONES	52
8.- REFERENCIAS	54
9.- LISTADO DE ANEXOS DIGITALES	59
ANEXOS	60

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Típico régimen térmico del suelo en zonas de permafrost.....	4
Figura 2: Localización de la cuenca Río La Laguna y los glaciares rocosos monitoreados.	7
Figura 3: Glaciar rocoso Llano de las Liebres. Cuenca Río La Laguna. Región de Coquimbo ..	9
Figura 4: Glaciar rocoso Del Tapado. Cuenca Río La Laguna. Región de Coquimbo.	11
Figura 5: MTD modelo HOBO® Pro v2 (U23-004) con dos canales instalados para realizar las mediciones de temperatura en el terreno.	14
Figura 6: Diagrama de procesamiento de toma de datos.....	16
Figura 7: Distribución de los MTD sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres y áreas adyacentes.	18
Figura 8: Distribución de los MTD sobre el glaciar rocoso Del Tapado y áreas adyacentes.....	19
Figura 9: Perforación realizada en el glaciar rocoso Llano de las Liebres.....	22
Figura 10: Datalogger modelo HOBO® U-30 utilizado para realizar las mediciones de temperatura subsuperficial	23
Figura 11: Termistor HOBO modelo E348-S-TMB-M006 utilizado para realizar las mediciones de temperatura a diferentes profundidades	24
Figura 12: Distribución de las estaciones de monitoreo en profundidad sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres	25
Figura 13: Distribución de las estaciones de monitoreo en profundidad sobre el glaciar rocoso Del Tapado	26

Figura 14: Descarga de datos a través de Hobo Shuttle U30	27
Figura 15: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Liebres 1 en el glaciar rocoso Llano de las Liebres entre abril y diciembre 2010.....	29
Figura 16: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Liebres 1 en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres entre abril y diciembre 2010.....	30
Figura 17: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Liebres 2 en el glaciar rocoso Llano de las Liebres entre abril y diciembre 2010.....	31
Figura 18: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Liebres 2 en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres entre abril y diciembre 2010.....	32
Figura 19: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperaturas registrados en la estación Tapado 1 en el glaciar rocoso Del Tapado entre abril y diciembre 2010	33
Figura 20: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Tapado 1 en el glaciar rocoso Del Tapado entre abril y diciembre 2010	34
Figura 21: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Tapado 2 en el glaciar rocoso Del Tapado entre abril y diciembre 2010	35
Figura 22: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Tapado 2 en el glaciar rocoso Del Tapado entre abril y diciembre 2010	36
Figura 23: Medición de punto de monitoreo	39
Figura 24: Base fija construida en las cercanías del glaciar rocoso Del Tapado.....	40
Figura 25: Base fija construida en las cercanías del glaciar rocoso Llano de Las Liebres.....	40
Figura 26: Distribución de la red GPS instalada sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres....	41
Figura 27: Distribución de la red GPS instalada sobre el glaciar rocoso Del Tapado	42
Figura 28: Dirección y velocidad del desplazamiento en el glaciar rocoso Llano de las Liebres.....	47
Figura 29: Dirección y velocidad del desplazamiento en el glaciar rocoso Del Tapado.....	48
Figura 30: Localización de la estación fluviométrica. Glaciar rocoso Del Tapado.....	49

Figura 31: Relación entre nivel de agua y caudal. Estación fluviométrica del Tapado.....50

Figura 32: Altura de la columna de agua. Estación fluviométrica Del Tapado51

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de las principales características de localización de las cintas
termistores instaladas24

Tabla 2: Estado de las estaciones de monitoreo en profundidad.....28

Tabla 3: Coordenadas de las bases para el levantamiento44

Tabla 4: Fechas de las mediciones GPS realizadas.....45

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1: Antecedentes técnicos MTD HOBO® Pro v2 (U23-004).60

Anexo 2: Formulario de instalación y descarga de datos de los MTD61

Anexo 3: Dataloggers (MTD) temperatura HOBO® Pro v2 (U23-004) instalados.....63

Anexo 4: Ficha de antecedentes: Estación Liebres 1.....65

Anexo 5: Ficha de antecedentes: Estación Liebres 2.....68

Anexo 6: Ficha de antecedentes: Estación Tapado 1.....71

Anexo 7: Ficha de antecedentes: Estación Tapado 2.....74

Anexo 8: Ficha descriptiva GPS.....77

Anexo 9: Valores cinemáticos calculados en el glaciar rocoso Llano de las Liebres entre las
campañas de diciembre de 2009 y abril de 2010.78

Anexo 10: Valores cinemáticos calculados en el glaciar rocoso Del Tapado entre las
campañas de diciembre de 2009 y abril de 2010.79

AGRADECIMIENTOS

El equipo profesional agradece al Dr. Dario Trombotto y su equipo del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) por el apoyo dado en terreno para la campaña de perforaciones de la capa activa en profundidad. Al Dr. Gonzalo Barcaza, jefe de la Unidad de Glaciología y Nieves de la Dirección General de Aguas (DGA) y su equipo, en especial a Pablo Iribarren por el apoyo técnico y humano en las campañas de terreno realizadas. A los profesionales Rodrigo Cabrera y Héctor Orellana, además a los alumnos de geografía Nelly Troncoso, Paulina Vidal, Esteban Araya y Ángeles Gacitúa de la Universidad de Chile y Jotham Apaloo, Jason Goetz y Nicolas Svacina de la University of Waterloo por el apoyo humano en las campañas de terreno. Al hidrólogo Dr. Simón Gascoin del grupo Hidrología y Modelos del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Al Dr. Francisco Ferrando y sus alumnos del curso de glaciología de la Escuela de Geografía de la Universidad de Chile, por su activa participación en la penúltima campaña de terreno. A los alumnos Felipe Lobos y Fernanda Rojas por el apoyo técnico en la construcción del inventario. Finalmente al profesor Pablo Osses y a la secretaria Margot Lagos del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile por las diversas gestiones administrativas realizadas.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento describe el desarrollo y la implementación del plan de monitoreo de glaciares rocosos en el contexto de la acción de apoyo “Dinámica de glaciares rocosos en el Chile semiárido”. El monitoreo de glaciares rocosos es necesario para conocer de mejor forma su importancia como recurso hídrico y su comportamiento bajo el efecto del cambio climático.

Durante el mes de diciembre 2009 el equipo de trabajo del proyecto seleccionó dos glaciares rocosos, denominados Glaciar Rocoso Llano de las Liebres y Glaciar Rocoso Del Tapado, ambos localizados en la cuenca superior del río Elqui, Región de Coquimbo. La implementación de la red de monitoreo tiene por objetivo medir las condiciones térmicas superficiales y en profundidad, además de estudiar la dinámica de los glaciares rocosos a través de mediciones de GPS diferencial de precisión centimétrica. Antecedentes metodológicos, de instalación y mantención de los instrumentos de medición térmica y dinámica son entregados en el presente informe. Los trabajos de monitoreo realizados son los primeros de su tipo en el Chile semiárido.

Los resultados muestran que la capa activa en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres es de alrededor de 3 m de profundidad en la parte media, y supera los 8 m en la parte baja, en el caso de glaciar rocoso Del Tapado, la capa activa es superior a los 3 m en la parte alta y baja del glaciar rocoso, a partir de estas profundidades la temperatura tiende a mantenerse constante y cercana a 0°C, quedando en evidencia el límite superior del permafrost o tope del permafrost. Variaciones estacionales en la profundidad de la capa activa fueron detectadas en relación a los cambios de temperatura atmosférica. Ambos glaciares rocosos corresponden a formas activas y con distintas tasas de desplazamientos. Entre diciembre 2009 y abril 2010 el glaciar rocoso Llano de las Liebres presenta desplazamientos horizontales entre 4 cm y 4 m y desplazamientos verticales entre 9 cm y 53 cm. Por otro lado, el glaciar rocoso Del Tapado presenta desplazamientos horizontales entre 35 y 50 cm y desplazamientos verticales entre 1 y 2 cm.

1.- INTRODUCCIÓN

Los glaciares rocosos son una de las reservas más importantes de agua de los Andes semiáridos, teniendo un equivalente en agua superior al equivalente en agua de los glaciares en el Chile semiárido (Azócar & Brenning, 2010). Sin embargo, todavía no existen estudios de la dinámica de los glaciares rocosos en esta zona, por lo cual la Dirección General de Aguas (DGA) ha estimado conveniente la concreción de la presente acción de apoyo, que incluye la implementación de un monitoreo de la dinámica de glaciares rocosos y la realización de inventarios de glaciares rocosos.

El presente informe entrega información sobre la implementación de la red de monitoreo en los glaciares rocosos Llano de Las Liebres y Del Tapado, localizados en la cuenca superior del río Elqui. Se detallan antecedentes y resultados sobre el monitoreo de las temperaturas superficiales y subsuperficiales de glaciares rocosos y del ambiente periglacial, la dinámica de glaciares rocosos y estimaciones de caudales en zonas cercanas a éstos. A continuación se especifican en esta sección introductora los objetivos y alcances del plan de monitoreo implementado, y se presentan definiciones de conceptos fundamentales utilizados en este trabajo. Las secciones siguientes describen en detalle los métodos e instrumentos utilizados para medir cada una de las variables de interés, y entregan los primeros resultados del monitoreo realizado en el marco de este proyecto.

1.1.- Objetivos

De acuerdo con las Bases Técnicas y Administrativas relativas a esta acción de apoyo, los objetivos del plan de monitoreo de glaciares rocosos son:

- a) Medir las condiciones térmicas de los glaciares rocosos mediante sensores de temperatura en profundidad y superficie.
- b) Medir la dinámica (geométrica) de los glaciares rocosos mediante puntos GPS, *benchmarks* y una red de balizas en la superficie.
- c) Medir caudales provenientes de glaciares rocosos.

Los métodos de medición relativos a estos objetivos están ampliamente descritos en la literatura científica sobre esta temática (Barsch, 1996; Hoelzle *et al.*, 1999. Humlum & Matsuoka, 2003; Berger *et al.*, 2004; Lambiel & Delaloye, 2004; Trombotto & Borzotta, 2009).

1.2.- Alcance

El alcance del plan de monitoreo de glaciares rocosos incluye:

- Instalación de termistores tanto en superficie como al interior de la capa activa del glaciar rocoso.
- Mediciones de la dinámica de los glaciares rocosos, instalación de puntos de control y mediciones de las variaciones estacionales del desplazamiento..
- Interpretación de los datos recolectados tanto del monitoreo térmico, dinámico e hidrológico de los glaciares rocosos.
- Estimación del aporte hídrico de un glaciar rocoso mediante la medición de caudales.

1.3.- Definiciones

Con el fin de proveer contexto al siguiente escrito, esta sección revisa algunas definiciones y terminología relacionada al permafrost.

Periglacial: condiciones, procesos y formas del terreno asociadas al frío, en ambientes no glaciares.

Permafrost: es definido como todo terreno que se mantiene por debajo de 0°C durante al menos dos años consecutivos (NSIDC, 2010). Como resultado de ello, esta definición está basada estrictamente sobre su estado térmico y no sobre sus componentes, tales como el contenido de hielo, o tamaño de las partículas, o su congelamiento.

La formación y extensión del permafrost es controlada principalmente por dos factores (French, 2007):

- El balance de energía que controla la ganancia y pérdida de calor sobre la superficie de la tierra.
- El calor derivado desde el interior de la tierra, generalmente definido como gradiente geotérmico en profundidad.

Permafrost continuo: distribución del permafrost sin vacíos o interrupciones en amplios territorios. Ej.: Región de Siberia en el hemisferio Norte.

Permafrost discontinuo: es la ocurrencia de permafrost aislado con porcentajes variables de permafrost en regiones adyacentes libres de permafrost. Ej.: Zonas montañosas de la cordillera de los Andes.

Glaciar rocoso activo: es un cuerpo rocoso en forma de lengua o lóbulo compuesto de material no-consolidado, sobresaturado con hielo intersticial y lentes de hielo, que se mueve pendiente abajo, como consecuencia de la deformación del hielo contenido (Barsch, 1996). Por lo tanto, también se considera como la expresión geomorfológica del permafrost reptante de montaña (Barsch, 1996).

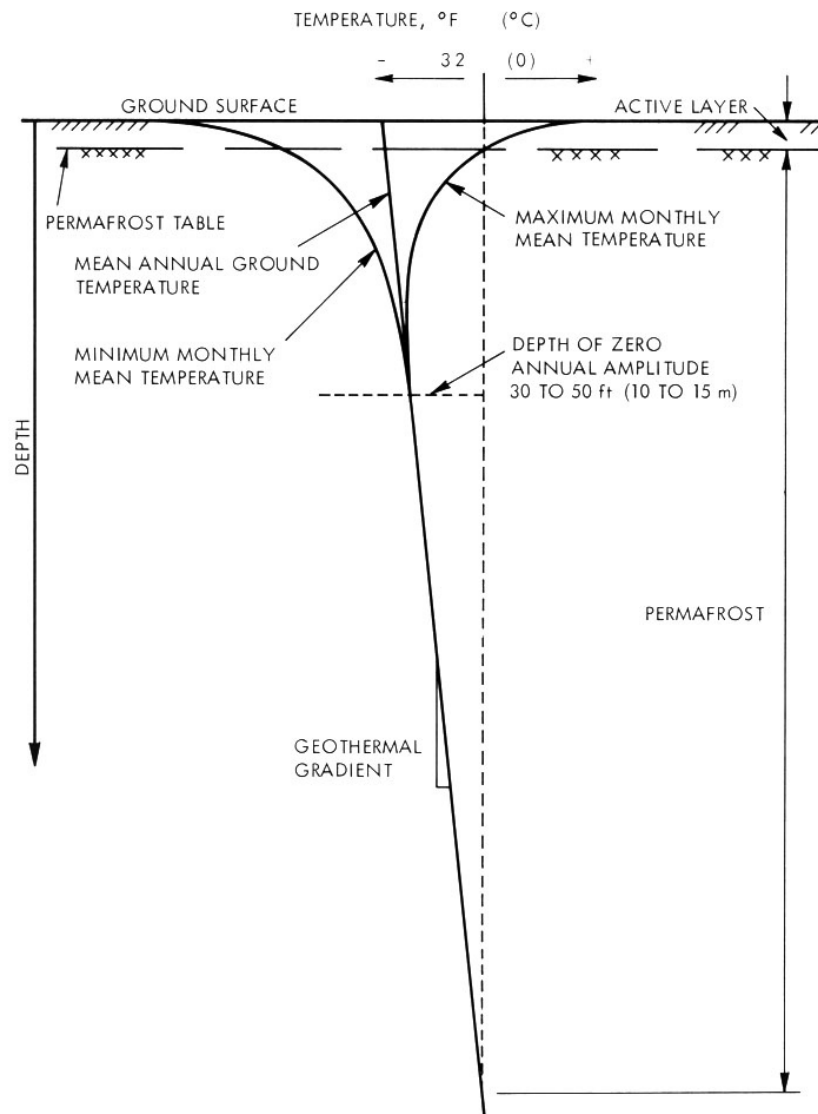
Glaciar rocoso inactivo: forma resultante de la desactivación de un glaciar rocoso activo como consecuencia de la degradación del permafrost (inactividad climática) o razones topográficas/dinámicas (inactividad dinámica). Los glaciares rocosos activos e inactivos se consideran **intactos**. Los glaciares rocosos que ya no contienen hielo se llaman glaciares rocosos **fósiles**.

Régimen térmico subsuperficial: está definido en relación a las variaciones de la temperatura al interior del suelo. La Figura 1 muestra un ejemplo del régimen térmico en un área típica de permafrost. Los siguientes términos son explicados sobre la base del esquema presentado en la Figura 1.

Capa activa (*active layer*): parte superior de la superficie del suelo sujeta a un descongelamiento y congelamiento estacional en área con presencia de permafrost subyacente.

Profundidad de la amplitud anual de cero grados (*depth of zero annual amplitude*): es la profundidad debajo de la cual no hay una fluctuación anual en la temperatura del suelo (variaciones no mayores a $0,1^{\circ}\text{C}$)

Figura 1: Típico régimen térmico del suelo en zonas de permafrost (fuente: Johnston, 1981).



2.- ANTECEDENTES

Durante el mes de diciembre 2009, el equipo de trabajo del proyecto seleccionó dos glaciares rocosos sobre la base de criterios de localización, forma, accesibilidad e importancia científica para la implementación de un plan de monitoreo en la cuenca superior del río Elqui.

2.1.- Localización y topografía

El área de estudio corresponde a la cuenca del río La Laguna, tributaria del río Elqui. La cuenca tiene una superficie aproximada de 566 km² y está situada entre los 30° 5,7' y los 30° 23,8' de Lat. Sur, longitudinalmente se sitúa a los 69° 59,1' Long. Oeste (Figura 2).

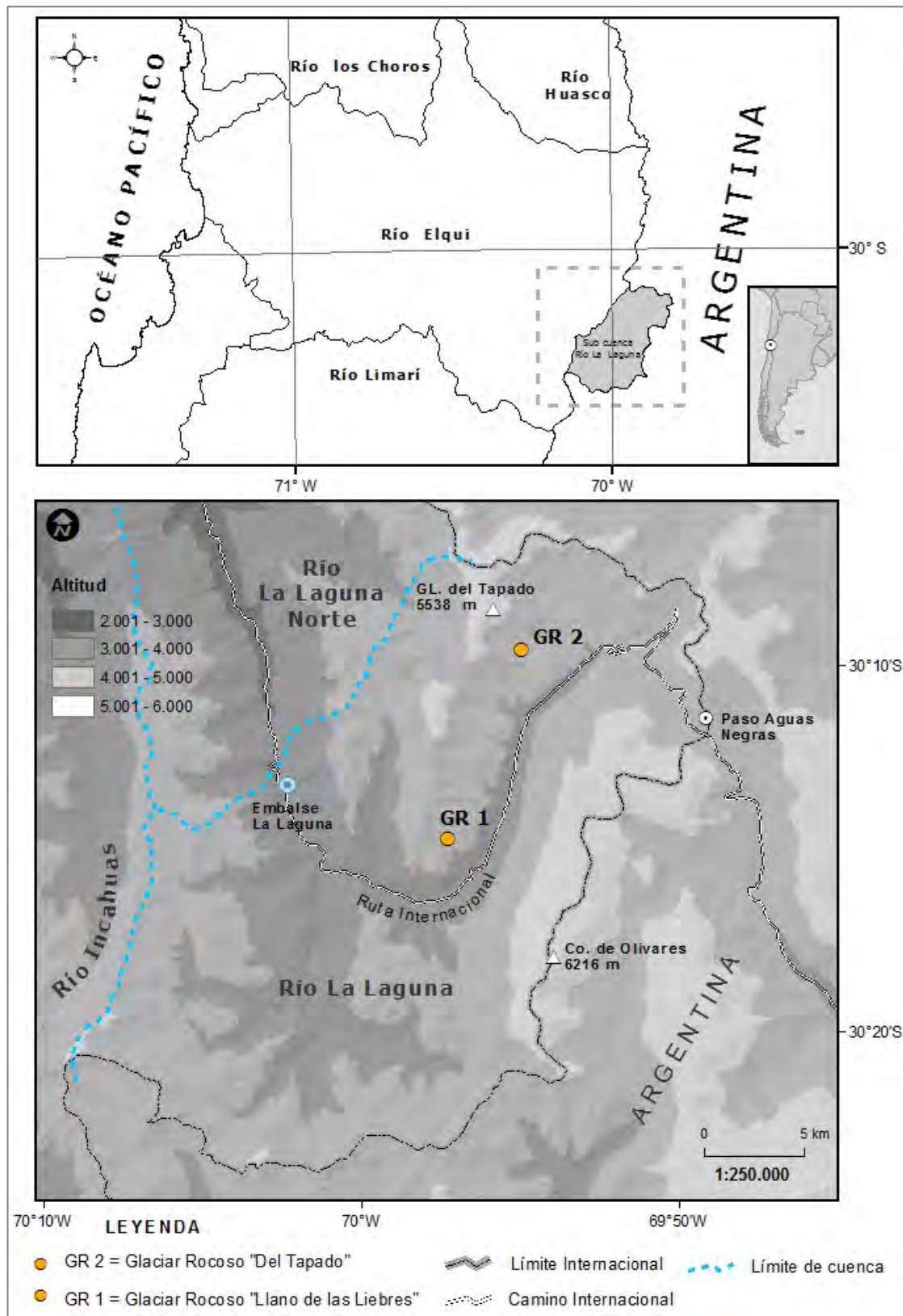
Administrativamente el sector se localiza dentro de la comuna de Vicuña en una zona limítrofe con la provincia de San Juan en territorio Argentino, en las cercanías de la ruta internacional Gabriela Mistral (Ruta 41), que comunica la región de Coquimbo con Argentina, a través del paso internacional de Agua Negra.

La cuenca se localiza en un dominio periglacial seco de alta montaña con cumbres que sobrepasan los 5.000 m s.n.m., con presencia de geomorfologías glaciales y periglaciales que se manifiestan en distintas formas. Entre las formas de origen glacial se encuentran los depósitos morrénicos, glaciares cubiertos y los circos glaciares en las cabeceras de las cuencas (Paskoff, 1970). Por otro lado, intensivos procesos de meteorización física y la ausencia de incisiones fluviales proveen excelentes condiciones para el desarrollo de pendientes rectilíneas en el área, constituyendo una forma importante del ambiente periglacial en esta zona (Brenning, 2005a). De la misma manera se observa una presencia importante de depósitos de avalanchas en el área.

La altitud de la línea de equilibrio (*Equilibrium Line Altitude*, ELA) actual de los glaciares en el área de estudio sigue los cambios meridionales en las precipitaciones y las temperaturas a escala regional. Ésta sobrepasa los 5.000 m s.n.m. a los 30° Lat. Sur (Cerro Tapado: ELA a los 5.300 m s.n.m.; Kull *et al.*, 2002). La isoterma actual de 0°C de temperatura media anual (MAAT) a esta latitud está situada a los 4.000-4.100 m s.n.m. (Brenning, 2005a).

En cuanto a los patrones de la distribución de glaciares rocosos, el límite inferior de ocurrencia de glaciares rocosos activos está situado a ~4.000 m s.n.m.; por otro lado, el límite inferior de glaciares rocosos intactos ocurre a los ~3.800 m s.n.m., valor que indica en forma relativa, el límite inferior de permafrost discontinuo de montaña (Brenning, 2005a; Azócar & Brenning, 2010).

Figura 2: Localización de la cuenca del río La Laguna y de los glaciares rocosos monitoreados.



2.2.- Glaciar rocoso Llano de las Liebres

El glaciar rocoso Llano de las Liebres en cuanto a su origen corresponde a una formación detrítica fluyente (permafrost rico en hielo) en forma de lengua, de gran longitud y ancho, iniciada al pie de taludes expuestos al Sur y al Sur-Oeste y cuya zona de origen se divide en dos partes parcialmente desconectadas del cuerpo principal por un escarpe estructural. El relieve superficial se encuentra muy bien desarrollado con presencia de surcos y cordones transversales y longitudinales. La mayor parte del material detrítico superficial varía de tamaño fino a medio a lo largo de toda su superficie. La unidad principal del glaciar rocoso se desarrolla sobre una forma más antigua que aparece debajo de la lengua principal (Figura 3).

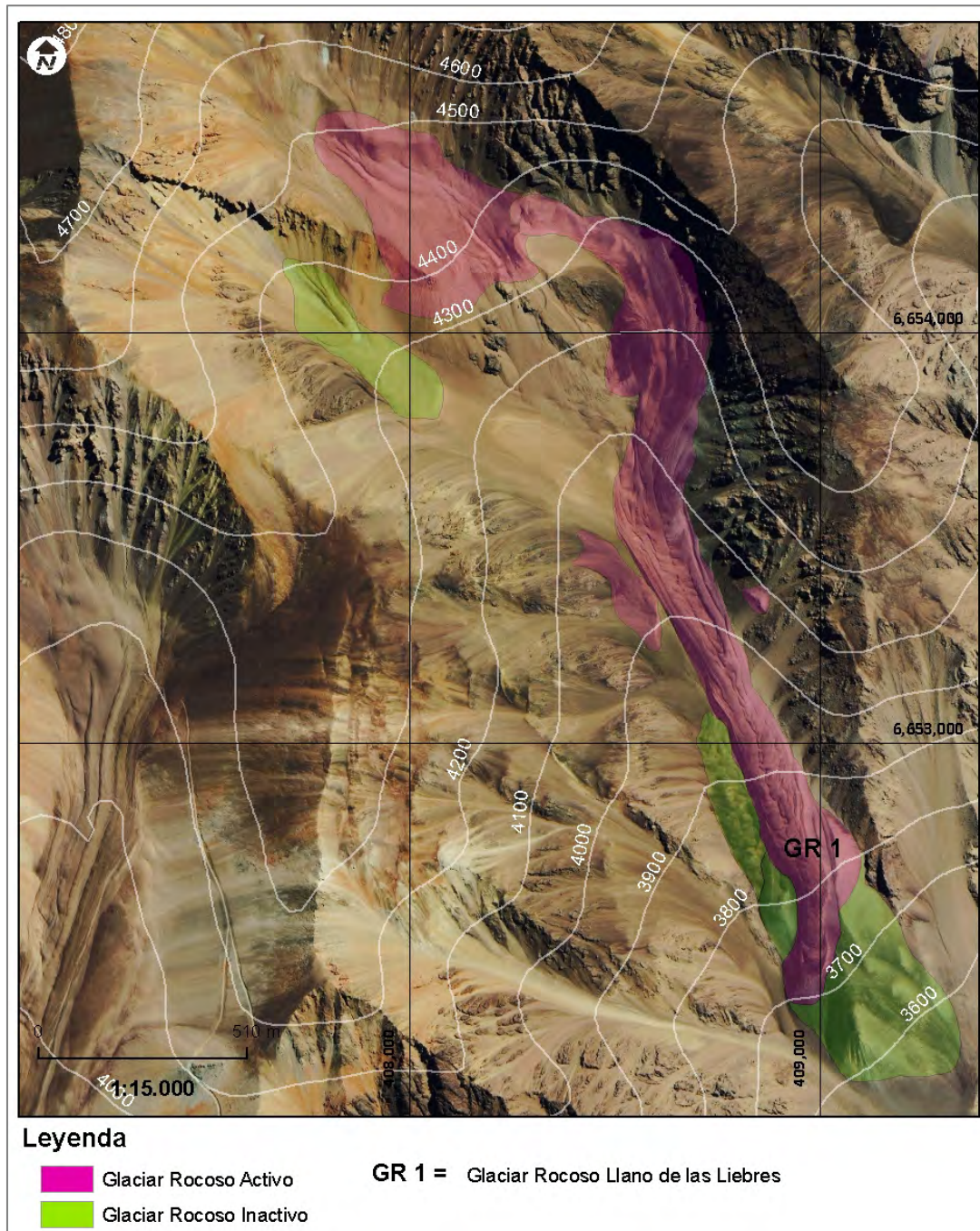
La geología en el área está constituida esencialmente por rocas de origen volcánico (Mpodozis & Cornejo, 1988). La subcuenca en la cual se localiza el glaciar rocoso Llano de las Liebres se caracteriza por la presencia de diversos tipos de rocas. La parte alta de la subcuenca está constituida por brechas, lavas y tobas del Paleozoico Superior-Triásico inferior perteneciente a la formación Pastos Blancos, al oeste del glaciar rocoso se localiza una zona de alteración hidrotermal con presencia de sulfatos (yeso, alunita, anhidrita y jarosita). La parte baja de la subcuenca se encuentra la unidad de León que intruye a la formación Pastos Blancos, esta unidad está constituida por rocas graníticas rosadas de grano medio (Mpodozis & Cornejo, 1988).

Respecto de su dinámica, el glaciar rocoso Llano de las Liebres puede ser clasificado como activo, es decir, ha experimentado desplazamientos verticales y horizontales producto de la deformación de la masa de hielo y detritos. El control topográfico llevado a cabo ha corroborado esta interpretación que inicialmente estaba basada en la morfología de su frente. Sin embargo, la forma activa está moviéndose sobre una unidad que se encuentra inactiva, según la interpretación morfológica.

El glaciar rocoso Llano de las Liebres está localizado en un valle tributario al norte del río La Laguna, y se extiende altitudinalmente desde los 3.600 m s.n.m. hasta los 4.300 m s.n.m.

aproximadamente. Según su tamaño corresponde a un glaciar rocoso grande¹ (0,33 km²), con una pendiente frontal superior al ángulo de reposo del material.

Figura 3: Glaciar rocoso Llano de las Liebres. Cuenca río La Laguna. Región de Coquimbo.



¹ Según clasificación de Barsch (1996), glaciar rocoso pequeño < 0,01 km², glaciar rocoso mediano entre 0,01 y 0,1 km², glaciar rocoso grande > 0,1 km².

2.3.- Glaciar rocoso Del Tapado

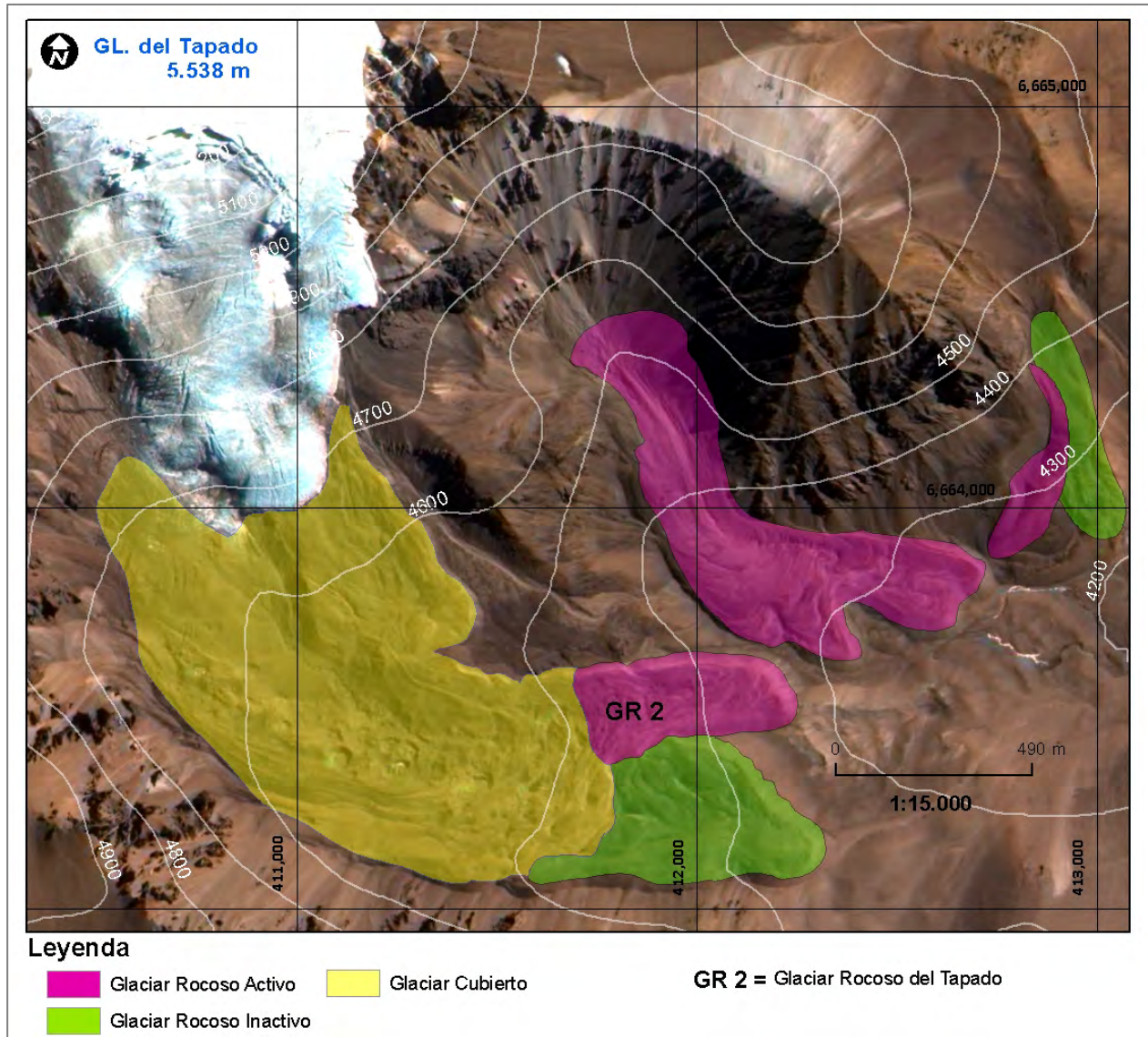
El glaciar rocoso Del Tapado en cuanto a su origen corresponde a un glaciar rocoso de tipo morrénico localizado en la cabecera de la cuenca y con conexión directa al glaciar cubierto Del Tapado. El relieve superficial se encuentra muy bien desarrollado con presencia de surcos y cordones transversales, el material detrítico superficial varía de tamaño fino a medio. En cuanto a su estructura corresponde a un tipo singular cuya lengua se divide en dos partes que se desarrollan sobre antiguos cordones morrénicos (Figura 4).

La subcuenca en la cual se localiza el glaciar rocoso Del Tapado se caracteriza por la presencia de ignimbritas riolíticas, tobas dacíticas y escasas intercalaciones de lavas andesítico-basálticas en la parte alta de la cuenca pertenecientes a la formación Doña Ana (Miembro Tilito) del Oligoceno Superior-Mioceno inferior (Mpodozis & Cornejo, 1988). La parte media-baja de la subcuenca está constituida por brechas, lavas y tobas del Paleozoico Superior-Triásico inferior perteneciente a la formación Pastos Blancos. Del mismo modo, los depósitos cuaternarios en el sector son en su mayoría de origen glacial y glaciofluvial, existiendo formas morrénicas en la parte superior del glaciar rocoso y sedimentos de origen crionival (Mpodozis & Cornejo, 1988).

Respecto de su dinámica, el glaciar rocoso Del Tapado puede ser clasificado como activo, con presencia de desplazamientos verticales y horizontales (ver punto 5: Monitoreo Dinámica).

El glaciar rocoso está localizado en una vertiente al Oeste del Estero El Empalme, afluente del río La Laguna. Su frente se encuentra a una altitud aproximada de 4.350 m s.n.m. Según su tamaño corresponde a un glaciar rocoso grande (0,11 km²) con una pendiente frontal superior al ángulo de reposo del material.

Figura 4: Glaciar rocoso Del Tapado. Cuenca río La Laguna. Región de Coquimbo.



2.4.- Estudios previos del permafrost en el área

La geomorfología periglacial a esta latitud de los Andes ha sido ampliamente estudiada y descrita por varios autores, tanto dentro del área de estudio como también en zonas aledañas en la vertiente oriental de los Andes bajo condiciones climáticas similares. Paskoff (1970) realizó trabajos de fotointerpretación geomorfológica en el área. Schrott (1994, 1996, 1998) llevó a cabo investigaciones sobre la hidrología de los glaciares rocosos, además de señalar la importancia del aporte de la radiación solar al control de la temperatura del suelo en los Andes de San Juan, Argentina. La estructura interna de algunos de los glaciares rocosos y su influencia en el sistema hídrico ha sido estudiada por métodos geofísicos en el área del Paso de Agua Negra, tanto en lado chileno como argentino (Milana & Maturano, 1999; Croce & Milana, 2002; Milana & Güell, 2008; Lecomte *et al.*, 2008). Estas publicaciones entregan conclusiones con respecto al origen, variación de la capa activa y contenido de hielo de los glaciares rocosos. Milana & Güell (2008) concluyeron que los glaciares rocosos de origen glacial (es decir morrénico) poseen entre un 20 y 47 % contenido de hielo, además de una capa activa de menor profundidad (4 m), en comparación de los glaciares rocosos de origen periglacial (es decir de talud) que poseen entre un 58 y 88 % de hielo y un espesor de la capa activa de 11 m.

Investigaciones sobre la importancia hidrológica-geomorfológica y de los factores de control climático-topográfico de los glaciares rocosos han sido realizadas por medio de análisis estadísticos, en el contexto de la distribución de los glaciares rocosos en los Andes áridos Chilenos y los Andes de San Juan, Argentina (Brenning, 2005; Azócar & Brenning, 2010; Brenning & Azócar, 2008, 2010; Esper Angillieri, 2010). Azócar & Brenning (2010) determinaron una concentración significativa de glaciares rocosos a los 30-31° Lat. Sur además de su importancia como reservorios de agua, ya que el equivalente en agua de los glaciares rocosos es aproximadamente ocho veces más grande que el equivalente en agua de los glaciares en el área (glaciares rocosos: 0.48 km³; glaciares: 0.06 km³; Azócar & Brenning, 2010).

3.- MONITOREO DE LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES

3.1.- Objetivo de la instrumentación

Las temperaturas superficiales del suelo se deben a la interacción entre los factores climáticos externos, la cubierta de nieve, y el subsuelo con la posible presencia de permafrost. Sus variaciones son la expresión de los intercambios convectivos y advectivos de energía. Las temperaturas superficiales del suelo son una variable que es relativamente fácil de medir espacialmente mediante una red de monitoreo, y por lo tanto permite interpolar observaciones puntuales más detalladas realizadas en perforaciones de la capa activa. Las temperaturas superficiales medidas en invierno debajo de una cobertura nival estable se consideran un buen indicador de las condiciones térmicas subsuperficiales y en particular de la presencia de permafrost de montaña, cuyo método se basa en la medición de la temperatura basal del manto nival (*basal temperature of snow*, BTS; Haeberli, 1973; Brenning *et al.*, 2005).

En este sentido el objetivo de la instrumentación es realizar mediciones de temperatura en la superficie del glaciar rocoso y detectar una cubierta nival tanto en superficie como en áreas adyacentes.

3.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones

El equipo utilizado marca HOBO es ampliamente utilizado a nivel mundial en diferentes condiciones climáticas para el monitoreo de precisión de factores ambientales.

3.2.1.- Equipo

En total se instalaron 38 registradores de temperatura (Miniature Temperature Datalogger, MTD) HOBO® Pro v2 (U23-004). Este tipo de MTD de dos canales posee un sensor externo de temperatura conectado a través de un cable de 1,9 m de largo, además de un sensor interno de temperatura dentro de la caja del MTD. Ambos canales miden con una precisión de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$

(Figura 5). Los datos son extraídos mediante vínculos de comunicación óptica (Figura 6). La batería del equipo permite una autonomía energética nominal de tres años aproximadamente.

Experiencias con el mismo tipo de MTD y baterías en la Cordillera de los Andes en Santiago sugieren que es probable que las baterías duren al menos dos años bajo estas condiciones ambientales, pero se recomienda cambiar las baterías después de 2 años de registros para evitar una posible pérdida de datos.

Detalles técnicos adicionales de los MTD están disponibles en el Anexo 1. Cabe destacar que los MTD fueron calibrados días previos a la instalación en terreno al punto de congelamiento con un baño a 0°C de agua y hielo.

Figura 5: MTD modelo HOBO® Pro v2 (U23-004) con dos canales instalados para realizar las mediciones de temperatura en el terreno.



3.2.2.- Instalación en terreno

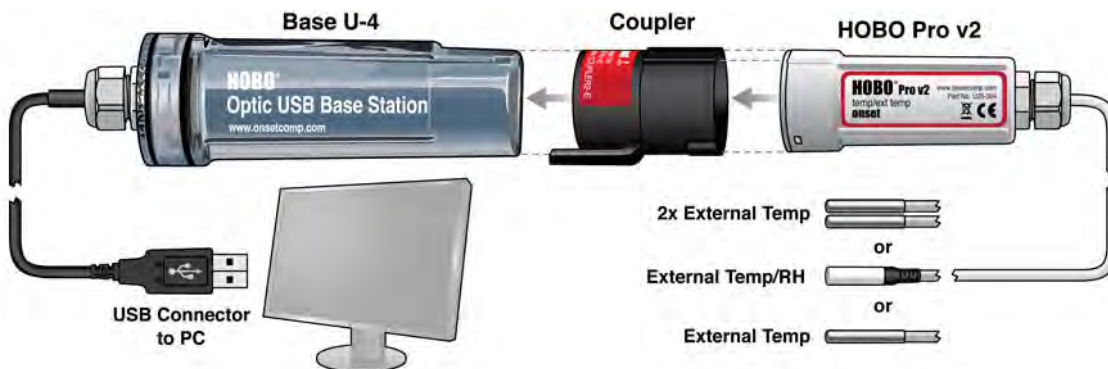
Los MTD fueron utilizados para medir temperatura superficial del suelo y detectar una cubierta nival a 50 cm sobre el suelo. Los sensores fueron distribuidos sobre el glaciar rocoso y alrededores de manera aproximadamente estratificada, según altitud y exposición a la radiación solar para permitir un análisis estadístico adecuado descrito en sección 3.2.4. (Brenning *et al.*, 2005). Los intervalos de medición son de 30 minutos en cada MTD permitiendo una grabación continua de datos durante 451 días. Se utilizaron tubos de PVC como mástiles para los sensores externos a 50 cm de altura. Una muestra del formulario de instalación y descarga de datos es presentada en el Anexo 2 del presente informe.

En total 19 MTD fueron instalados en el glaciar rocoso Llano de las Liebres y 19 en el glaciar rocoso Del Tapado. El Anexo 3 presenta un resumen de los MTD instalados, incluyendo características para su identificación, fecha de inicio de las mediciones, localización, elevación y tipo de material superficial. Las Figuras 7 y 8 muestran la distribución espacial de los MTD en cada uno de los glaciares rocosos. Fotografías de los puntos de instalación están disponibles en el Anexo digital 1.

3.2.3.- Procedimiento de configuración y toma de datos

El datalogger HOBO Pro v2 utiliza un vínculo de comunicación óptica compatible con el Shuttle HOBO U-DTW-1 y su adaptador (coupler) para la configuración del instrumento y la extracción de sus datos. El Shuttle se puede utilizar en forma autónoma para descargar datos de los MTD y reiniciarlos automáticamente en terreno sin tener acceso a un computador. Una vez extraídos los datos, el Shuttle es conectado al computador mediante una conexión USB y sus datos son descargados mediante el software de procesamiento HOBOWare® Pro. Pasos técnicos para la descarga y configuración de los MTD son entregados en el protocolo de descarga de datos para “Miniature Temperature Datalogger, MTD HOBO® Pro v2 (U23-004)”.

Figura 6: Diagrama de procesamiento de toma de datos.



3.2.4.- Métodos de análisis estadístico

Para hacer el mejor uso de las series de tiempo de temperaturas superficiales obtenidas, se recomienda realizar un análisis estadístico con los siguientes pasos:

- 1) Derivar de las series de tiempo anuales variables tales como la temperatura media anual en la superficie del suelo, temperatura BTS, y duración de la cobertura nival.
- 2) Ajustar modelos lineales de efectos mixtos (linear mixed-effects models) que relacionen las variables térmicas como variables de respuesta con atributos de terreno y características del sitio como variables explicativas.

El uso de modelos lineales de efectos mixtos combinan las variables explicativas tradicionales conocidas de la regresión lineal, con los llamados efectos aleatorios que pueden representar, por ejemplo, un diseño de muestreo jerárquico como el que está presente en el monitoreo de temperaturas superficiales. Aquí, los sitios de los data loggers están agrupados en dos áreas (Del Tapado y Las Liebres) y dentro de estas áreas generalmente en pares de data loggers según la microtopografía (exposición al viento). Pinheiro & Bates (2000) introducen en forma general estos métodos y su implementación en los software estadísticos R y S-Plus.

Cabe destacar que este análisis estadístico no forma parte del presente informe dado que los datos necesarios se obtuvieron a fines de la duración del proyecto.

3.3.- Resultados y observaciones

Durante la última campaña de diciembre 2010 fueron descargados los datos de los MTD. Del total de equipos, solo dos presentaron valores erráticos en su registro y otro fue dañado por animales o intervención humana. Los datos de temperatura de los MTD están disponibles en el Anexo digital 2. No obstante, para un análisis más detenido se requieren datos multianuales y un análisis estadístico con modelos lineales de efectos mixtos. Estos últimos deben reflejar el diseño de muestreo utilizado, con sitios agrupados en pares y distribuidos en dos áreas de estudio (ver sección 3.2.4.).

Figura 7: Distribución de los MTD sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres y áreas adyacentes.

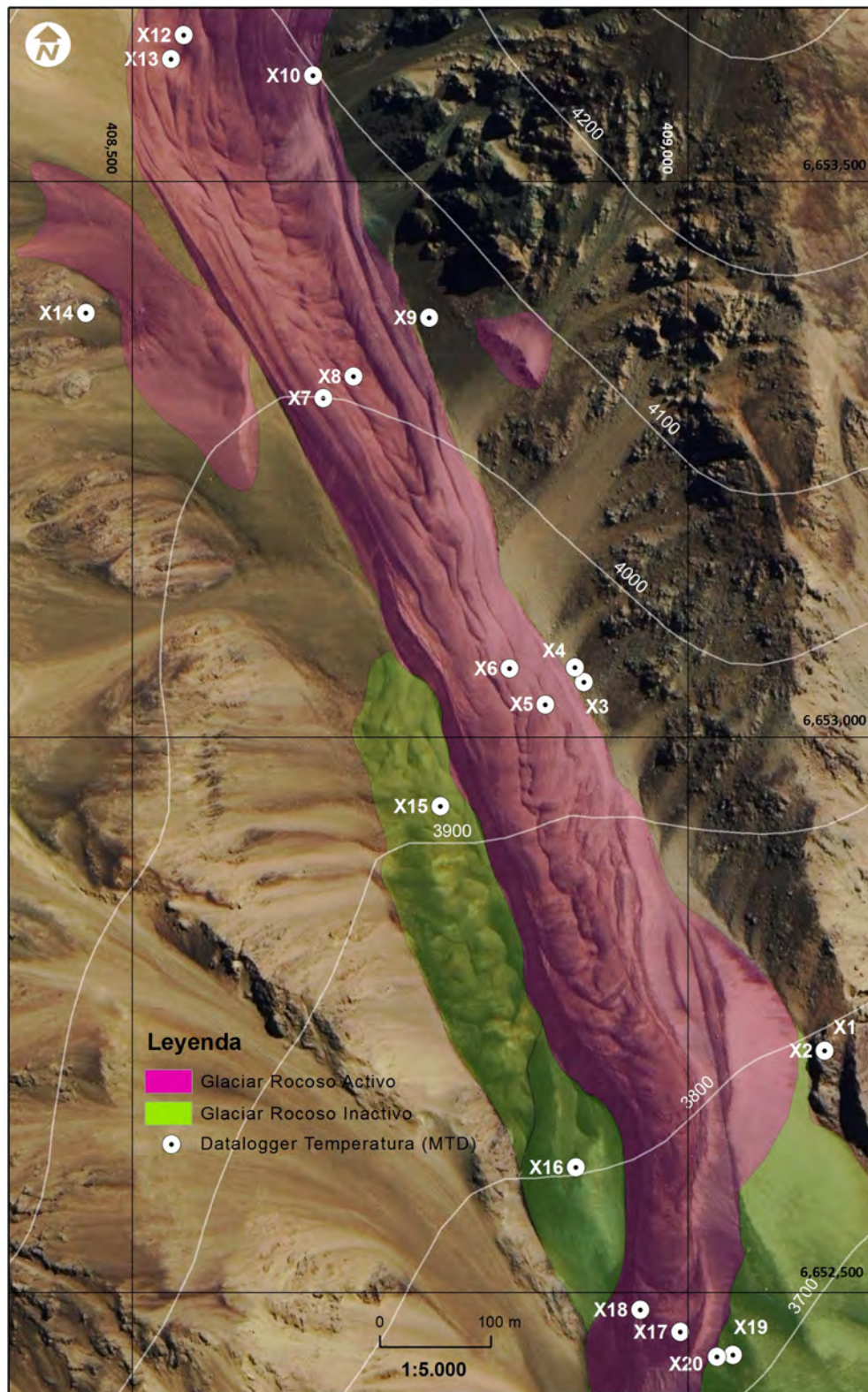
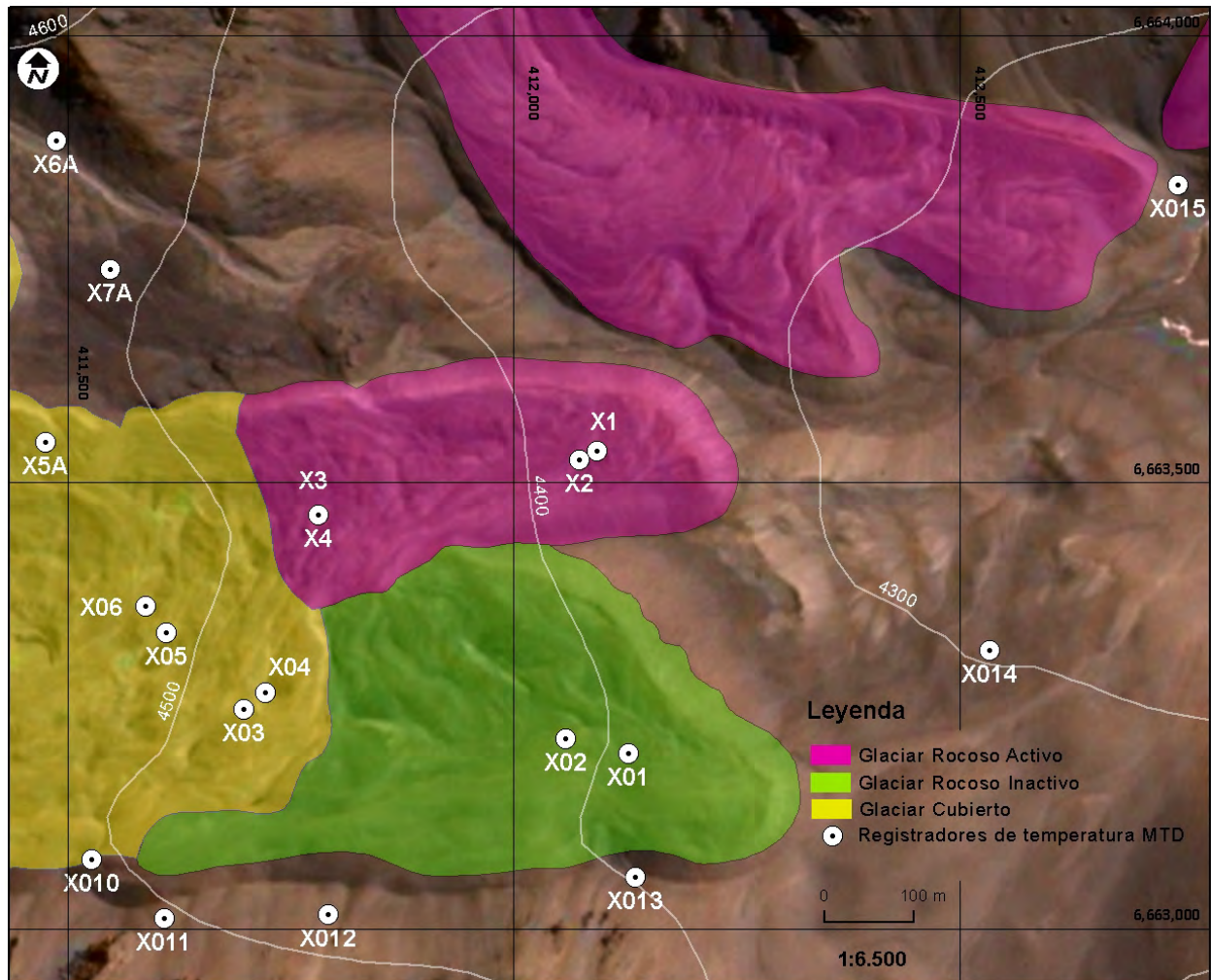


Figura 8: Distribución de los MTD sobre el Glaciar Rocosó Del Tapado y áreas adyacentes.



4.- MONITOREO DE LAS TEMPERATURAS SUBSUPERFICIALES

4.1.- Objetivo de la instrumentación

La medición de temperaturas en hoyos de perforación ha sido utilizada ampliamente para obtener mejor información sobre el comportamiento interno de las superficies con permafrost (Barsch, 1996; Trombotto & Borzotta, 2009). En general las temperaturas en un glaciar rocoso activo varían en función de factores externos, como el clima (radiación, calor advectivo), influencias paleoclimáticas y sedimentológicas; acumulación de nieve; flujo de calor entre la atmósfera y la superficie del glaciar rocoso; factores internos tales como el intercambio de calor latente por el cambio de fase en la capa activa y el flujo calórico geotermal.

La caracterización del permafrost y su desarrollo en el largo plazo (degradación/agradación) requiere de mediciones del régimen térmico superficial y subsuperficial en términos de la profundidad de la capa activa, la profundidad de la amplitud anual de cero y de los gradientes geotérmicos (Humlum y Matsuoka, 2004).

En consecuencia, el objetivo de la instrumentación es medir temperaturas subsuperficiales para conocer el régimen térmico de la capa activa y asimismo mejorar nuestro conocimiento de las relaciones entre el permafrost y el clima.

4.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones

4.2.1.- Perforaciones

Los hoyos de perforación para la instalación de la cinta termistora fueron realizados por medio de una perforadora a percusión para suelos detríticos criogénicos creada por del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Mendoza, Argentina. La perforadora se caracteriza por su fácil ensamblaje en terreno, permite realizar perforaciones en forma rápida y de manera eficiente hasta el tope del permafrost.

En total fueron realizadas dos perforaciones en cada uno de los glaciares rocosos. Se alcanzaron profundidades entre 2,67 m y 7,64 m en el glaciar rocoso Llano Llano de las Liebres. Por otro lado, se alcanzaron profundidades entre 2,07 m y 2,4 m en el glaciar rocoso Del Tapado. Mayores antecedentes sobre las perforaciones pueden ser vistos en los Anexos 4, 5, 6 y 7. La Figura 9 muestra el funcionamiento de la perforadora en terreno.

4.2.2.- Equipo

El objetivo de la instrumentación es medir temperaturas subsuperficiales para conocer el régimen térmico de la capa activa y las relaciones entre permafrost y clima.

Los dataloggers adquiridos corresponden al modelo HOBO-U30 (Figura 10); por otro lado, las cintas termistoras utilizados fueron los modelos E348-S-TMB-M006 / E348-S-TMB-M017 (Figura 11). Cada datalogger es abastecido en términos energéticos a través de paneles solares y en caso de falla técnica poseen una batería interna con autonomía energética de dos años aproximadamente. Materiales de ferretería comprados en el mercado local fueron utilizados para la construcción y fijación de los mástiles. La Figura 10 muestra las características físicas del instrumento instalado en un sitio de monitoreo.

Figura 9: Perforación realizada en el glaciar rocoso Llano de las Liebres. A) Perforación; B) Masa de hierro; C) Ingreso de la cinta al tubo; D) Corte del excedente del tubo.



Figura 10: Datalogger modelo HOBO® U-30 utilizado para realizar las mediciones de temperatura subsuperficial.



Figura 11: Termistor HOBO modelo E348-S-TMB-M006 utilizado para realizar las mediciones de temperatura a diferentes profundidades.



4.2.3.- Detalle de instalación en terreno.

El equipo encargado del proyecto junto al Dr. Darío Trombotto y su equipo del IANIGLA instalaron durante el mes de abril 2010 un total de 4 cables termistores para medir temperaturas a diferentes profundidades en el glaciar rocoso Llano de las Liebres y en el glaciar rocoso Del Tapado.

En general todos los sitios están localizados sobre zonas planas tanto en la parte baja como superior de ambos glaciares rocosos (Figuras 12 y 13).

La siguiente tabla resume las principales características de localización de las cintas termistoras instaladas:

Tabla 1: Resumen de las principales características de localización de las cintas termistores instaladas

Fecha de instalación	Nombre estación	Elevación (m s.n.m)	Norte*	Este*	Profundidad vertical** (m)
2010-04-12	Liebres 1	4050	408613,0	6653475,6	-2,67
2010-04-12	Liebres 2	3786	408992,9	6652463,9	-7,64
2010-04-13	Tapado 1	4440	411988,7	6663517,9	-2,07
2010-04-13	Tapado 2	4405	412154,5	6663498,1	-2,4

* Coordenadas tomadas en el Datum WGS 84 – UTM 19 Sur

** Profundidad a la cual se alcanzó hielo o roca masiva.

Figura 12: Distribución de las estaciones de monitoreo en profundidad sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres.

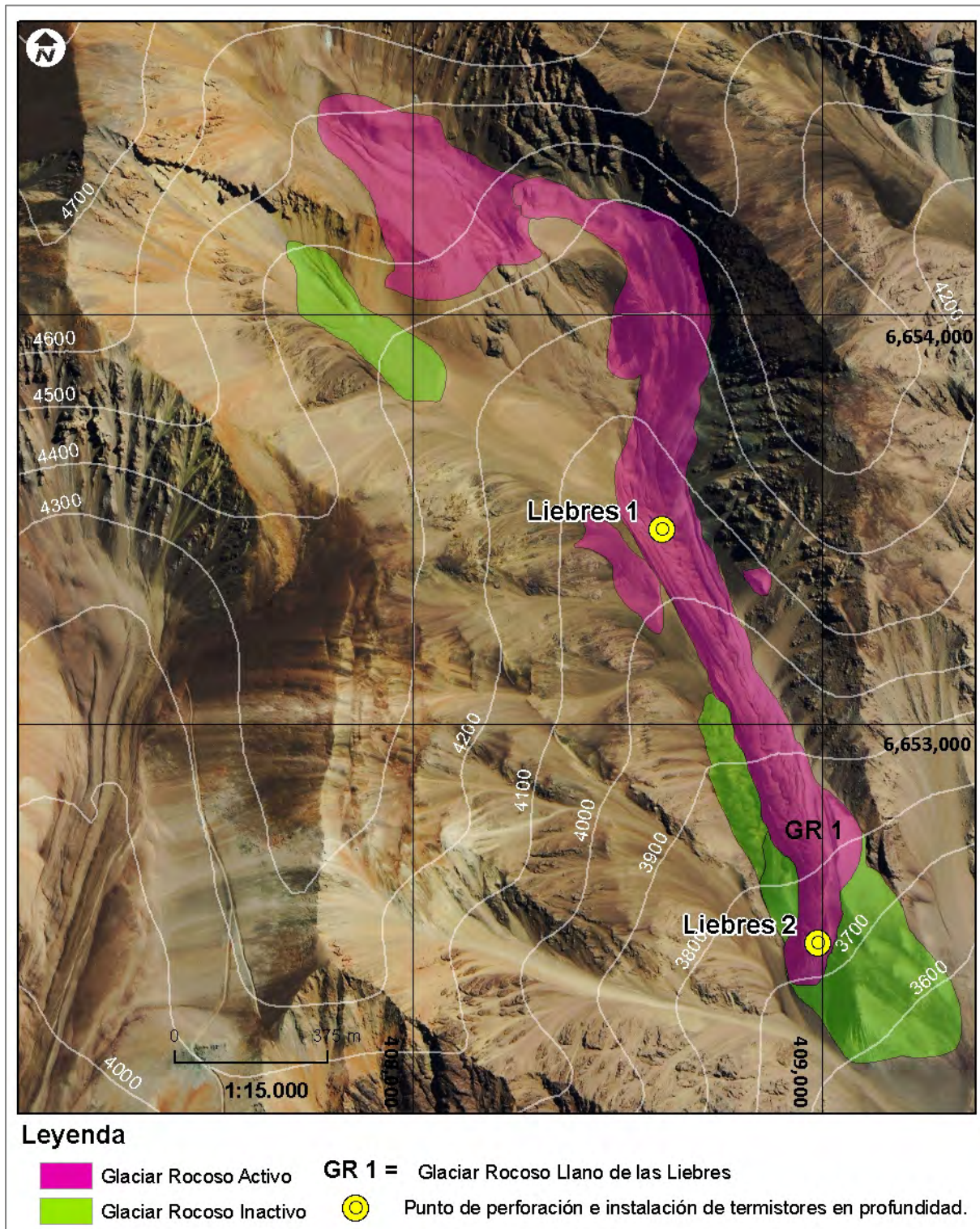
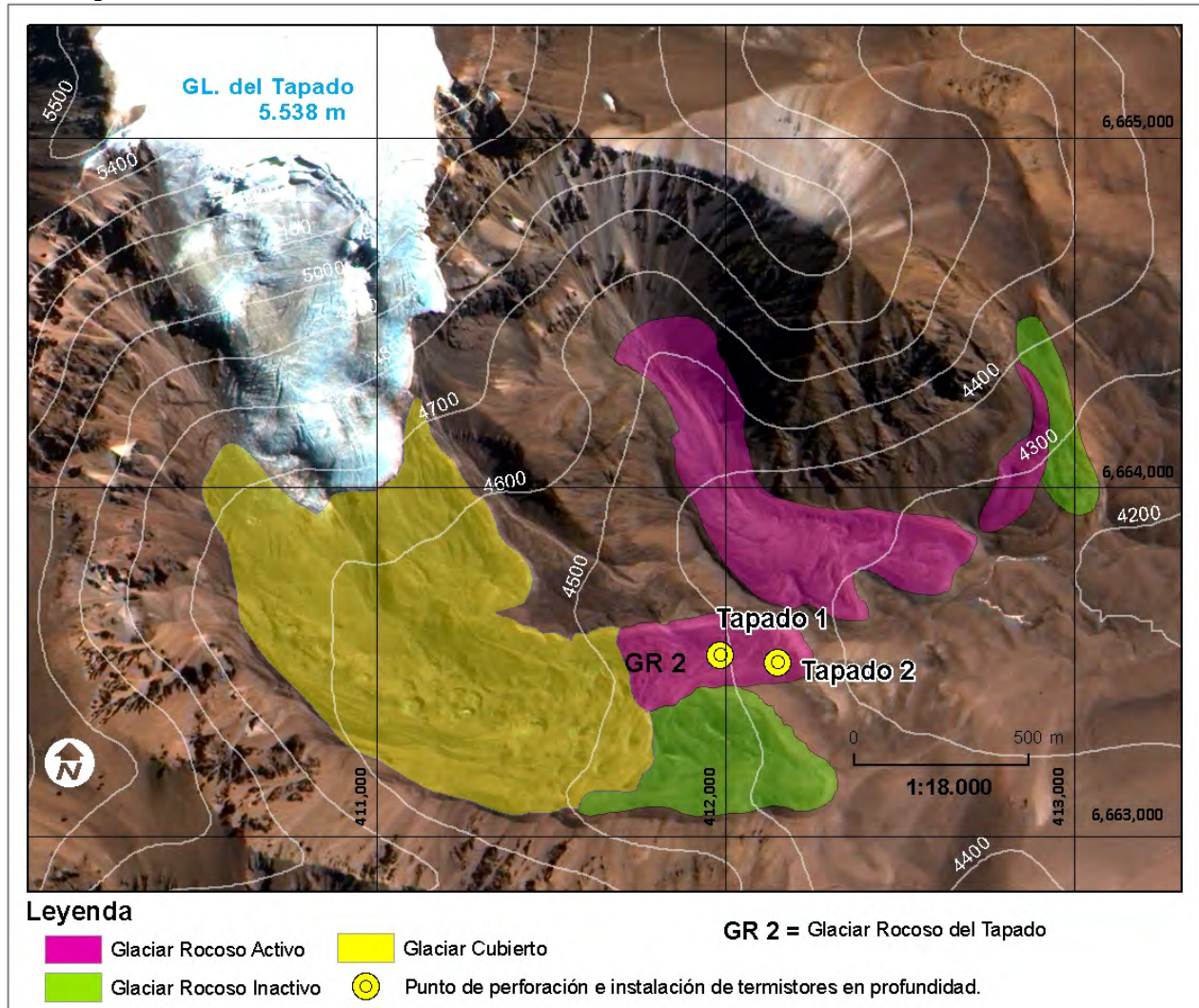


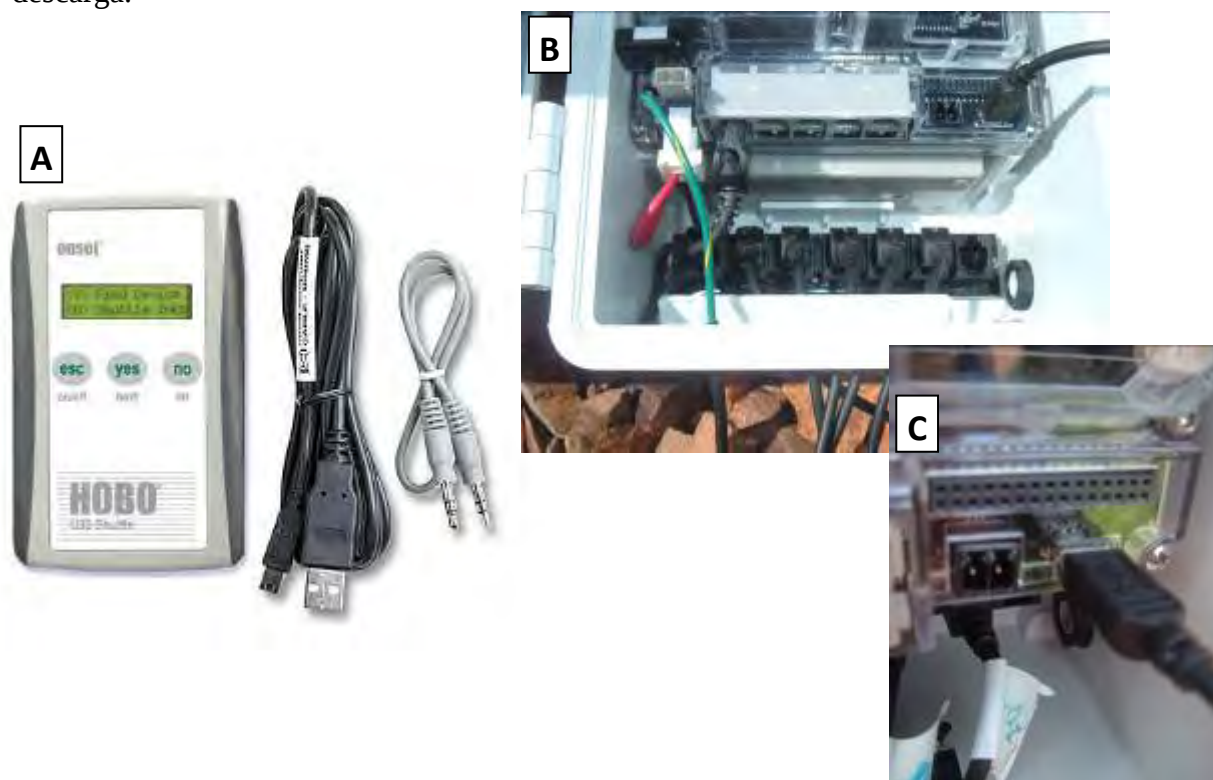
Figura 13: Distribución de las estaciones de monitoreo en profundidad sobre el glaciar rocoso Del Tapado.



4.2.4.- Procedimiento de configuración y toma de datos

El datalogger HOBO® U-30 utiliza un vínculo de comunicación mini USB compatible con el Hobo Shuttle U30 para la configuración del instrumento y la extracción de sus datos. Una vez extraídos los datos, el Shuttle es conectado al computador mediante una conexión USB y sus datos son descargados mediante el software de procesamiento HOBOWare® Pro (Figura 14).

Figura 14 : Descarga de datos a través de Hobo Shuttle U30. A) Hobo Shuttle U30 y accesorios B) Vista general del panel de control C) Acercamiento al punto de conexión USB para la descarga.



4.3.- Resultados y observaciones

Durante el mes de diciembre 2010 fueron descargados los datos de temperatura en profundidad de los datalogger instalados en la zona. Sólo las estaciones Liebres 2 y Tapado 2 entregaron datos continuos y de confianza, a diferencia de las estaciones Liebres 1 que presentó valores erráticos en su registro. En el caso del Tapado 1, los fuertes vientos de la zona derribaron la estación durante el invierno. Ambas estaciones fueron reparadas en los últimos terrenos y actualmente se encuentran operativas. La siguiente tabla resume el estado de las estaciones al momento de la descarga de datos.

Tabla 2: Estado de las estaciones de monitoreo en profundidad.

Estación	Lecturas disponibles	Estado de los datos	Comentarios
Liebres 1	Entre el 12/04/2010 al 31/12/2010	Regular	Problemas de registro en los sensores localizados a -1m,-0,5m,-0,2m entre el 11/06/2010 y el 05/12/2010.
Liebres 2	Entre el 12/04/2010 al 31/12/2010	Buena	Disponibilidad completa de datos para el periodo señalado.
Tapado 1	Entre el 13/04/2010 al 31/12/2010	Buena	Disponibilidad completa de datos para el periodo señalado.
Tapado 2	Entre el 13/04/2010 al 31/12/2010	Regular	Problemas de registro en todos los sensores debido a caída de la estación entre el 14/06/2010 y el 06/12/2010.

A continuación se analizan los resultados de las mediciones. El corto período de lectura sólo permite determinar una profundidad mínima de la capa activa en cada sitio. Para un análisis más detenido se requiere de datos tomados durante varios años consecutivos. Los datos originales están disponibles en el Anexo digital 3.

4.3.1.- Estación Liebres 1

El sensor a mayor profundidad del suelo (2,7 m) se ha mantenido con temperaturas bajo 0°C durante la mayor parte del tiempo de medición, no obstante, variaciones estacionales hacia temperaturas positivas entre 0,1 y 0,4°C indican que la profundidad de la capa activa es

levemente superior a los 2,7 m (Figura 15). Extrapolando las temperaturas medias del suelo hacia mayores profundidades, se estima una profundidad de la capa activa de descongelamiento estacional de por lo menos 3,0 m. En los sensores superiores se observa el efecto de descenso de las temperaturas atmosféricas al entrar al periodo otoño-invierno y un aumento al comienzo del verano (Figura 16).

Cabe destacar, que el descongelamiento de la capa activa ocurre cada verano en el permafrost en respuesta al calentamiento de la temperatura del aire y la entrada de radiación solar. Del mismo modo, la profundidad de la capa activa está en función de las propiedades geotérmicas de los materiales del suelo, específicamente el contenido de humedad y el calor latente proveniente de la fusión del hielo.

Figura 15: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Liebres 1 en el glaciar rocoso Llano de las Liebres entre abril y diciembre 2010.

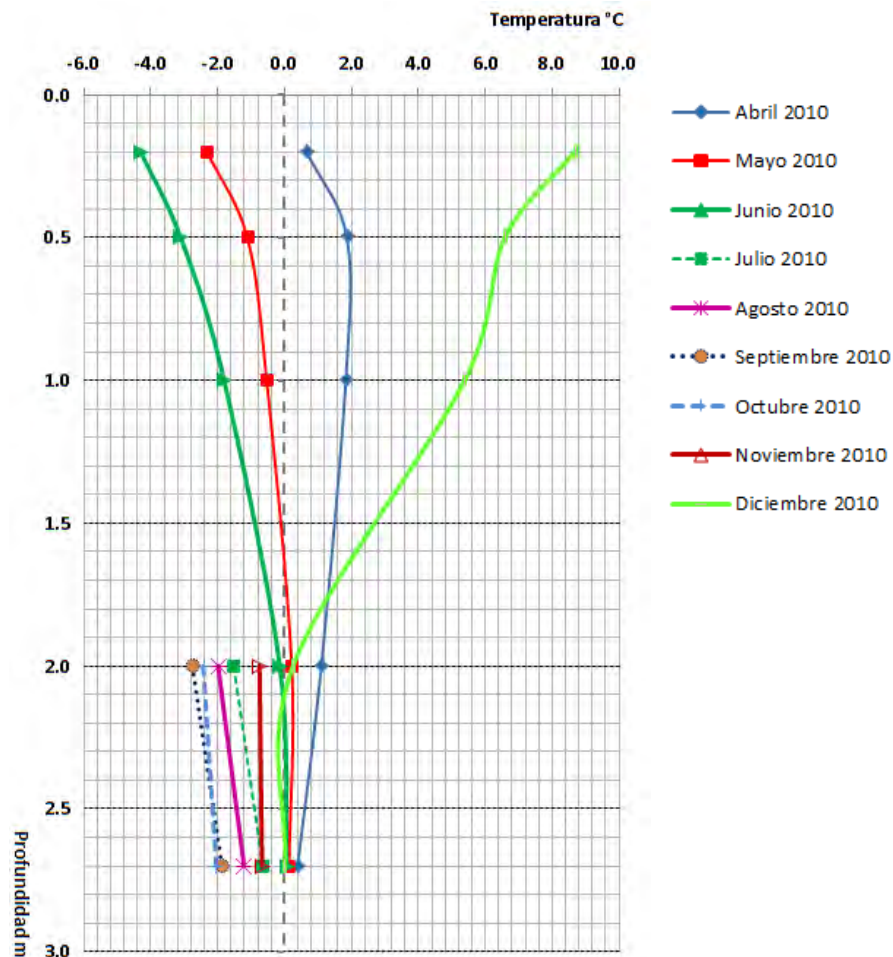
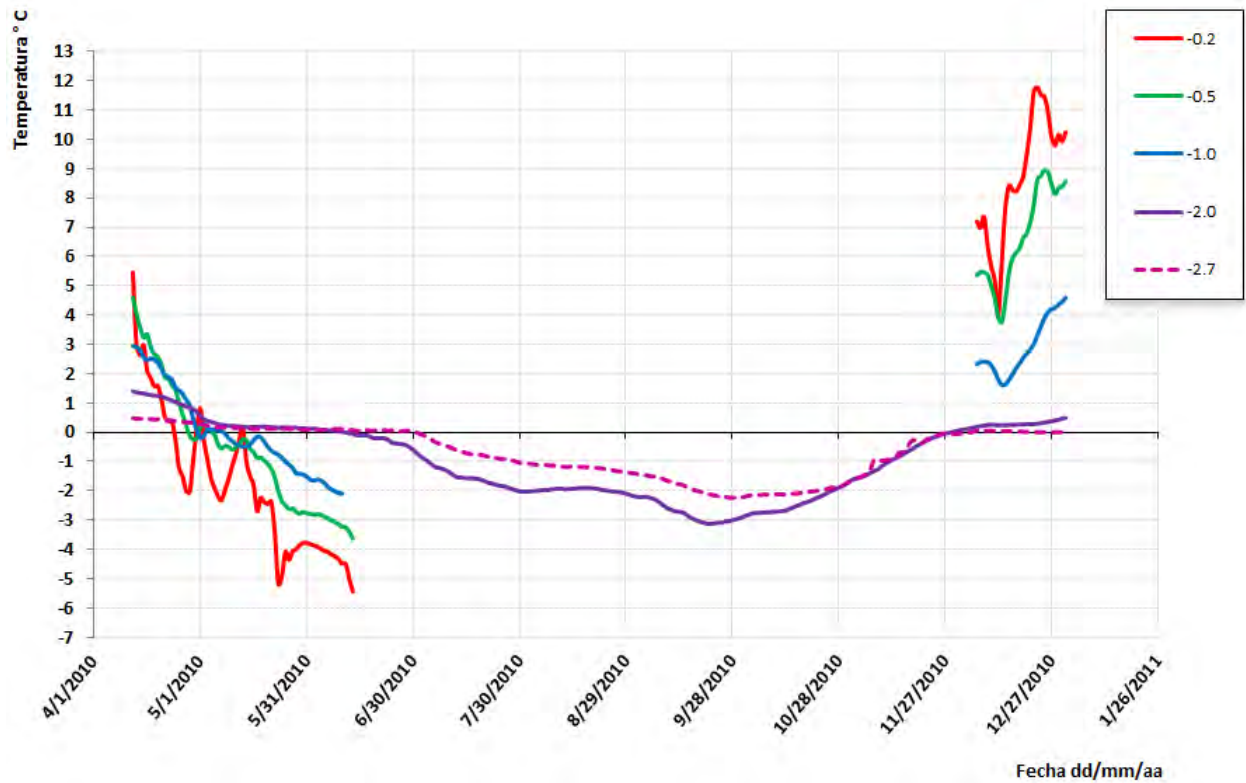


Figura 16: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Liebres 1 en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres, entre abril y diciembre 2010.



4.3.2.- Estación Liebres 2

A diferencia de la cinta termistora Liebres 1, los valores medidos en esta estación permiten evaluar en forma más detallada las variaciones de la temperatura en la capa activa debido al mayor número de sensores instalados en profundidad. La máxima profundidad alcanzada fue de 7,4 m. Entre abril y diciembre 2010, la temperatura a 7,4 m de profundidad varió entre los 0,2 y 0,3°C, indicando una profundidad de la capa activa de por lo menos 8 m, según la extrapolación de la tendencia de la temperatura con la profundidad (Figura 17). La no-linealidad de la temperatura con la profundidad (entre los 2 y 5 m) se puede atribuir a variaciones térmicas atmosféricas a la escala temporal de días, o posiblemente a variaciones de la conductividad térmica y el contenido de agua o hielo con la profundidad. En los sensores superiores, al igual que en Liebre 1 se observa el efecto de descenso de las temperaturas atmosféricas al entrar al periodo otoño-invierno y un aumento al comienzo del verano (Figura 18).

Figura 17: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Liebres 2 en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres, entre abril y diciembre 2010.

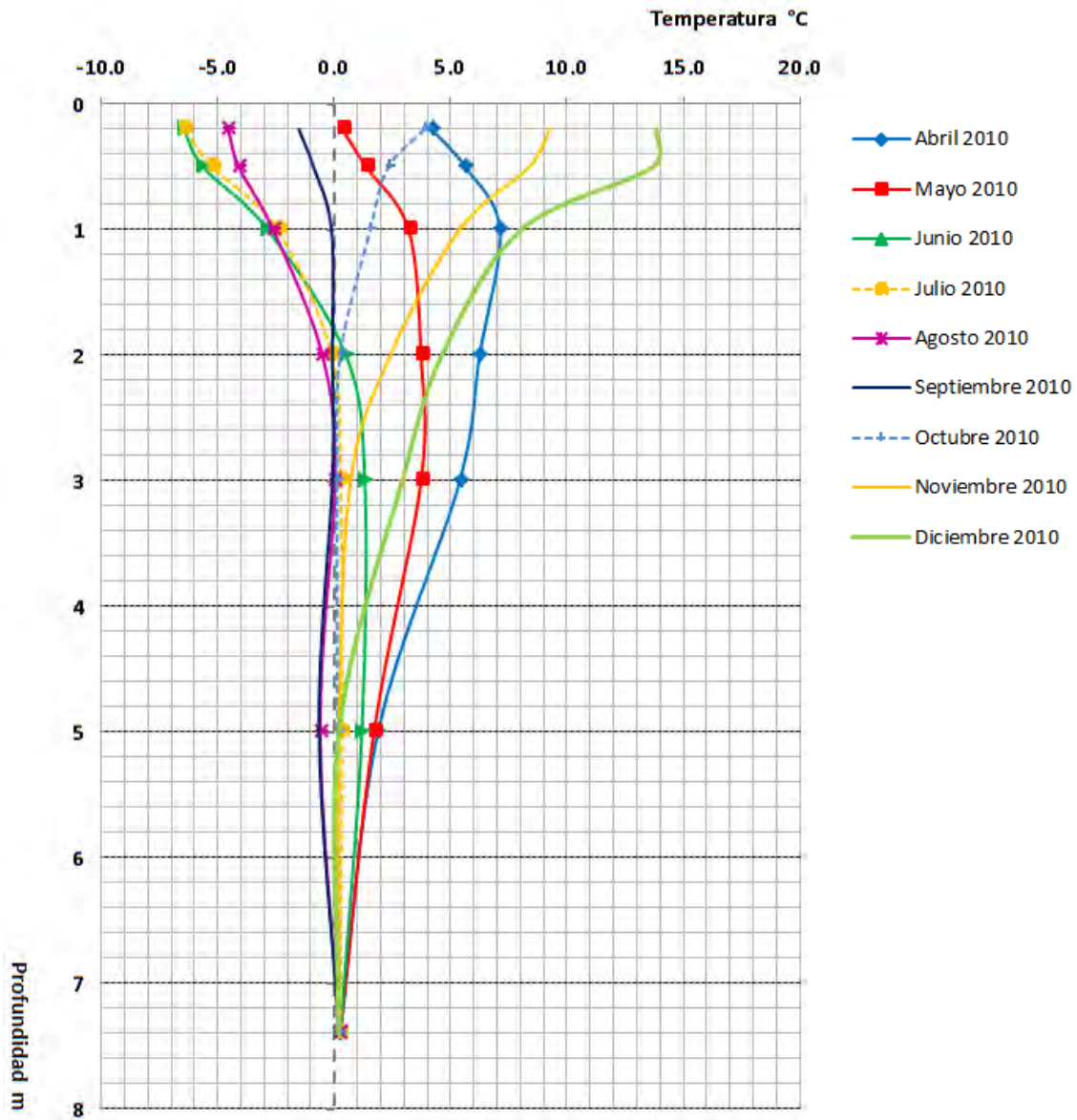
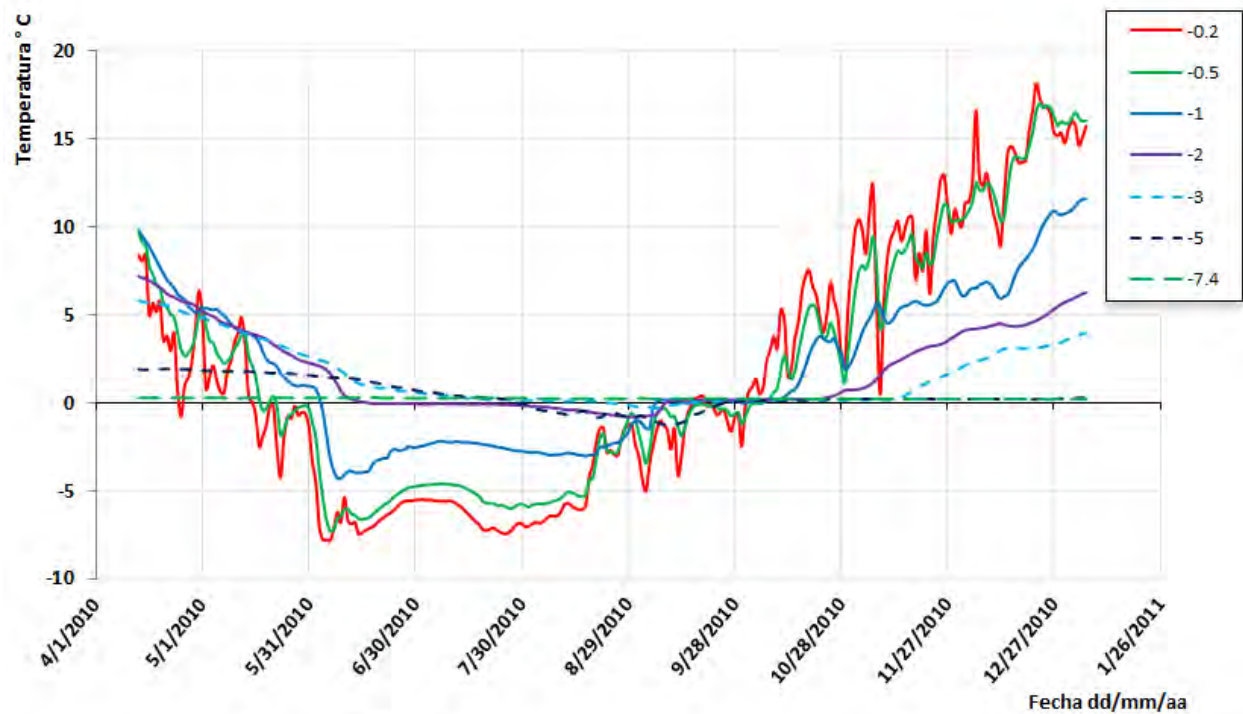


Figura 18: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Liebres 2 en el glaciar rocoso Llano de Las Liebres, entre abril y diciembre 2010.



4.3.3.- Estación Tapado 1

En Tapado 1 la máxima profundidad alcanzada fue de 2,0 m. La perforación realizada no alcanzó el tope del permafrost debido a la presencia de una roca. Entre abril y diciembre 2010, la temperatura a 2 m de profundidad presentó valores positivos entre 0 y 1°C indicando una profundidad de la capa activa de por lo menos 3 m en este lugar (Figura 19). En todos los sensores se observa el efecto de descenso de las temperaturas atmosféricas al entrar al periodo otoño-invierno y un aumento al comienzo del verano (Figura 20).

Figura 19: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperaturas registrados en la estación Tapado 1 en el glaciar rocoso Del Tapado, entre abril y diciembre 2010.

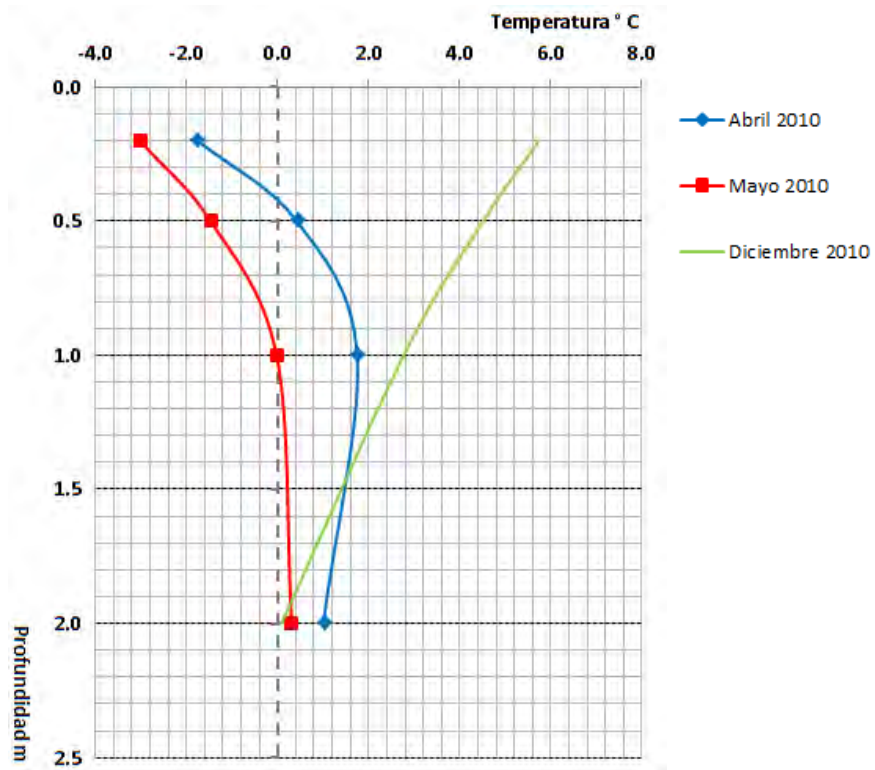
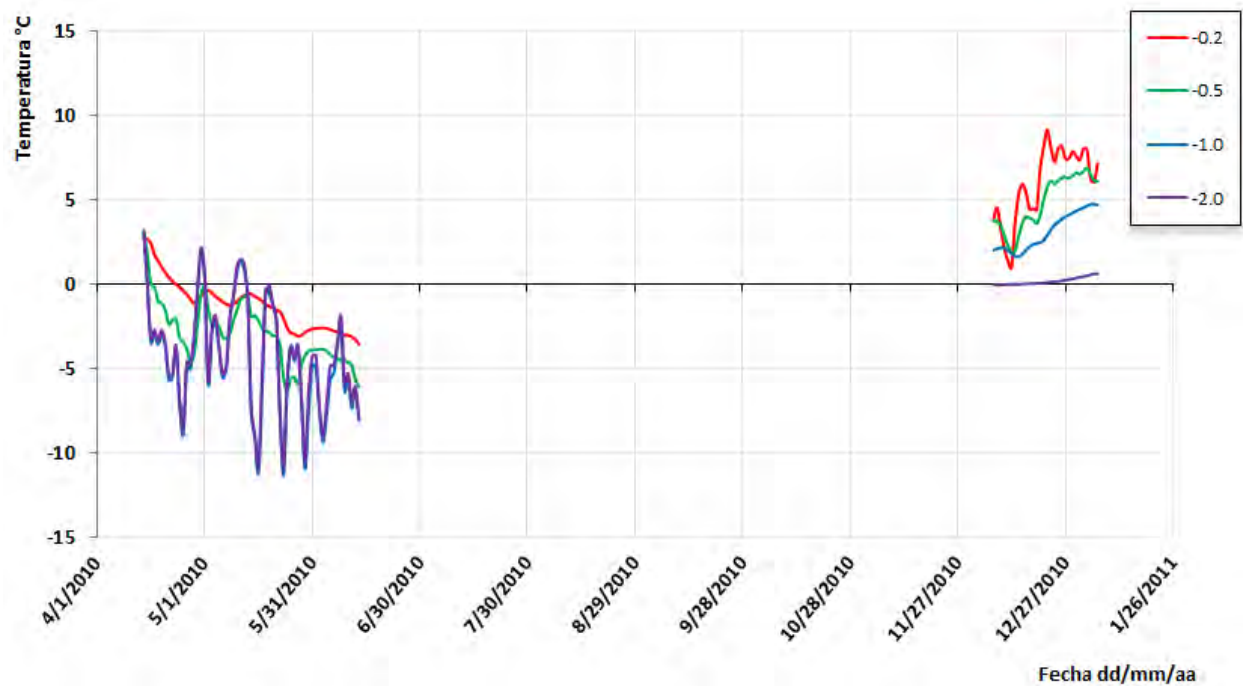


Figura 20: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Tapado 1 en el glaciar rocoso del Tapado, entre abril y diciembre 2010.



4.3.4.- Estación Tapado 2

En Tapado 2 se alcanzó una profundidad de 2,4 m, a esta profundidad la temperatura del suelo varía entre -2 y 0,4°C, valores que indican un mayor espesor aproximado de la capa activa de 2,6 m (Figura 21). A partir de los 2 m de profundidad, la temperatura tiende a mantenerse constante durante el periodo señalado. Del mismo modo, se observa la influencia de la temperatura atmosférica según las estaciones climáticas del año (Figura 22).

Figura 21: Curva trompeta de los promedios mensuales de temperatura registrados en la estación Tapado 2 en el glaciar rocoso Del Tapado, entre abril y diciembre 2010.

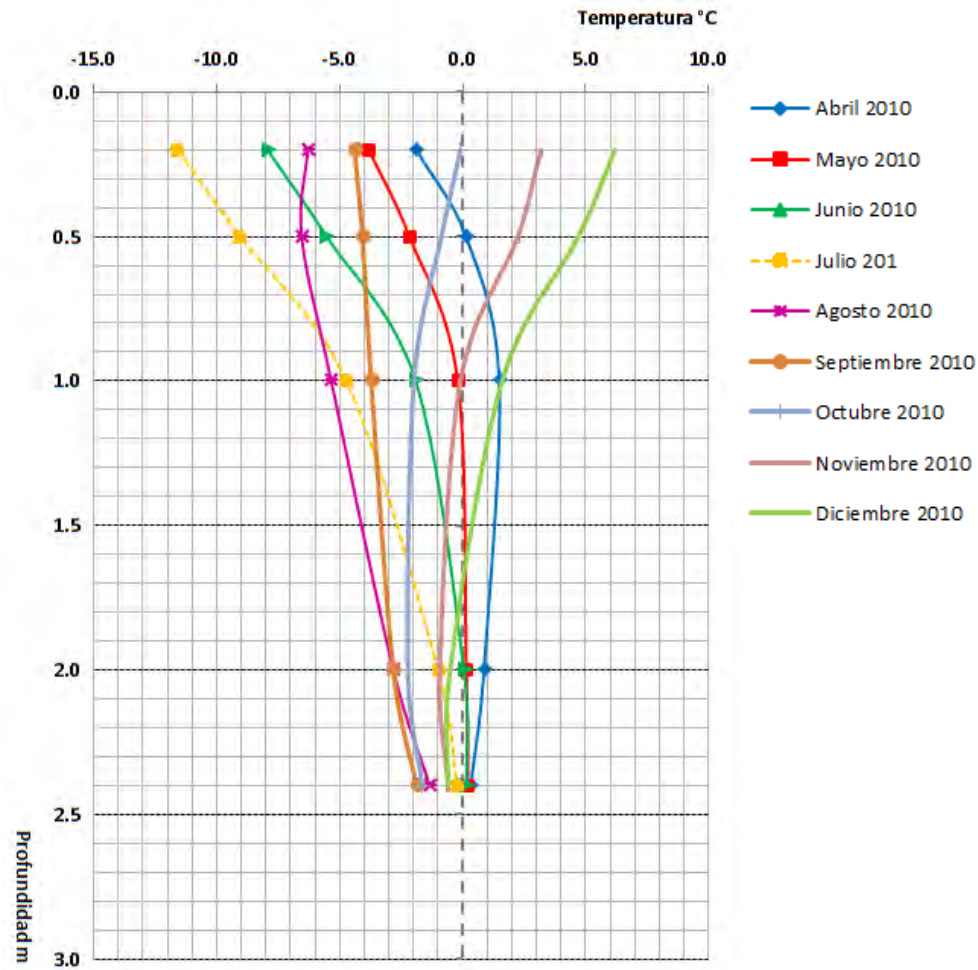
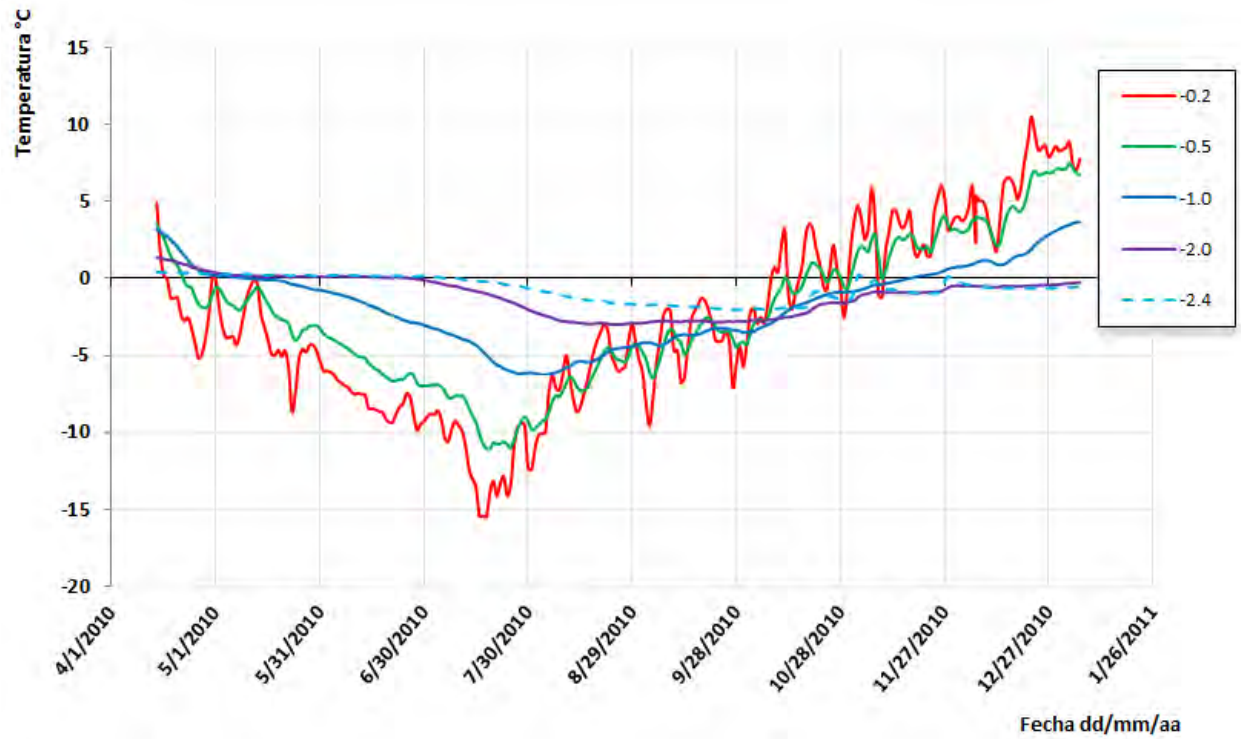


Figura 22: Registro de temperatura promedio diaria a diferentes profundidades en la estación Tapado 2 en el glaciar rocoso Del Tapado, entre abril y diciembre 2010.



5.- MONITOREO DE LA DINÁMICA DE LOS GLACIARES ROCOSOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a la fecha en la medición de los desplazamientos de los glaciares rocosos Llano de las Liebres y Del Tapado.

5.1.- Objetivo de la instrumentación

El objetivo es determinar posibles desplazamientos horizontales y verticales de los puntos de monitoreo instalados sobre los glaciares rocosos.

5.2.- Antecedentes técnicos de las mediciones

Los glaciares rocosos son formas dinámicas. Autores como Warhaftig & Cox (1959), Arenson (2002) y Haeberli *et al.*, (2006) han determinado que la mayor parte del movimiento de un glaciar rocoso se produce por la deformación del hielo y de planos de corte (shear planes), lo que genera el flujo característico de estas formas.

La deformación se presenta en virtud de la fuerza que aplica el hielo contenido, el grosor del hielo contenido, la temperatura, el tamaño y forma de los granos y cristales de hielo, y su densidad (Barsch, 1996), siendo los dos últimos factores los más dificultosos de determinar, y probamente de menor importancia.

En cuanto a su dinámica, existen numerosos estudios que determinan el movimiento horizontal y vertical experimentado por glaciares rocosos, y en especial las formas activas (entre otros, Barsch, 1996; Burger *et al.*, 2004; Delaloye *et al.*, 2008; Roer *et al.*, 2008), pero hasta el momento son pocas las mediciones realizadas en la cordillera de los Andes (Marangunic, 1976; Contreras & Illanes, 1992; Ferrando, 2003; Bodin *et al.*, 2010).

Las primeras mediciones del movimiento que experimenta un glaciar rocoso fueron realizadas en los Alpes suizos por Chaix (1919; en Barsch, 1996), donde la velocidad superficial fue estimada entre 1,68 metros/año y 1,27 metros/año. En promedio, se estima que un glaciar rocoso puede

experimentar una variación de la velocidad superficial entre 0,1 y 1,0 metros al año (Barsch, 1996), aunque desplazamientos mayores a 1 m han sido observados en los Alpes recientemente (Delaloye *et al.*, 2008; Roer *et al.*, 2008). Cabe destacar que las mediciones reflejan la deformación tridimensional del glaciar rocoso, por lo cual un desplazamiento vertical no corresponde necesariamente a una acumulación o pérdida de hielo al interior.

La velocidad superficial de un glaciar rocoso puede variar de acuerdo a la densidad, curva de la pendiente superficial, grosor, temperatura y factores asociados con estos parámetros (Paterson, 1994).

5.2.1.- Equipo y principios de la medición GPS diferencial

El Global Positioning System (GPS) permite levantar posición con una alta precisión gracias a una constelación de 24 satélites manejados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y que emiten permanentemente una señal electromagnética sobre dos frecuencias (L1: 1 575,42 MHz y L2: 1 227,60 MHz).

Dos modelos de receptores GPS diferencial fueron utilizados para realizar las mediciones:

Trimble R6 y Trimble R7 bi-frecuencia. Precisión en modo FastStatic (según constructor, ver Anexo 8: ficha descriptiva): horiz. 3 mm +/-0,1 ppm RMS & vertic. 3,5 mm +/-0,4 ppm RMS

El método del GPS diferencial se basa en la comparación de las señales recibidas por dos (o más) receptores (constituidos por una antena, un procesador y un computador de mano) que miden al mismo tiempo en dos (o más) ubicaciones distintas. El proceso se puede hacer en tiempo cuasi-real gracias a una conexión radio (Real-Time Kinematic, RTK) entre el receptor base y el receptor móvil, o mediante post-proceso utilizando el software *Trimble Business Center*.

5.2.2.- Instalación en terreno

En forma similar a la metodología aplicada exitosamente en los Andes de Santiago (Bodin *et al.*, 2010), en cada glaciar rocoso monitoreado se instalaron aproximadamente cuatro perfiles transversales con puntos GPS con alrededor de 10 puntos en cada perfil, según la geometría de los glaciares rocosos y las condiciones de terreno. Los puntos se marcaron en forma permanente en bloques de roca sobre la superficie de los glaciares rocosos (hoyos artificiales de 1 cm de diámetro y ~0,5 cm de profundidad). Asimismo, puntos de base fija (*benchmarks*) y de control, fueron instalados sobre roca madre. Fotografías de la instalación en terreno de los puntos son presentadas en las Figuras 23, 24 y 25.

Las distribuciones de las redes GPS instaladas sobre cada uno de los glaciares rocosos son presentadas en las Figuras 26 y 27 y en el Anexo digital 4.

Figura 23: Medición de punto de monitoreo GPS A) Medición en el GR Llano de las Liebres. B) Marca numérica que señala el punto. C) Hoyo de 1 cm para marcar el punto en la roca.



Figura 24: Base fija construida en las cercanías del glaciar rocoso Del Tapado

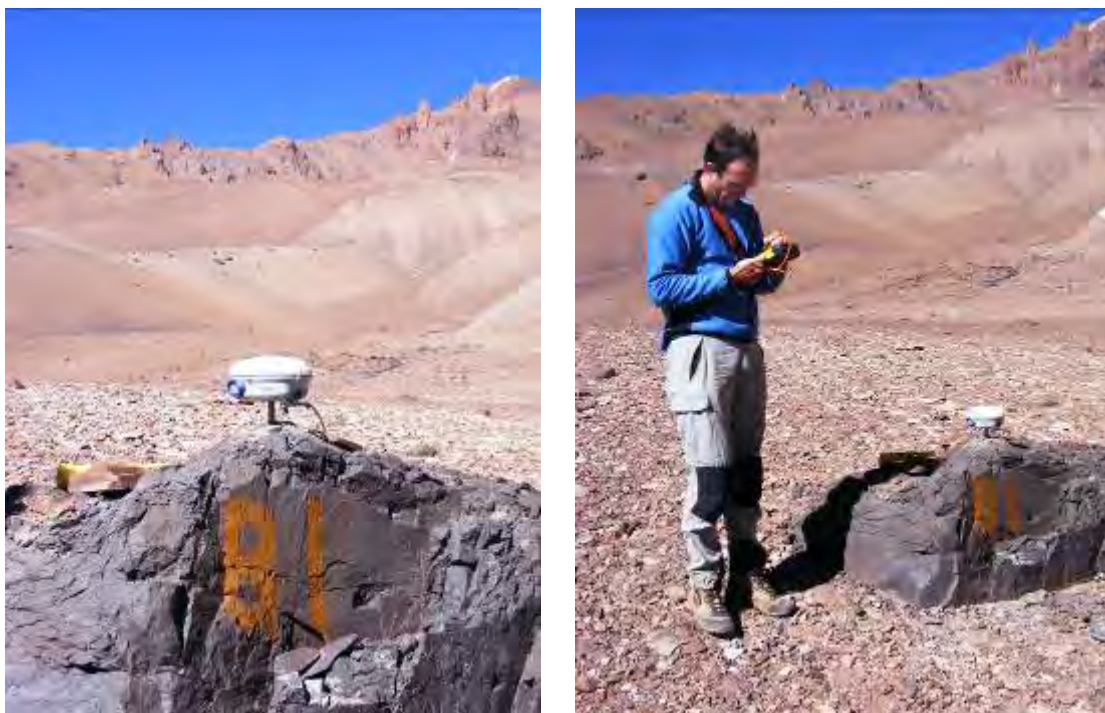


Figura 25: Base fija construida en la cercanía del glaciar rocoso Llano de las Liebres



Figura 26: Distribución de la red GPS instalada sobre el glaciar rocoso Llano de las Liebres.

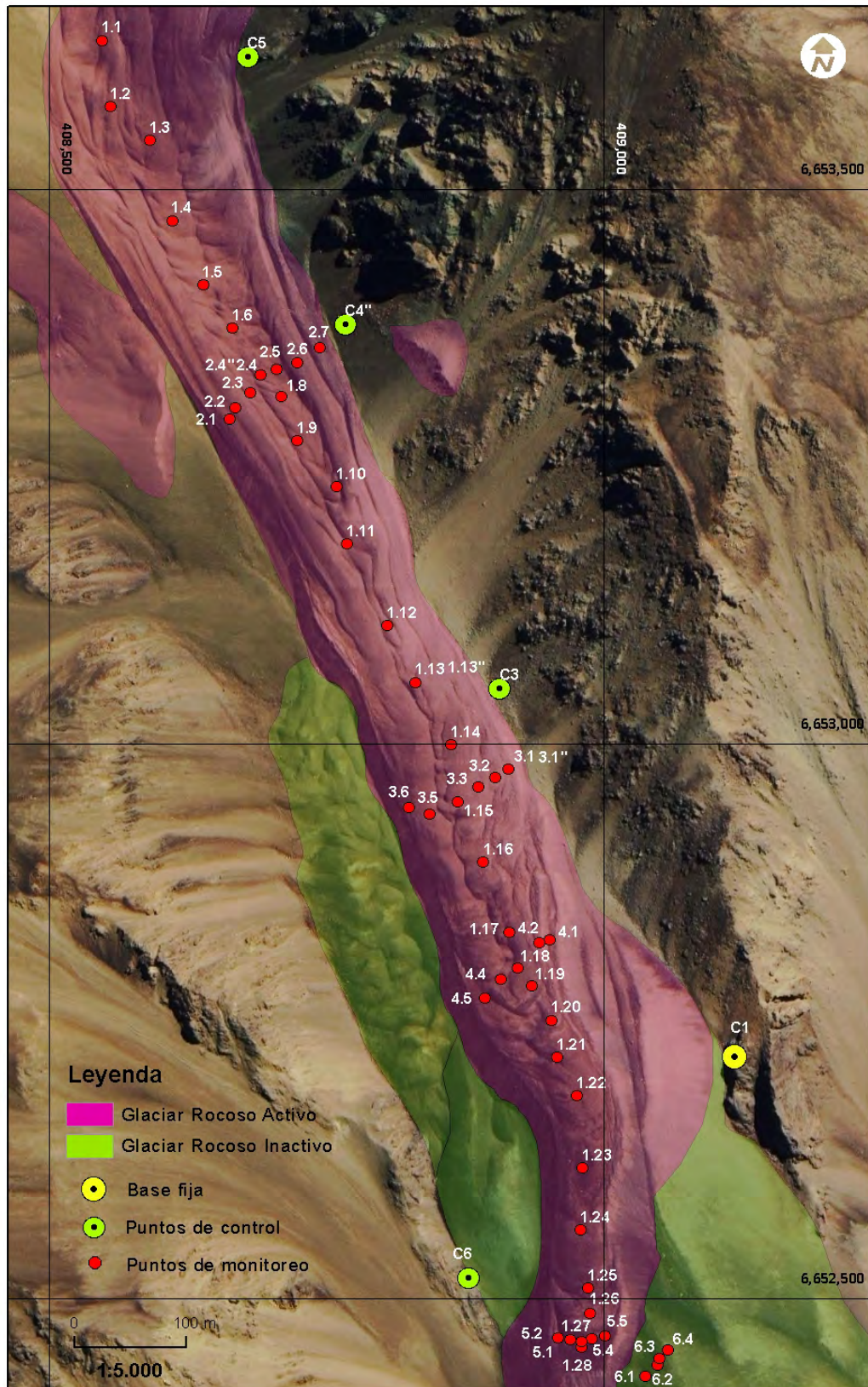
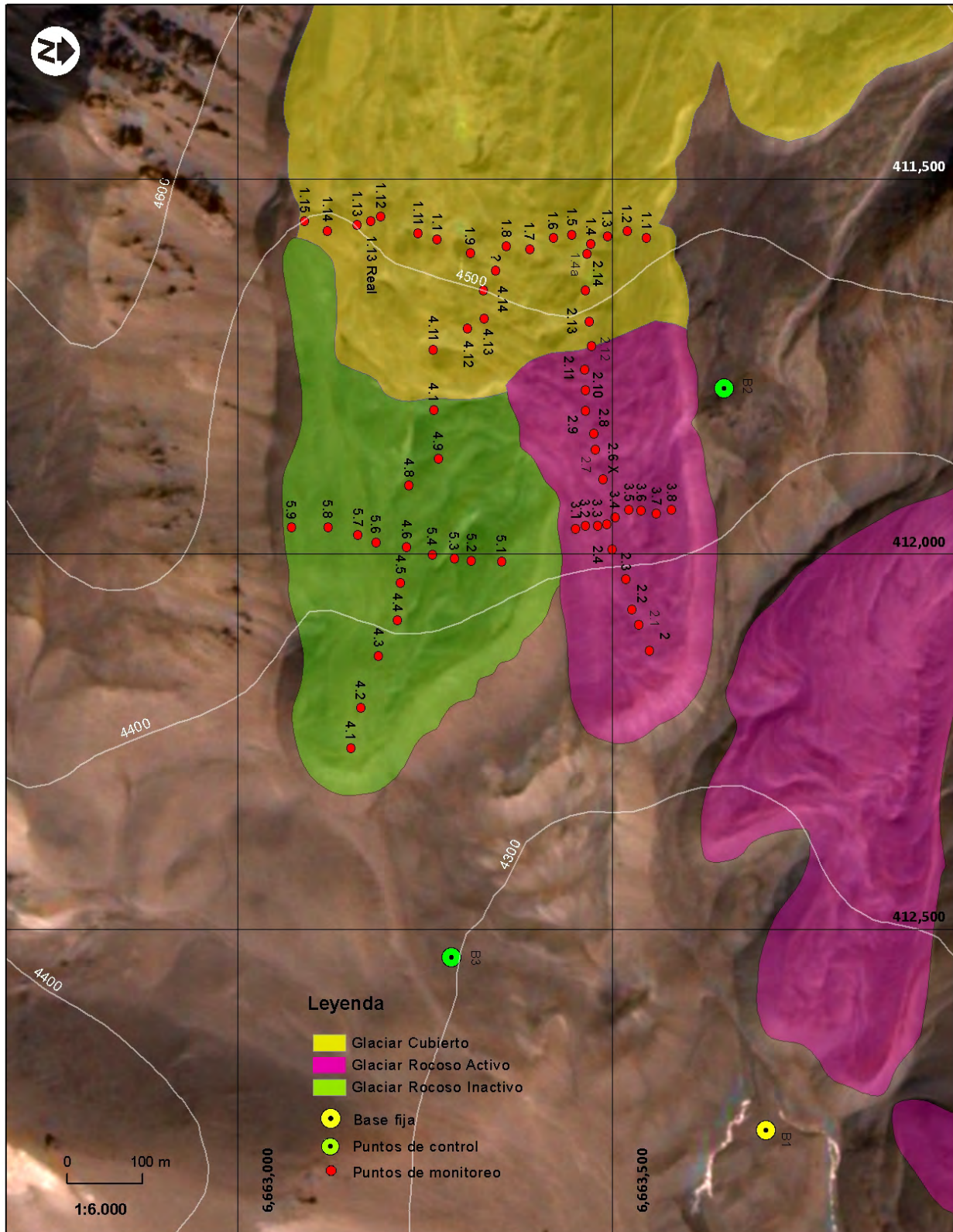


Figura 27: Distribución de la red GPS instalada sobre el glaciar rocoso Del Tapado.



5.2.3.- Procedimiento de configuración y toma de datos

El levantamiento de la red de puntos en el glaciar rocoso Del Tapado y Llano de las Liebres necesita un día completo de adquisición de datos en el terreno.

A. Levantamiento estático

1- Primero se debe instalar la base fija sobre el punto de referencia. Con la colectora, verificar el estado de la batería, la conexión entre la batería y la antena (eventualmente la conexión radio entre la base y el móvil) y lanzar el GPS con los siguientes parámetros:

- Modo *FastStatic* (base)
- Intervalo de adquisición = 1s
- Altura antena: 0,00m, Base del soporte de la antena

2- A continuación, el móvil se enciende una vez llegado al primer punto de la red. Chequear la conexión *Bluetooth* entre la antena y la colectora y lanzar la adquisición con los siguientes parámetros:

- Modo *FastStatic* (móvil)
- Intervalo de adquisición = 1s
- Tiempo de registro = 30s
- Altura antena (en el caso que se utilice un jalón con o sin bipode): 2.00m, Base del soporte de la antena

3- Según el estado de la batería y la distancia a caminar entre cada punto se puede apagar o no la antena (en el primer caso, un archivo nuevo se genera cada vez que se enciende y apaga la antena).

4- Una vez terminado el levantamiento de la red, la base y el móvil pueden ser apagados con la colectorora.

B. Descarga de datos desde el GPS

La descarga de los datos colectados (archivos *.T01* y *T02*) se puede hacer a través de:

- Puerto USB de la colectorora (con un pendrive) para los datos del móvil que generalmente se almacenan en la colectorora;
- Puerto serial de la antena usando un cable Serial/USB o utilizando algún lector de tarjetas compatible con tarjetas Compact Flash.
- En el caso de que se ocupe un GPS sin sistema RTK, el post-proceso se hace de la forma siguiente con el software *Trimble Business Center*:
 - o Abrir un nuevo proyecto, con el sistema de proyección: elipsoide WGS84 - UTM19 South, geoide EGM96.
 - o Importar los datos de la base y del móvil, seleccionado por fecha.
- Por cada archivo, verificar los modelos *de antena*, las alturas de antena
- Ingresar las coordenadas de las bases (Tabla 3).

Tabla 3: Coordenadas de las bases para el levantamiento

	GR DEL TAPADO	GR DEL LLANO DE LAS LIEBRES
X Este [m]*	412.768,485	409.118,900
Y Norte [m]*	6.663.706,175	6.652.717,990
Z Elevación [m]**	4.245,759	3.842,434

* Coordenadas tomadas en el datum WGS 84 – UTM 19 Sur ** con el modelo de elipsoide EGM96

Los levantamientos fueron realizados con una precisión horizontal entre 0.042 y 0.007 m y en vertical entre 0.018 y 0.002 m.

C. Lanzar el procesamiento.

La comparación entre campañas y el cálculo de los valores cinemáticas (velocidad vertical y horizontal) se hacen con en una planilla de cálculo simple. La visualización cartográfica de los resultados se puede realizar a través de un SIG como ArcGIS.

5.3.- Resultados y observaciones

5.3.1.- Mediciones realizadas a la fecha

Tabla 4: Fechas de las mediciones GPS realizadas

Glaciares rocosos	
Llano de las Liebres	Del Tapado
7 y 12 de diciembre de 2009	6 y 13 de diciembre de 2009
21 de abril de 2010	22 de abril de 2010
05 de diciembre 2010	06 de diciembre 2010

5.3.2.- Evolución temporal del desplazamiento

De acuerdo a los datos recolectados en las distintas campañas de medición, se procedió a graficar la evolución temporal y dirección del desplazamiento que han experimentado los puntos de control instalados sobre cada glaciar rocoso en estudio.

A.- Glaciar rocoso Llano de las Liebres

De acuerdo a su dinámica, el glaciar rocoso Llano de las Liebres puede ser clasificado como activo porque ha experimentado desplazamientos verticales y horizontales a través del tiempo. El

control topográfico realizado ha evidenciado esta situación. Por otra parte, en terreno se observan características típicas de los glaciares activos en su superficie.

Las mediciones de desplazamiento horizontal-vertical se han llevado a cabo a través del monitoreo de 55 puntos instalados sobre el glaciar rocoso (Figura 26)

Se han evidenciado desplazamientos horizontales entre 4 cm y 4 m y desplazamiento verticales entre 9 cm y 53 cm sobre el glaciar rocoso entre diciembre 2009 y abril 2010 (Figura 28). No obstante, existe una gran variabilidad en los valores de desplazamiento horizontal y vertical detectando desplazamientos horizontales entre 46 y 67 cm en parte superior y desplazamiento entre 5 y 45 cm en la parte media y baja del glaciar rocoso. Por otro lado, los mayores desplazamientos verticales se dan en la parte baja con desplazamiento entre 30 y 53 cm. La dirección del desplazamiento es Sur-Sureste, acorde al eje longitudinal del glaciar rocoso.

B.- Glaciar rocoso Del Tapado

El glaciar rocoso Del Tapado corresponde a una forma activa. Las mediciones de desplazamiento horizontal-vertical se han llevado a cabo a través del monitoreo de 60 puntos de monitoreo instalados sobre el glaciar rocoso activo e inactivo Del Tapado (Figura 27).

Se han evidenciado desplazamientos horizontal-vertical entre 10 y 2 m en el glaciar rocoso activo entre diciembre 2009 y abril 2010 (Figura 29). En general el desplazamiento horizontal se mantiene constante a lo largo de su superficie con desplazamientos entre 35 y 50 cm tanto en los perfiles transversales como longitudinales. De igual forma, los desplazamientos verticales se mantienen constantes y varían entre 1 cm y 2 m. Los desplazamientos horizontales-verticales del glaciar rocoso activo son más significativos que los desplazamientos en el glaciar cubierto. En el caso de la zona inactiva del glaciar rocoso no fue posible obtener datos en la campaña de abril 2010 debido a problemas de baja recepción GPS. En cuanto a la dirección del desplazamiento, la dirección predominante es Este-Noreste acorde al eje longitudinal del glaciar rocoso.

El Anexo 10 entrega una tabla detallada con los desplazamientos medidos en cada uno de los puntos monitoreados tanto en el glaciar rocoso Llano de las Liebres como el glaciar cubierto-rocoso Del Tapado.

Figura 28: Dirección y velocidad del desplazamiento en el glaciar rocoso Llano de las Liebres.

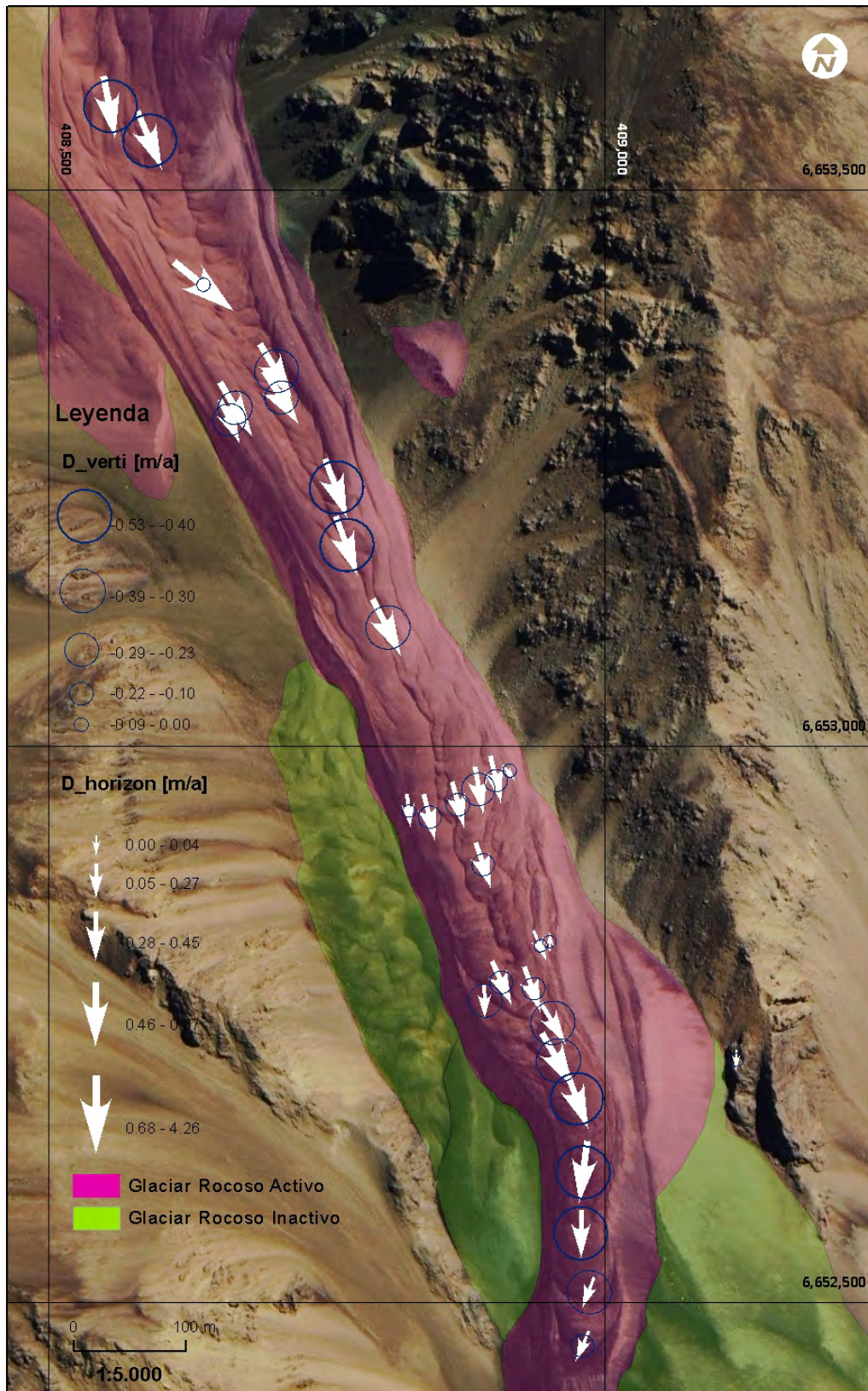
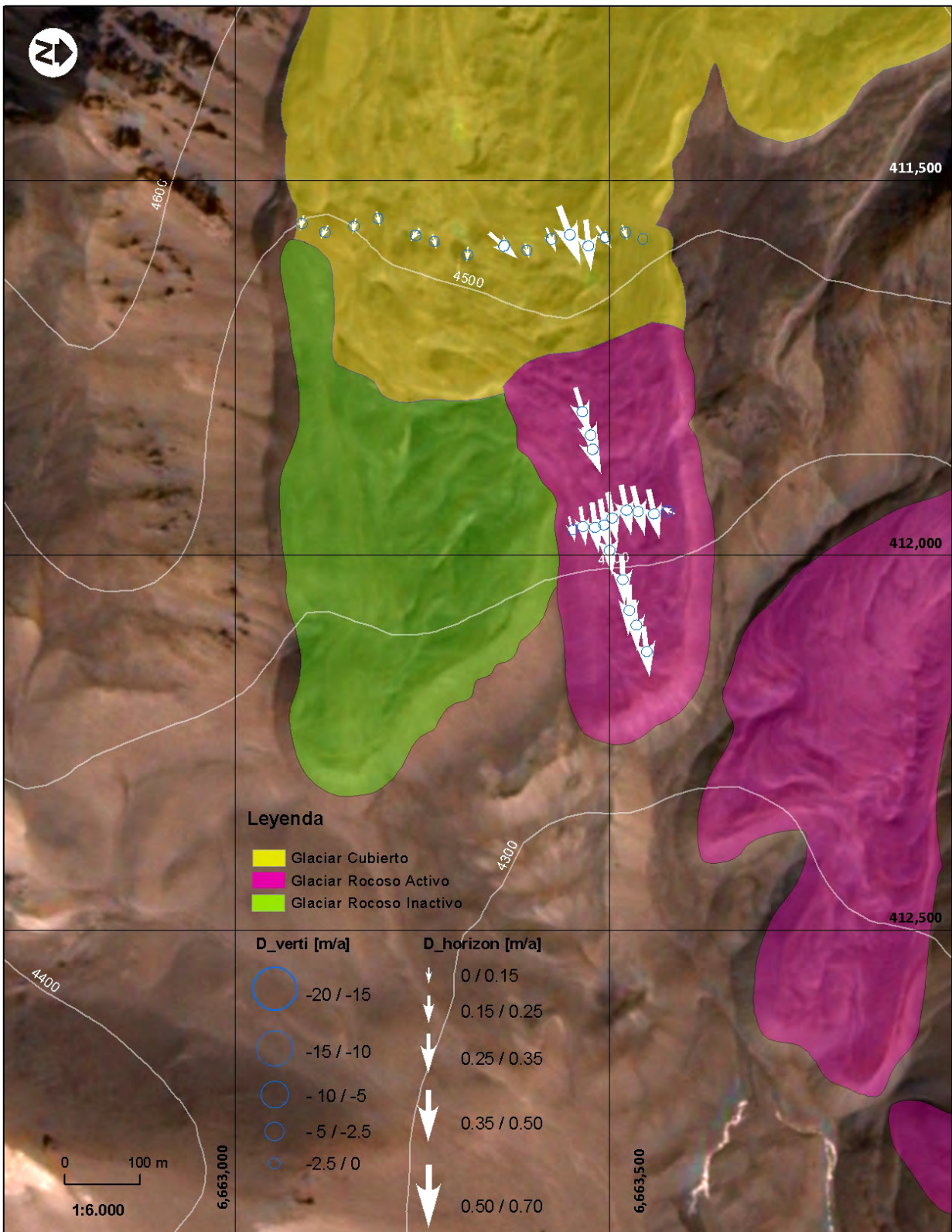


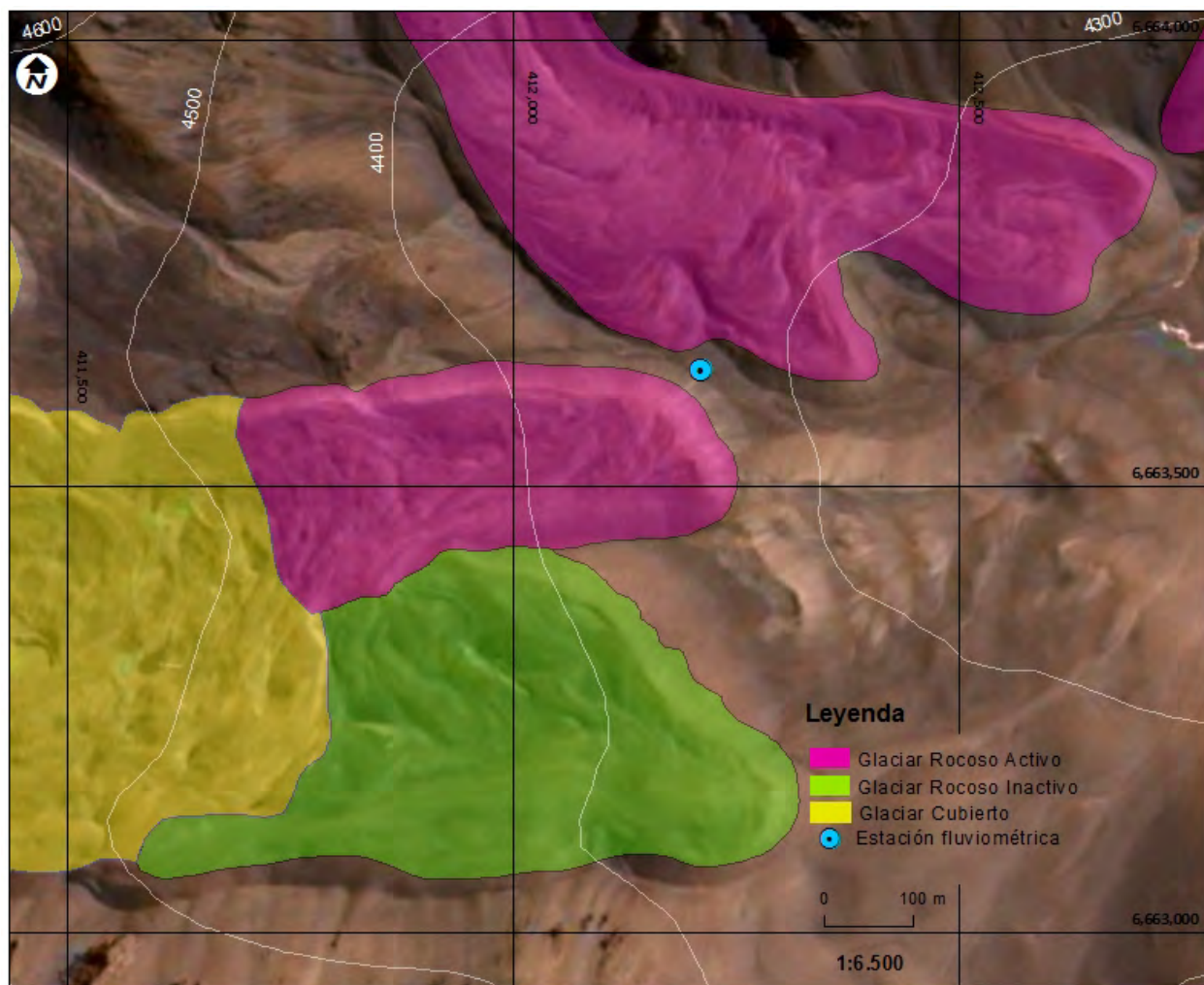
Figura 29: Dirección y velocidad del desplazamiento en el glaciar rocoso Del Tapado



6.- CAUDALES CERCANOS A GLACIARES ROCOSOS

Para la estimación de caudales han sido utilizados los datos facilitados por el grupo Hidrología y Modelos del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), de La Serena, Chile. Mediciones de altura de columna de agua han sido realizadas al pie del glaciar rocoso, donde nace un pequeño cauce (Figura 30).

Figura 30: Localización de la estación fluviométrica Del Tapado. Glaciar rocoso Del Tapado.



En general el caudal proveniente del pie del glaciar está sometido a los cambios provocados por la fluctuación diaria de las temperaturas a esta altitud (4.200 m s.n.m). Es decir, congelamiento completo del cauce durante la noche y parte de la mañana y activación del cauce durante el mediodía, alcanzando su máximo generalmente entre las 15:00 y las 20:00 hrs.

La Figura 31 muestra la relación entre caudal y nivel de agua en la estación fluviométrica Del Tapado durante un periodo limitado. Sólo se muestran los valores correspondientes a los niveles entre los 25,5 y los 27,7 cm. Cuando el nivel de agua es inferior a los 25 cm, no se observa una relación, y por lo tanto no es posible estimar el caudal a partir de mediciones del nivel de agua.

En general los caudales fluctúan entre los 0,04 y 0,07 m³/s entre fines de noviembre de 2009 y los primeros días de enero de 2010. Durante marzo la columna de agua cae a niveles de agua no detectables por el sensor (inferiores a 25 cm). Sin embargo, fluctuaciones de altura de dicha columna (Figura 32) y observaciones visuales detectaron la presencia de agua en el cauce.

Figura 31: Relación entre nivel de agua y caudal. Estación fluviométrica Del Tapado.

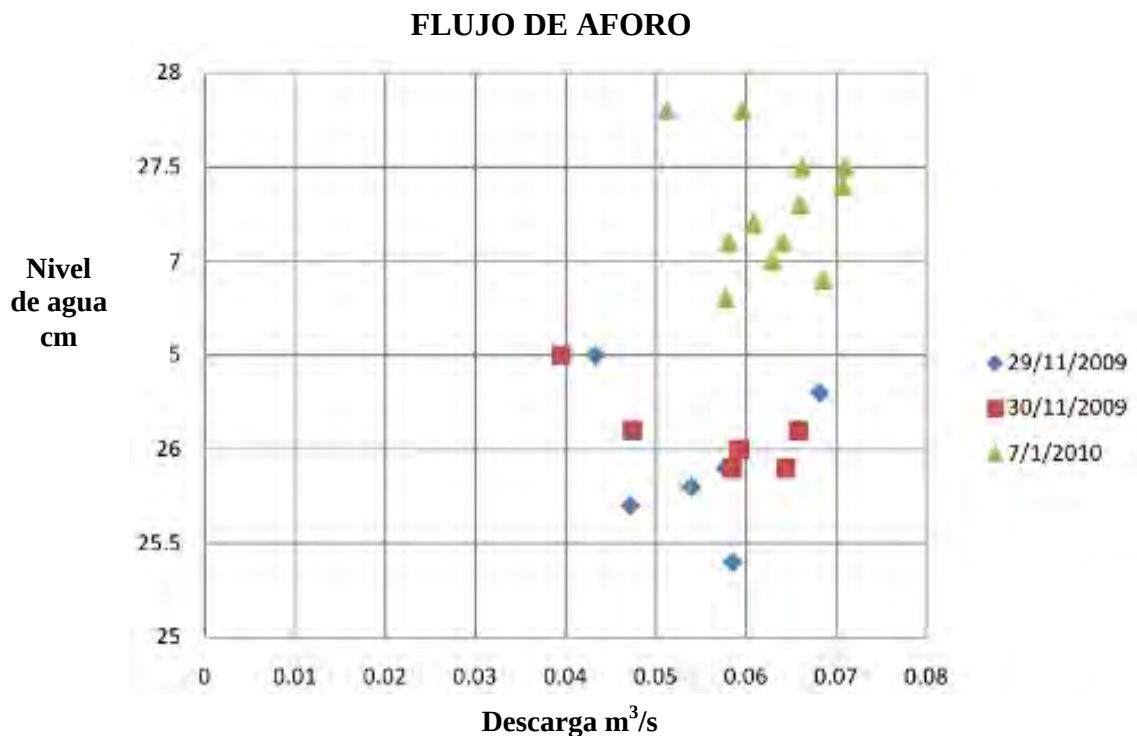
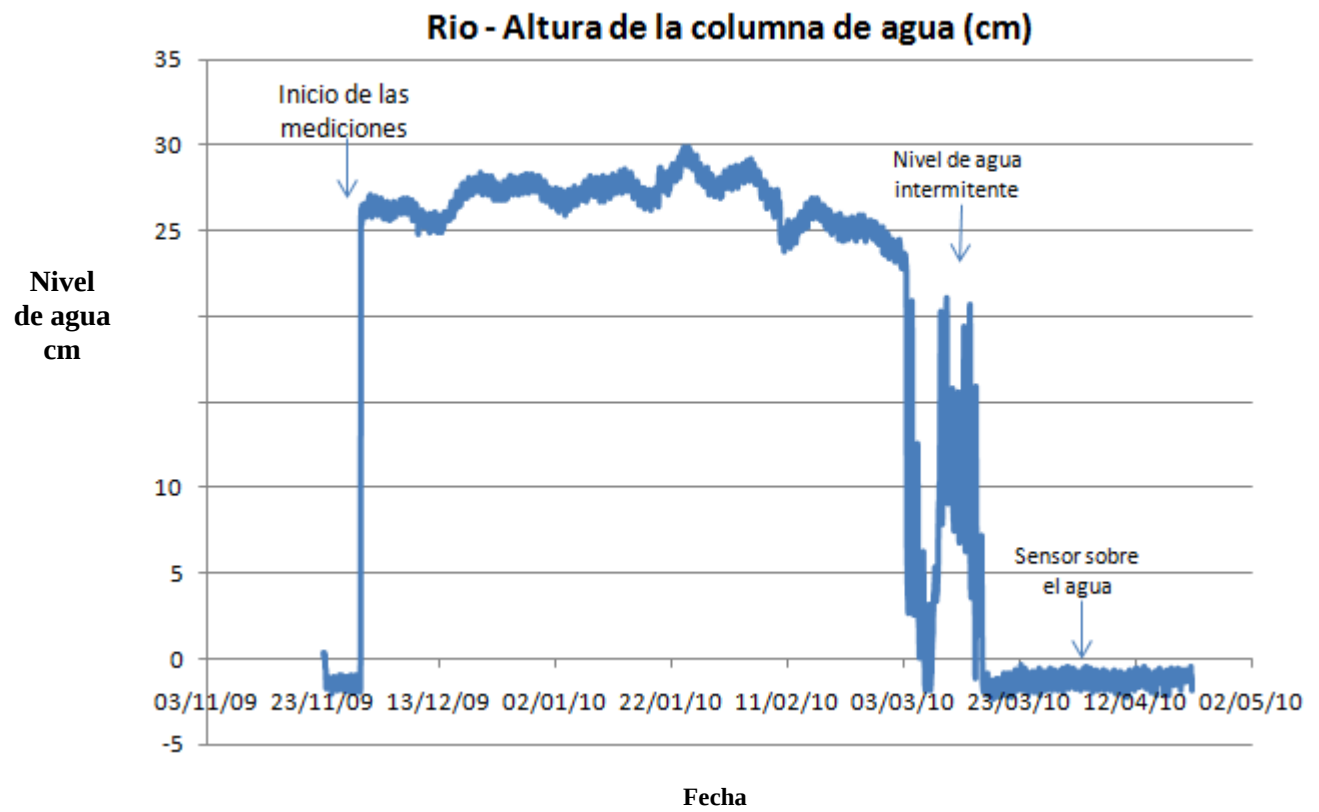


Figura 32: Altura de la columna de agua. Estación fluviométrica del Tapado.



7.- RECOMENDACIONES

A continuación se señalan algunas recomendaciones para el desarrollo futuro de las labores de terreno, con respecto a las mediciones de temperaturas superficiales, subsuperficiales y dinámica.

En general, las labores de monitoreo requieren de dos personas para el mantenimiento y descarga de datos, del mismo modo, el tiempo a utilizar será de 4 a 6 días dependiendo del lugar de salida. Se recomienda establecer campamento base en el Llano de las Liebres y disponer de un vehículo 4x4 para el acercamiento hasta el pie del glaciar rocoso Del Tapado. La mantención requiere de algunos materiales de ferretería, tales como: juego de destornilladores, juego de llaves, varias cintas eléctrica (blanca), *duct tape*, alicate, sierra, alambre, tubos de pvc de 1 m (diámetro 2 cm), martillo, punta de acero, cuatro spray color naranja y verde , además de guantes de trabajo.

A. Cronograma de trabajo desde el glaciar rocoso Llano de Las Liebres

Día 1

Campamento al pie del glaciar rocoso Llano de las Liebres, a metros del camino internacional.

Día 2

Glaciar rocoso Llano de las Liebres: Descarga de datos de los 19 MTD de temperatura superficial y de las dos estaciones de temperatura subsuperficial, además de la mantención de las estaciones.

Día 3

Glaciar rocoso Llano de las Liebres: Mediciones GPS y mantención de los 50 puntos de control.

Día 4

Glaciar rocoso Del Tapado: Descarga de datos de los 19 MTD de temperatura superficial y de las dos estaciones de temperatura subsuperficial, además de mantención de todas las estaciones.

Día 5

Glaciar rocoso Del Tapado: Mediciones GPS y mantención de los 63 puntos de control.

Fin de las actividades.

B. Monitoreo de las temperaturas superficiales de glaciares rocosos

Se recomienda realizar el mantenimiento y la descarga de datos una vez al año a fines del verano de los 19 MTD instalados en los glaciares rocosos Llano de las Liebres y Del Tapado respectivamente (ver capítulo 3). Las baterías deben ser reemplazadas cada dos años a partir de la fecha de instalación. Tener en cuenta la posibilidad de reemplazar algunos MTD dañados y/o baterías agotadas. Se recomienda tener unos 3 a 5 MTD de reemplazo y 5 baterías.

C. Monitoreo de las temperaturas subsuperficiales de glaciares rocosos (capa activa)

Se recomienda realizar el mantenimiento y la descarga de datos una vez al año a fines del verano de las dos estaciones instaladas en el glaciar rocoso Llano de las Liebres y Del Tapado (ver capítulo 4). No es necesario reemplazar la batería pero sí verificar el buen funcionamiento de los paneles solares y ajustar los sensores de cada una de las estaciones.

Tanto para el monitoreo de temperaturas superficiales y subsuperficiales se recomienda verificar el estado de los shuttles antes de ir a terreno para asegurarse de la disponibilidad de memoria, buen estado de las baterías y la correcta configuración del reloj interno. Del mismo modo, se sugiere llevar un laptop para verificar el correcto funcionamiento de las estaciones de monitoreo.

D. Monitoreo de la dinámica de glaciares rocosos

Se recomienda realizar el mantenimiento y la toma de datos a lo menos una vez al año para asegurar el correcto funcionamiento de las baterías, ya sea durante el mes de abril o comienzos del verano (diciembre) para asegurar una cobertura mínima de nieve, la cual es necesaria para tener acceso a todos los loggers en los lugares con acumulación de nieve de larga duración.

Cada medición debe realizarse en todos los puntos de monitoreo y control de la red GPS de cada uno de glaciares rocosos monitoreados (ver capítulo 5), además de verificar el buen estado del *benchmark* en la estación base.

8.- REFERENCIAS

- Arenson, L., Hoelzle, M. & Springman, S., 2002: Borehole deformation measurements and internal structure of some rock glaciers in Switzerland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 13: 117-135.
- Azócar, G. F. & Brenning, A., 2010: Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°–33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(1): 42-53.
- Barsch, D., 1996: *Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Springer: Berlin.
- Berger, J., Krainer, K. & Mostler, M., 2004: Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). *Quaternary Research*, 62: 233-242.
- Brenning, A., 2005a: *Climatic and geomorphological controls of rock glaciers in the Andes of Central Chile: Combining statistical modeling and field mapping*. Tesis de doctorado, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Humboldt-Universität, Berlin, Alemania.
- Brenning, A., 2005b: Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33–35°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16: 231–240.
- Brenning, A., Gruber, S. & Hoelzle, M. 2005: Sampling and statistical analyses of BTS measurements. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(4): 383-393.
- Brenning, A. & Azócar, G. F., 2008: Mapping and modeling rock glacier distribution in the dry Andes: a progress report. *Abstracts, 4th Alexander von Humboldt International Conference, The Andes. Challenge for the Geosciences*, 24-28 de noviembre de 2008, Santiago, Chile.
- Brenning, A. & Azócar, G. F., 2010: 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*, 21(1): 54-66.

Brenning, A., Bodin, X., Azócar, G. F., & Rojas, F., 2009: Importancia y monitoreo de glaciares rocosos en los Andes chilenos. En: *XII Congreso Geológico Chileno*, 22-26 de noviembre de 2009, Santiago, Chile.

Bodin, X., Rojas, F. & Brenning, A., 2009: Cryospheric dynamics in the Central Chilean Andes: Multi-decadal reconstruction and multi-annual monitoring of rock glaciers and a debris-covered glacier. En: *Eos Trans. AGU*, 90(22), Jt. Assem. Suppl., Abstract H34C-06.

Bodin, X., Azócar, G. F. & Brenning, A., 2010: Recent (2004-2010) variations of surface displacements in an Andean permafrost-glacier environment (Chile 33°S.). En: *Abstracts, Third European Conference on Permafrost*. 13-17 de junio de 2010. Svalbard. Noruega.

Brenning, A., Azócar, G. F. & Bodin, X., 2010: Mapping and monitoring rock glaciers in the Chilean Andes. En: *Abstracts, Third European Conference on Permafrost*, 13-17 de junio de 2010, Svalbard, Noruega.

Contreras, A. & Illanes, J. L., 1992: Depósito de lastre glaciar Infiernillo Sur Mina Los Bronces. En: *43a Convención del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile*, La Serena, octubre de 1992.

Croce, F. A. & Milana, J. P., 2002: Internal structure and behavior of a rock glacier in the Arid Andes of Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, 13: 289–299.

Delaloye R., Perruchoud E., Avian M., Kaufmann V., Bodin X., Hausmann H., Ikeda Kääb A., Kellerer-Pirklbauer A., Krainer K., Lambiel C., Mihajlovic D., Staub B., Roer I. & Thibert E. 2008: Recent interannual variations of rock glacier creep in the European Alps. En: *9th International Conference on Permafrost*, 29 de junio a 3 de Julio de 2008, University of Alaska Fairbanks, 1: 343-348.

Esper Angillieri, M. Y., 2010: Application of frequency ratio and logistic regression to active rock glacier occurrence in the Andes of San Juan, Argentina. *Geomorphology*, 114: 396-405.

Ferrando, F., 2003: Aspectos conceptuales y genético-evolutivos de los glaciares rocosos: análisis de caso en los Andes semiáridos de Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 48: 43-74.

French, H., 2007: *The periglacial environment*. Wiley.

Haeberli, W., 1973: Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 9: 221–227.

Haeberli, W., Hallet, B., Arenson, L.U., Elconin, R., Humlum, O., Kääb, A., Kaufmann, V., Ladanyi, B., Matsuoka, N., Springman, S. & Vonder Mühll, D., 2006: Permafrost creep and rock glacier dynamics. *Permafrost and Periglacial Processes*, 17(3): 189-214.

Hoelzle, M., Wegmann, M. & Krummenacher, B., 1999: Miniature temperature dataloggers for mapping and monitoring of permafrost in high mountain areas: first experience from the Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10: 113-124.

Humlum, O. & Matsuoka, N. (eds.), 2003: *A handbook on periglacial field methods*. International Permafrost Association, Working Group on Periglacial Processes and Environments, UNIS (The University Center on Svalbard), 66 pp.

Kull, C., Grosjean, M. & Veit, H., 2002: Modeling modern and Late Pleistocene glacio-climatological conditions in the North Chilean Andes (29°S-30°S). *Climatic Change*, 52: 359–381.

Johnston, G. H. (ed.), 1981: *Permafrost engineering design and construction*. Wiley, Toronto.

Lambiel, C. & Delaloye, R., 2004: Contribution of real-time kinematic GPS in the study of creeping mountain permafrost: examples from the western Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15: 229-241.

Mahaney, W., Miyamoto, H., Dohm, J., Baker, V., Cabrol, N., Grin, E. & Berman, D., 2007: Rock glacier on Mars: Earth based clues to Mars recent paleoclimatic history. *Planetary and Space Science*, 55: 181-192.

Marangunic, C., 1976: El glaciar de roca Pedregoso, río Colorado, V Región. *Actas Congreso Geol. Chileno*, 1: D71–D80.

Milana, J. P. & 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): 310-325.

Milana, J. P. & Maturano, A., 1999: Application of radio echo sounding at the arid Andes of Argentina: the Agua Negra Glacier. *Global and Planetary Change*, 22: 179-191.

Mpodozis, C. & Cornejo, P., 1988: *Hoja Pisco Elqui N° 68*. Carta Geológica Nacional, IV Región de Coquimbo, escala 1:250.000. SERNAGEOMIN, Santiago.

National Snow and Ice Data Center (NSIDC), 2010: *Glossary*. [<http://nsidc.org/cgi-bin/words/glossary.pl>]

Lecomte, K., Milana, J. P., Stella Formica, L. & Depetris, J., 2008: Hydrochemical appraisal of ice- and rock-glacier meltwater in the hyperarid Agua Negra drainage basin, Andes of Argentina. *Hydrological Processes*, 22: 2180-2195.

Paskoff, R., 1970: *Le Chili semi-aride: recherches géomorphologiques*. Biscaye Frères. Bordeaux, France. 420 p.

Paterson, W. S. B., 1994: *The physics of glaciers*. Elsevier: Burlington, Massachusetts.

Pinheiro, J. C. & Bates, D. M., 2000: *Mixed effects models in S and S-Plus*. Springer, New York.

Schrott, L., 1994: Die Solarstrahlung als steuernder Faktor im Geosystem der subtropischen semiariden Hochanden (Agua Negra, San Juan, Argentinien). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, 94.

Schrott, L., 1996: Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie NF*, 104: 161–173.

Schrott, L., 1998: The hydrological significance of mountain permafrost and its relation to solar radiation. A case study in the high Andes of San Juan, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften*, 15: 71-84.

Trombotto, D. & Borzotta, E., 2009: Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rockglacier, Central Andes of Mendoza, Argentina. *Cold Regions Science and Technology*, 55: 321-330.

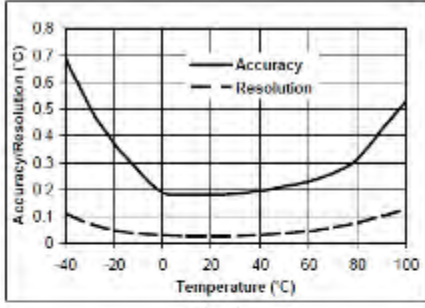
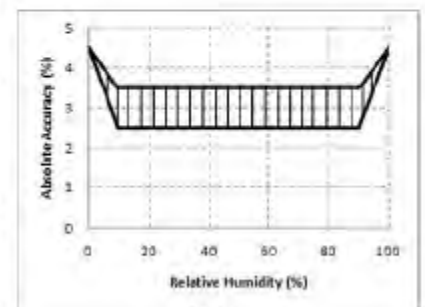
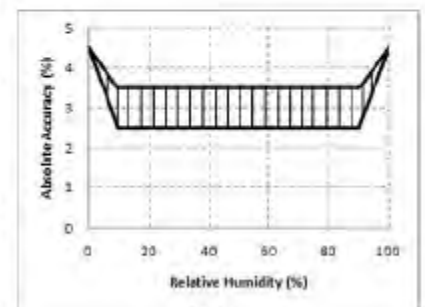
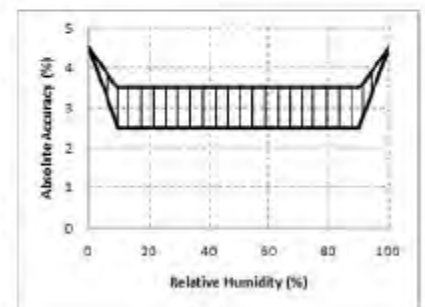
Wahrhaftig, C. & Cox, A., 1959: Rock glaciers in the Alaska Range. *Geological Society of America Bulletin*, 70: 383-436.

9.- LISTADO DE ANEXOS DIGITALES

- Anexo digital 1:** Datos de temperatura de los MTD instalados en cada uno de los glaciares rocosos
- Anexo digital 2:** Fotografías de los MTD instalados en cada uno de los glaciares rocosos
- Anexo digital 3:** Datos de temperatura en las diferentes estaciones de monitoreo en profundidad
- Anexo digital 4:** Archivos GPX sobre la localización de los puntos de medición GPS, dataloggers MTD y estaciones de monitoreo en profundidad
- Anexo digital 5:** Copia en pdf del informe

ANEXOS

Anexo 1: Antecedentes técnicos MTD HOBO® Pro v2 (U23-004).

Temperature Sensor		 Plot A
Operation range	Internal sensors: -40° to 70°C (-40° to 158°F) U23-002 external temperature sensor: -40° to 70°C (-40° to 158°F) U23-003 and U23-004 external sensors: -40° to 100°C (-40° to 212°F), with tip and cable immersion in fresh water up to 50°C (122°F) for one year	
Accuracy	0.2°C over 0° to 50°C (0.36°F over 32° to 122°F); see Plot A	
Resolution	0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F); see Plot A	
Response time (typical to 90%)	Internal sensors: 40 minutes in air moving 1 m/sec U23-002 external temperature sensor: 5 minutes in air moving 1 m/sec U23-003 and U23-004 external sensors: 3 minutes in air moving 1 m/sec; 30 seconds in stirred water	
Stability (drift)	< 0.1°C (0.18°F) per year	
Relative Humidity Sensor (U23-001, U23-002 only)		 Plot B
Operation range	0-100% RH, -40° to 70°C (-40° to 158°F) Exposure to conditions below -20°C (-4°F) or above 95% RH may temporarily increase the maximum RH sensor error by an additional 1%	
Accuracy	+/- 2.5% from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of +/- 3.5%. See Plot B for full range.	
Resolution	0.03%	
Response time (typical to 90%)	U23-001: 40 minute in air moving 1 m/sec with protective cap U23-002: 10 minutes in air moving 1 m/sec with protective cap	
Stability (drift)	< 1% per year typical; hysteresis 1%	
Logger		 Plot B
Operation range	-40° to 70°C (-40° to 158°F)	
Real-time clock	± 1 minute per month 0° to 50°C (32° to 122°F)	
Battery	1/2 AA, 3.6 Volt lithium, user-replaceable (part # HP-B)	
Battery life (typical use)	3 years with 1 minute or greater logging interval	
Memory (non-volatile)	64K bytes memory (approx. 21,000 temperature and RH measurements)	
Materials	All models: ASA styrene polymer housing and mounting clamp; polypropylene protective cap; Buna-N o-ring(s); U23-001, U23-002 only: ASA styrene polymer RH sensor cap; modified hydrophobic polyethersulfone membrane	 Plot B
Cables	U23-001: No cables U23-002: One 184 cm (6 ft.) PVC cable; sensor diameter 1 cm (0.38 in.) U23-003: Two 184 cm (6 ft.) PVC cables; sensor diameter 0.5 cm (0.20 in.) U23-004: One 184 cm (6 ft.) PVC cable; sensor diameter 0.5 cm (0.20 in.)	
Environmental rating	Electronics housing is NEMA 6P equivalent (tolerant of brief submergence); Units with RH sensors are NEMA 4 equivalent (splash-resistant)	
Launch modes	Immediate start; delayed start	
Logging interval	Fixed-rate or multiple logging intervals, with up to 8 user-defined logging intervals and durations; logging intervals from 1 second to 18 hours (refer to HOBOWare software manual)	
Offload modes	Offload while logging; stop and offload	
Battery indication	Battery voltage can be viewed in status screen and optionally logged in datafile. Low battery indication in datafile.	
Weight	U23-001: 57 g (1.5 oz); U23-002: 118 g (3.1 oz); U23-003: 138 g (3.7 oz); U23-004: 102 g (2.7 oz)	
Dimensions	Housing measures 10.2 × 3.8 cm (4.0 × 1.5 in.)	
NIST certificate	Temperature certificate available for additional charge	
CE	The CE Marking identifies this product as complying with the relevant directives in the European Union (EU).	

Anexo 2: Formulario de instalación y descarga de datos de los MTD

Site ID / <i>nombre del sitio:</i>	Logger Serial / <i>número de serie:</i>	Shuttle Serial / <i>número de serie:</i>	
Data Collector / <i>operador:</i>	Date / <i>fecha</i> (YYYY-MM-DD):	Time / <i>hora</i> (00:00 - 23:59):	
GPS Coordinate or Name of Point / <i>coordenada o nombre de punto GPS:</i>	Logger Type (old/new, # channels) / <i>tipo de logger (viejo/nuevo, n° de sensores):</i>		
Data Readout Procedure / <i>Procedimiento de lectura de datos</i>			
Step / <i>paso</i>	Details / <i>detalles</i>	Yes / <i>Sí</i>	No
1, Evaluate site and logger conditions / <i>Evaluar condiciones del sitio y logger</i>	Pole / <i>poste</i> [present, intact, vertical?]		
	Tape / <i>cinta adhes</i> , [intact, firmly holding external sensor? / <i>intacta, firmemente manteniendo el sensor externo?</i>]		
	Cable [uncut, no damage or kinks? / <i>sin cortar o doblar, sin daño?</i>]		
	Logger [still buried, no visible damage, blinking? / <i>sigue enterrado, sin daño visible, luz parpadeando?</i>]		
2, Upload data to shuttle (retry if first attempt fails; replace logger if unsuccessful even after replacing battery) / <i>Descarga datos al shuttle (reintenta si primer intento falla; reemplaza logger si no resulta despues de cambiar batería)</i>	Shuttle indicates OK? / <i>Shuttle indica OK?</i>		
	Shuttle transfer light blinks approximately # months/logging interval (hours)? / <i>Luz de transferencia de datos del shuttle parpadea aproximadamente (número de meses dividido por largo de intervalo en horas) veces?</i>		
3, Replace logger battery / <i>reemplazar batería del logger</i>	Battery replaced? / <i>Batería reemplazada?</i>		
	Blinking (may function but not blink in case of delayed launch)? / <i>Parpadeando (puede funcionar sin parpadear en caso de iniciación retardada)</i>		
4, Paint Rock if necessary / <i>Pintar roca si es necesario</i>	If paint worn, or if installing logger at new site, paint site number clearly on nearby rock; rock painted? / <i>Pintar nombre del sitio en roca cercana si la pintura se ha borrado o si se trata de un sitio nuevo; roca pintada?</i>		
5, Photograph site / <i>Tomar foto del sitio</i>	Try to include site ID on painted rock; photo taken? / <i>Tratar de incluir roca pintada en la foto; se tomó foto?</i>		
Readout comments / <i>comentarios sobre descarga de datos:</i>			

Logger Installation/Replacement Procedure / Procedimiento de instalación y remplazo de loggers		
Ensure data logger has been launched (is blinking), try to select a location within a site with material representative of the surrounding ~100m / <i>Asegura que el logger ha sido iniciado (está parpadeando), trata de seleccionar sitio con materiales representativos de los ~100m en los alrededores</i>		
Step / paso	Details / detalles	Observations / observaciones
1. Determine site type / <i>determinar tipo de sitio</i>	Landform Type (rock gl, debris-cov gl, talus, moraine) / <i>tipo de geoforma (gl roc / gl cubierto / talud / morrena)</i>	
	Substrate Type (fine, medium, coarse) / <i>tipo de sustrato (fino / intermedio / grueso)</i>	
	Snow favorability (wind-exposed, "normal", long-lasting) / <i>acumulacion de nieve (expuesto al viento / "normal" / larga duración)</i>	
	Snow present during installation? / <i>Presencia de nieve durante instalación del logger?</i>	If yes, depth / <i>profundidad</i> (cm): _____
2. Logger	Bury data logger in debris native to site / <i>enterrar logger en material de origen local</i>	Logger depth / <i>profundidad del logger</i> (cm): _____
3. External sensor / <i>sensor externo</i>	Fix stake securely into the ground, close to logger / <i>fijar poste firmemente en el suelo</i>	
	Tape external sensor cable to stake at bottom at sensor; use plastic tube if near rodent habitat / <i>fijar sensor externo en el poste; utilizar tubo de plástico si en cercanías hay roedores</i>	External sensor height / <i>altura del sensor externo</i> (cm): _____
4. Identify site / <i>identificar sitio</i>	Perform steps 4 and 5 of readout procedure / <i>Seguir pasos 4 y 5 del procedimiento de lectura de datos</i>	Photographed and painted? / <i>Fotografiado, pintado?</i> _____
Site setup comments / <i>comentarios sobre preparación del sitio:</i> _____ _____ _____		

Data logger installation and offload form, version 1.00, Jotham Apaloo and Alexander Brenning, July 15, 2010

Anexo 3: Dataloggers (MTD) temperatura HOBO® Pro v2 (U23-004) instalados

ID TERRENO	ID DATALOGGER	GLACIAR ROCOSO	COORDENADAS*		Z	FECHA	MATERIAL
			X	Y			
X1	2447-519	GR Llano de las Liebres	409124	6652718	3798	12/12/2009	Basamento
X2	2447-525	GR Llano de las Liebres	409124	6652718	3798	12/12/2009	Basamento
X3	2447-523	GR Llano de las Liebres	408907	6653050	3941	12/12/2009	
X4	2447-503	GR Llano de las Liebres	408899	6653063	3941	12/12/2009	
X5	2447-515	GR Llano de las Liebres	408872	6653030	3924	12/12/2009	Detritos de tamaño medio
X6	2447-504	GR Llano de las Liebres	408840	6653062	3928	12/12/2009	Grava, detritos finos
X7	2447-512	GR Llano de las Liebres	408672	6653305	3997	12/12/2009	Detritos finos
X8	2447-500	GR Llano de las Liebres	408699	6653325	4009	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X9	2447-508	GR Llano de las Liebres	408768	6653378	4054	12/12/2009	
X10	2447-524	GR Llano de las Liebres	408663	6653596	4107	12/12/2009	Roca de tamaño métrico
X12	2447-527	GR Llano de las Liebres	408547	6653632	4078	12/12/2009	Detritos finos
X13	2447-496	GR Llano de las Liebres	408535	6653611	4071	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X14	2447-518	GR Llano de las Liebres	408459	6653382	4044	12/12/2009	Detritos gruesos
X15	2447-522	GR Llano de las Liebres	408778	6652938	3905	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X16	2447-501	GR Llano de las Liebres	408900	6652613	3807	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X17	9671-479**	GR Llano de las Liebres	408994	6652465	3743	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X18	2447-514	GR Llano de las Liebres	408958	6652485	3757	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X19	9671-480	GR Llano de las Liebres	409041	6652444	3717	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino
X20	2447-526	GR Llano de las Liebres	409027	6652442	3717	12/12/2009	Detritos de tamaño medio-fino

*Coordenadas tomadas en el Datum WGS84, extraídas desde navegador.

** Cable dañado por animales

ID TERRENO	ID DATALOGGER	GLACIAR ROCOSO	COORDENADAS*		Z	FECHA	MATERIAL
			X	Y			
X1	2447-497	GR Del Tapado	412093	6663535	4370	13/12/2009	Detritos finos
X2	2447-511	GR Del Tapado	412073	6663526	4371	13/12/2009	
X3	2447-532	GR Del Tapado	411780	6663464	4472	13/12/2009	Detritos finos
X4	2447-504**	GR Del Tapado	411780	6663464	4472	13/12/2009	Detritos finos
X01	2447-499	GR Del Tapado	412129	6663196	4392	13/12/2009	Detritos finos, grava fina
X02	2447-502	GR Del Tapado	412058	6663212	4412	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X03	9671-481	GR Del Tapado	411698	6663245	4483	13/12/2009	Detritos heterogéneos
X04	2447-506	GR Del Tapado	411722	6663264	4477	13/12/2009	Detritos de tamaño medio-pequeño
X05	2447-520	GR Del Tapado	411610	6663331	4509	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X06	2447-533***	GR Del Tapado	411587	6663361	4514	13/12/2009	Detritos finos
X010	2447-534	GR Del Tapado	411527	6663078	4504	13/12/2009	Detritos finos
X011	9671-478	GR Del Tapado	411608	6663011	4510	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X012	9671-498	GR Del Tapado	411792	6663016	4464	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X013	9671-482	GR Del Tapado	412137	6663057	4398	13/12/2009	Detritos
X015	2447-509	GR Del Tapado	412744	6663834	4232	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X5A	2447-517	GR Del Tapado	411474	6663545	4518	13/12/2009	Detritos finos
X6A	2447-516	GR Del Tapado	411487	6663883	4552	13/12/2009	Detritos de tamaño medio
X7A	2447-510	GR Del Tapado	411547	6663738	4510	13/12/2009	Detritos finos
X014	2447-531	GR Del Tapado	412533	6663312	4297	13/12/2009	

* Coordenadas tomadas en el Datum WGS84

** Se retiró el datalogger 2447-507 y fue reemplazado por 2447-504

*** Fuera de servicio por problema de funcionamiento. No reemplazado.

Anexo 4: Ficha de antecedentes: Estación Liebres 1

INFORMACIÓN BÁSICA	
CLIENTE:	Dirección General de Aguas. Chile
PROYECTO:	Glaciares rocosos en los Andes Semiáridos.
FECHA DE INSTALACIÓN:	2010-04-12
INSTALADO POR:	Darío Trombotto; José Hernández; Lucas Ruiz; Guillermo Azócar; Xavier Bodin; Pablo Iribarren
NÚMERO DE PERFORACIÓN:	Liebres-01
PROFUNDIDAD:	- 2,67 m
FECHA DE PERFORACIÓN:	2010-04-12
DESCRIPCIÓN DEL SITIO:	Localizada en la parte superior central del glaciar rocoso
COORDENADAS:	X 408613 Y 6653475.6
ELEVACIÓN:	4050 m.s.n. m

DETALLES TÉCNICOS INSTRUMENTO		
MODELO DATALOGGER:	ONSET / HOBO U30	
NÚMERO DE SERIE DATALOGGER:	9723541	
MODELO SENSOR DE TEMPERATURA:	E348-S-TMB-M006 / E348-S-TMB-M017	
SENSORES USADOS:	7	
Nº DE SENSORES EN SUPERFICIE:	2	
Nº DE SENSORES EN PROFUNDIDAD:	5	
INTERVALO DE MEDICIÓN:	1 hora	
NÚMERO DE SERIE:	+ 1,50 m	9697-95
	+ 1 m*	9697-94
	-0,2 m	9697-30
	-0,5 m	9697-29
	- 1 m	9697-28
	- 2 m	9697-27
	- 2,67 m	9697-26
ENERGÍA:	Panel solar de 6 watts / E348-SOLAR-6W	

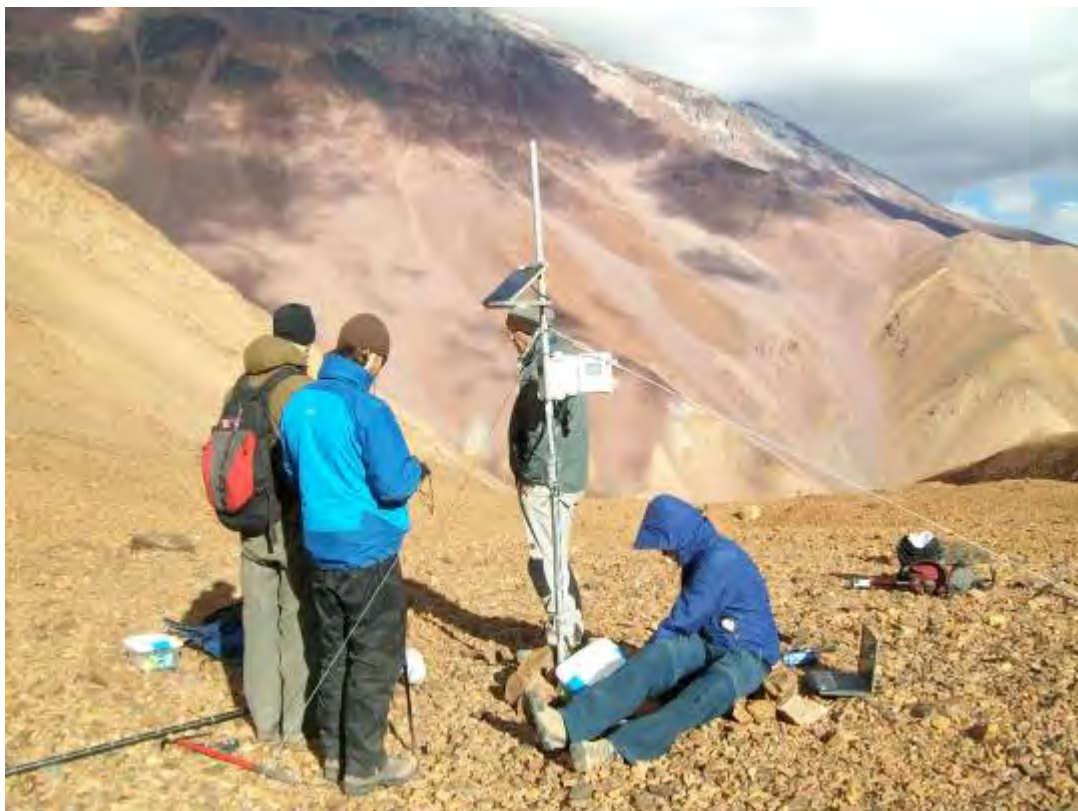
* A partir del 15 de diciembre 2010 fue cambiada la posición del sensor desde +1 m a +0,5 m

Detalles de instalación en terreno de la cinta termistora

- Materiales superficiales están conformados por detritos finos a gruesos.
- Evidencia de posibles flujos de avalanchas en las cercanías.
- La perforación fue localizada en la parte convexa de un cordón transversal sobre el glaciar rocoso.
- La perforación después de 20 minutos alcanzo una profundidad 2,67 m posiblemente el tope del permafrost. El rebote del peso o masa del tubo indica posiblemente el tope del permafrost, cabe destacar que esta situación debe ser confirmada con los datos de temperatura registrados. Se mide profundidad con la manguera de PVC.
- La saliente del tubo de acero galvanizado fue cortada.
- Se tapa el tubo para prevenir la caída de material al interior del tubo y se procedió a la instalación de las cintas
- Las cintas termistoras fueron extendidas en la superficie del terreno y fue revisado el funcionamiento de cada uno de los termistores.
- El cable fue introducido dentro de una manguera de PVC negro. Posteriormente se introdujo la manguera de PVC al interior del tubo de acero de galvanizado.
- La saliente del tubo en superficie fue sellada con cinta duct tape o cinta eléctrica plástica.
- El cable restante en superficie fue guardado al interior de una caja plástica al lado del mástil de acero galvanizado.
- Se instaló la caja del datalogger en el mástil aproximadamente a dos metros sobre la superficie. El mástil es sostenido por 3 cables de acero con reguladores.
- El Panel solar fue instalado sobre la caja del datalogger y orientado en dirección norte.
- Se conectó cada uno de los cables termistores al datalogger.
- Posteriormente el datalogger fue conectado al computador para la configuración de los intervalos y la puesta en marcha de las mediciones.

FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

“Liebres 1”



Anexo 5: Ficha de antecedentes: Estación Liebres 2

INFORMACIÓN BÁSICA	
CLIENTE:	Dirección General de Aguas. Chile
PROYECTO:	Glaciares rocosos en los Andes Semiáridos.
FECHA DE INSTALACIÓN:	2010-04-13
INSTALADO POR:	Darío Trombotto; José Hernández; Lucas Ruiz; Guillermo Azócar; Xavier Bodin; Pablo Iribarren
NÚMERO DE PERFORACIÓN:	Liebres-02
PROFUNDIDAD:	- 7,64 m
FECHA DE PERFORACIÓN:	2010-04-14
DESCRIPCIÓN:	Localizada en la parte inferior terminal del glaciar rocoso
COORDENADAS:	X 408992,9 Y 6652463,9
ELEVACIÓN:	3.786 m s.n. m.

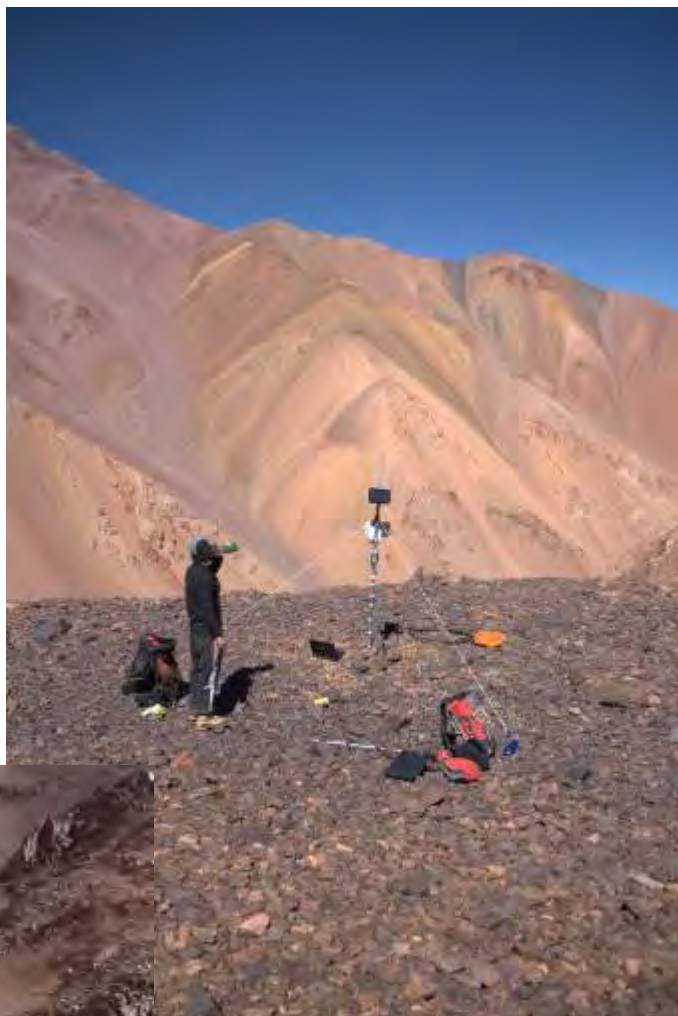
DETALLES TÉCNICOS INSTRUMENTO		
MODELO DATALOGGER:	ONSET / HOBO U30	
NÚMERO DE SERIE DATALOGGER:	9723542	
MODELO SENSOR DE TEMPERATURA:	E348-S-TMB-M006 / E348-S-TMB-M017	
SENSORES USADOS:	8	
Nº DE SENSORES EN SUPERFICIE:	1	
Nº DE SENSORES EN PROFUNDIDAD:	7	
INTERVALOS DE MEDICIÓN:	1 hora	
NÚMERO DE SERIE:	+ 1 m	9697-96
	-0,2 m	9697-35
	-0,5 m	9697-34
	- 1 m	9697-33
	- 2 m	9697-32
	- 3 m	9697-31
	- 5 m	9697-97
	-7,4 m	9697-98
ENERGÍA	Panel solar de 6 watts / E348-SOLAR-6W	

Detalles de instalación en terreno de la cinta termistora

- Materiales superficiales están conformados por detritos finos a gruesos de color negro.
- La perforación fue localizado en la parte inferior del glaciar rocoso, donde la lengua terminal conforma una terraza.
- La perforación después de 45 minutos alcanzo una profundidad 7,64 m. Se unen varios tubos para alcanzar esta profundidad. No hay seguridad que el tope del permafrost se haya alcanzado.
- La saliente del tubo de acero galvanizado fue cortada.
- Se tapa el tubo para prevenir la caída de material al interior del tubo y se procedió a la instalación de las cintas.
- Las cintas termistoras fueron extendidas en la superficie del terreno y fue revisado el funcionamiento de cada uno de los termistores.
- El cable fue introducido dentro de una manguera de PVC negro. Posteriormente se introdujo la manguera de PVC al interior del tubo de acero de galvanizado. No obstante, la parte final superior de las cintas termistoras quedaron descubiertas, es decir sin la cubierta de manguera de PVC al interior del tubo.
- La saliente del tubo en superficie fue sellada con cinta duct tape o cinta eléctrica plástica.
- El cable restante en superficie fue guardado al interior de una caja plástica al lado del mástil de acero galvanizado.
- Se instaló la caja del datalogger en el mástil aproximadamente a dos metros sobre la superficie. El mástil es sostenido por 3 cables de acero con reguladores.
- El Panel solar fue instalado sobre la caja del datalogger y orientado en dirección norte.
- Se conectó cada uno de los cables termistores al datalogger.
- Posteriormente el datalogger fue conectado al computador para la configuración de los intervalos y la puesta en marcha de las mediciones.

FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

“Liebres 2”



Anexo 6: Ficha de antecedentes: Estación Tapado 1

INFORMACIÓN BÁSICA	
CLIENTE:	Dirección General de Aguas. Chile
PROYECTO:	Glaciares rocosos en los Andes Semiáridos.
FECHA DE INSTALACIÓN:	20010-04-14
INSTALADO POR:	Darío Trombotto; José Hernández; Lucas Ruiz; Guillermo Azócar; Xavier Bodin; Pablo Iribarren
NÚMERO DE PERFORACIÓN:	Tapado-01
PROFUNDIDAD:	- 2,07 m
FECHA DE PERFORACIÓN:	2010-04-13
DESCRIPCIÓN:	Localizada en la parte superior de la lengua activa
COORDENADAS:	X 411988,7 Y 6663517,9
ELEVACIÓN:	4.440 m s.n.m.

DETALLES TÉCNICOS INSTRUMENTO		
MODELO DATALOGGER:	ONSET / HOBO U30	
NÚMERO DE SERIE DATALOGGER:	9723544	
MODELO SENSOR DE TEMPERATURA:	E348-S-TMB-M006 / E348-S-TMB-M017	
SENSORES USADOS:	6	
Nº DE SENSORES EN SUPERFICIE:	2	
Nº DE SENSORES EN PROFUNDIDAD:	4	
INTERVALOS DE MEDICIÓN:	1 hora	
NÚMERO DE SERIE:	+ 1,50 m	9697-100
	+ 1 m*	9697-40
	-0,2 m	9697-37
	- 0,5 m	9697-38
	- 1 m	9697-39
	- 2 m	9697-36
ENERGÍA:	Panel solar de 6 watts / E348-SOLAR-6W	

* A partir del 15 de diciembre 2010 fue cambiada la posición del sensor desde +1 m a +0,5 m

Detalles de instalación en terreno de la cinta termistora

- La perforación fue localizado en la parte cóncava de un cordón transversal sobre el glaciar rocoso.
- La perforación después de 10 minutos alcanzo una profundidad 2,07 m, posiblemente el tope del permafrost. El rebote del peso o masa del tubo evidencia esta situación. Se mide profundidad con la manguera de PVC.
- La saliente del tubo de acero galvanizado fue cortada.
- Se tapa el tubo para prevenir la caída de material al interior del tubo y se procedió a la instalación de las cintas
- Las cintas termistoras fueron extendidas en la superficie del terreno y fue revisado el funcionamiento de cada uno de los termistores.
- El cable fue introducido dentro de una manguera de PVC negro. Posteriormente se introdujo la manguera de PVC al interior del tubo de acero de galvanizado
- La saliente del tubo en superficie fue sellada con cinta duct tape o cinta eléctrica plástica.
- El cable restante en superficie fue guardado al interior de una caja plástica al lado del mástil de acero galvanizado.
- Se instaló la caja del datalogger en el mástil aproximadamente a dos metros sobre la superficie. El mástil es sostenido por 3 cables de acero con reguladores.
- El Panel solar fue instalado sobre la caja del datalogger y orientado en dirección norte.
- Se conectó cada uno de los cables termistores al datalogger.
- Posteriormente el datalogger fue conectado al computador para la configuración de los intervalos y la puesta en marcha de las mediciones.

FOTOGRAFÍA DEL SITIO “Tapado 1”



Anexo 7: Ficha de antecedentes: Estación Tapado 2

INFORMACIÓN BÁSICA	
CLIENTE	Dirección General de Aguas. Chile
PROYECTO	Glaciares rocosos en los Andes Semiáridos.
FECHA DE INSTALACIÓN	20010-04-14
INSTALADO POR	Darío Trombotto; José Hernández; Lucas Ruiz; Guillermo Azócar; Xavier Bodin; Pablo Iribarren
NÚMERO DE PERFORACIÓN	Tapado-02
PROFUNDIDAD	- 2,4 m
FECHA DE PERFORACIÓN	2010-04-13
DESCRIPCIÓN	Localizada en la parte inferior de la lengua activa norte del glaciar rocoso
COORDENADAS	X 412154,5 Y 6663498,1
ELEVACIÓN	4.405 m s.n.m.

DETALLES TÉCNICOS INSTRUMENTO		
MODELO DATALOGGER	ONSET / HOBO U30	
NÚMERO DE SERIE DATALOGGER	9723543	
MODELO SENSOR DE TEMPERATURA	E348-S-TMB-M006 / E348-S-TMB-M017	
SENSORES USADOS	7	
Nº DE SENSORES EN SUPERFICIE	2	
Nº DE SENSORES EN PROFUNDIDAD	5	
INTERVALO DE MEDICIÓN:	1 hora	
NÚMERO DE SERIE:	+1,50 m	9697-101
	+1 m*	9697-105
	-0,2 m	9697-45
	-0,5 m	9697-44
	-1 m	9697-43
	-2 m	9697-42
	-2,4 m	9697-41
ENERGÍA	Panel solar de 6 watts / E348-SOLAR-6W	

* A partir del 15 de diciembre 2010 fue cambiada la posición del sensor desde +1 m a +0,5 m

Detalles de instalación en terreno de la cinta termistora

- La perforación fue localizado en la parte inferior del glaciar rocoso, donde la lengua terminal conforma una terraza.
- La perforación después de 12 minutos alcanzo una profundidad 2,4 m, posiblemente el tope del permafrost. El rebote del peso o masa del tubo evidencia esta situación. Se mide profundidad con la manguera de PVC.
- La saliente del tubo de acero galvanizado fue cortada.
- Se tapa el tubo para prevenir la caída de material al interior del tubo y se procedió a la instalación de las cintas
- Las cintas termistoras fueron extendidas en la superficie del terreno y fue revisado el funcionamiento de cada uno de los termistores.
- El cable fue introducido dentro de una manguera de PVC negro. Posteriormente se introdujo la manguera de PVC al interior del tubo de acero de galvanizado.
- La saliente del tubo en superficie fue sellada con cinta duct tape o cinta eléctrica plástica.
- El cable restante en superficie fue guardado al interior de una caja plástica al lado del mástil de acero galvanizado.
- Se instaló la caja del datalogger en el mástil aproximadamente a dos metros sobre la superficie. El mástil es sostenido por 3 cables de acero con reguladores.
- El Panel solar fue instalado sobre la caja del datalogger y orientado en dirección norte.
- Se conectó cada uno de los cables termistores al datalogger.
- Posteriormente el datalogger fue conectado al computador para configuración de los intervalos y la puesta en marcha de las mediciones.

FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

“Tapado 2”



Anexo 8: Ficha descriptiva GPS

RECEPTOR GPS TRIMBLE R6

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Mediciones

- Tecnología Trimble R-Track
- Chip GNSS Avanzado Trimble Maxwell 5 para Levantamientos Personalizados con 72 canales
- Correlator múltiple de alta precisión para mediciones de pseudorrango GNSS
- Datos de medición de pseudorrango sin filtrar ni afinar para obtener una correlación de dominios de baja duración, baja cantidad de errores multitrayecto y bajo nivel de ruido, con una alta respuesta dinámica
- Mediciones de fase de portadora GNSS con muy bajo nivel de ruido y una precisión de <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz
- Relaciones de señal a ruido informadas en dB-Hz
- Probada tecnología de rastreo de baja elevación Trimble
- Señales de satélite rastreadas en simultáneo:
 - GPS: L1C/A, L2E, L2E (método Trimble para rastrear L2P)
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A (sólo GLONASS M), L2P
 - SBAS: L1C/A

Posicionamiento GPS diferencial de código¹

Horizontal.....	0,25 m + 1 ppm RMS
Vertical.....	0,50 m + 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento diferencial WAAS ² por lo general, menos de 5 m 3DRMS	

Levantamientos GNSS Static y FastStatic¹

Horizontal.....	3 mm + 0,1 ppm RMS
Vertical.....	3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Levantamientos cinemáticos¹

Horizontal.....	10 mm + 1 ppm RMS
Vertical.....	20 mm + 1 ppm RMS
Tiempo de inicialización ³	por lo general, menos de 25 segundos
Fiabilidad de la inicialización ⁴	por lo general, más de un 99,9%

HARDWARE

Características físicas

Dimensiones (Ancho x Alto).....	19 cm x 10,9 cm (7,5 pulg x 4,3 pulg), incluidos los conectores
Peso.....	1,34 kg (2,95 lb) con batería interna, radio interna, antena UHF estándar.
	Móvil RTK completo de menos de 3,70 kg (8,16 lb) incluidas baterías, jalón, controlador y soporte

Temperatura⁵

Funcionamiento.....	-40 °C a +65 °C (-40 °F a +149 °F)
Almacenamiento.....	-40 °C a +75 °C (-40 °F a +167 °F)

Humedad.....	100%, con condensación
Impermeabilidad al agua y polvo.....	Protección contra ingreso de polvo según norma IP67, con protección contra inmersión temporal a una profundidad de 1 m (3,28 pies)

© 2006-2009, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble, el logo del Globo terráqueo y el Triángulo y TSC2 son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited, registradas en los Estados Unidos y en otros países. Integrated Surveying, Maxwell, R-Track y Trimble Survey Controller son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited. La marca con la palabra Bluetooth y los logos son propiedad de Bluetooth SIG, Inc. y todo uso de dichas marcas por parte de Trimble Navigation Limited es bajo licencia. Todas las otras marcas son propiedad de sus respectivos titulares. NP 02543-2590-E (11/09)

Golpes y vibraciones..... Las pruebas confirman que cumple los siguientes estándares ambientales:

Golpes.....	Apagado: Diseñado para resistir una caída desde un jalón de 2 m (6,6 pies) sobre superficies duras.
	Encendido: De diente de sierra hasta 40 G, 10 mseg
Vibraciones.....	MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1

Aspectos eléctricos

- Alimentación de 11 V CC a 28 V CC de entrada de potencia externa con protección contra sobretensión en Puerto 1 (Lemo de 7 pines)
- Batería de ión-litio recargable y removible de 7,4 V y 2,4 Ah en el compartimento interno para batería. El consumo de energía es 3,2 W, en modo móvil RTK con radio interna. Duración de funcionamiento con batería interna:
 - Opción de sólo recepción de 450 MHz..... 5,8 horas⁷
 - Opción de recepción/transmisión de 450 MHz..... 3,7 horas⁸
 - GSM/GPRS..... 4,1 horas⁷
- Certificación Clase B Parte 15, 22, 24 Certificación FCC, 850/1900 MHz. Módulo GSM/GPRS Clase 10. Aprobación de Marca CE y aprobación de C-tick

Comunicaciones y almacenamiento de datos

- Serial de 3 cables (Lemo de 7 pines) en Puerto 1. Serial RS-232 completo en el Puerto 2 (Dsub de 9 pines)
- Opción de receptor/transmisor de 450 MHz completamente integrado y sellado:
 - Potencia de transmisión: 0,5 W
 - Alcance⁶: 3-5 km por lo general / 10 km óptimo
- Opción de GSM/GPRS interno completamente integrado y sellado⁷
- Puerto de comunicaciones de 2,4 GHz completamente integrado y sellado (Bluetooth®)⁹
- Soporte de teléfono móvil externo para módems GSM/GPRS/CDPD para operaciones de RTK y VRS
- Almacenamiento de datos en memoria interna de 11 MB: 302 horas de observables brutos, basado en grabación cada 15 segundos desde un promedio de 6 satélites
- Posicionamiento de 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz y 10 Hz
- Entrada y salida CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- 16 salidas NMEA, salidas GSOF, RT17 y RT27. Soporta BINEX y portadora suavizada

¹ La precisión y la fiabilidad pueden estar sujetas a anomalías debido a multitrayecto, obstrucciones, geometría de satélites y condiciones atmosféricas. Siempre siga las prácticas de levantamiento recomendadas.

² Depende del rendimiento del sistema WAAS/EGNOS.

³ Puede resultar afectado por las condiciones atmosféricas, multitrayecto de señal, obstrucciones y geometría de satélites.

⁴ Puede resultar afectado por las condiciones atmosféricas, multitrayecto de señal y geometría de satélites. La fiabilidad de la inicialización se monitorea constantemente para asegurar la más alta calidad.

⁵ Normalmente, el receptor operará a -40 °C y las baterías internas se miden a -20 °C.

⁶ Varía según el terreno y las condiciones de operación.

⁷ Varía según la temperatura.

⁸ Varía según la temperatura y la velocidad de transmisión de datos inalámbricos.

⁹ Las aprobaciones de tipo Bluetooth son específicas según el país. Comuníquese con su Socio Autorizado de Distribución de Trimble local para obtener más información.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.



Anexo 9: Valores cinemáticos calculados en el glaciar rocoso Llano de las Liebres entre las campañas de diciembre de 2009 y abril de 2010.

ID	Diciembre 2009			Abril 2010			D_vert	D_hor	D_3D
	X*	Y	Z	X	Y	Z			
B1	409118,9	6652718,0	3842,4	409118,9	6652718,0	3842,4	0,00	0,00	0,00
1.1	408759,6	6653231,9	4000,1	408759,8	6653231,3	4000,0	-0,17	0,65	0,67
1.11X	408768,4	6653180,1	3983,2	408768,6	6653179,5	3983,0	-0,16	0,59	0,61
1.12	408805,2	6653106,5	3960,6	408805,4	6653106,0	3960,5	-0,12	0,57	0,59
1.15	408868,4	6652947,1	3933,0	408868,5	6652946,7	3932,9	-0,04	0,40	0,40
1.16	408891,9	6652892,8	3925,3	408892,0	6652892,5	3925,3	-0,06	0,39	0,39
1.19	408935,9	6652781,3	3905,0	408936,0	6652780,9	3904,9	-0,06	0,40	0,40
1.2	408555,8	6653574,6	4078,5	408555,9	6653574,1	4078,3	-0,15	0,47	0,49
1.2	408953,6	6652750,3	3894,6	408953,8	6652750,0	3894,5	-0,11	0,43	0,44
1.21	408958,5	6652716,7	3886,8	408958,7	6652716,3	3886,7	-0,11	0,47	0,49
1.22	408976,3	6652682,4	3873,1	408976,4	6652681,9	3872,9	-0,18	0,50	0,53
1.23	408981,6	6652616,8	3843,3	408981,5	6652616,4	3843,1	-0,20	0,49	0,52
1.24	408979,9	6652561,3	3820,2	408979,9	6652560,9	3820,1	-0,17	0,42	0,45
1.25	408986,4	6652508,5	3796,9	408986,4	6652508,4	3796,8	-0,11	0,18	0,21
1.27	408980,2	6652460,3	3788,6	408980,1	6652460,1	3788,6	-0,06	0,21	0,21
1.3	408591,1	6653544,1	4068,9	408591,3	6653543,7	4068,8	-0,18	0,44	0,48
1.5	408639,1	6653414,0	4043,4	408642,4	6653411,3	4043,5	0,06	4,26	4,26
1.8	408709,8	6653313,4	4017,0	408710,1	6653312,9	4016,9	-0,09	0,55	0,55
2.1	408663,2	6653293,0	4025,0	408663,4	6653292,7	4025,0	-0,08	0,39	0,40
2.2	408668,3	6653302,5	4026,5	408668,6	6653302,1	4026,4	-0,09	0,49	0,49
2.5	408705,3	6653337,4	4022,9	408705,5	6653337,0	4022,7	-0,13	0,52	0,53
3.1	408914,0	6652976,9	3932,0	408914,0	6652976,9	3932,0	-0,01	0,04	0,04
3.2	408902,8	6652969,4	3933,7	408902,9	6652969,1	3933,7	-0,06	0,38	0,39
3.3	408887,7	6652961,0	3934,0	408887,7	6652960,7	3933,9	-0,09	0,35	0,36
3.5	408843,0	6652936,5	3931,1	408843,1	6652936,2	3931,1	-0,04	0,37	0,37
3.6	408825,0	6652942,4	3930,0	408825,0	6652942,2	3930,0	-0,02	0,18	0,18
4.1	408951,3	6652822,8	3903,4	408951,3	6652822,8	3903,4	0,01	0,01	0,01
4.2	408941,9	6652820,3	3908,5	408942,0	6652820,2	3908,4	-0,03	0,17	0,17
4.4	408907,7	6652787,1	3905,6	408907,8	6652786,7	3905,5	-0,07	0,34	0,35
4.5	408893,4	6652770,7	3899,0	408893,4	6652770,4	3898,9	-0,10	0,25	0,27

ID

Identificador en terreno

D_vert

Componente vertical del desplazamiento vertical (en metros)

D_hor

Componente horizontal del desplazamiento horizontal (en metros)

D_3D

Desplazamiento oblicuo (en metros)

Coordenadas en Datum WGS84 – UTM 19 Sur y Geoide EGM96

Anexo 10: Valores cinemáticos calculados en el glaciar rocoso Del Tapado entre las campañas de diciembre de 2009 y abril de 2010.

ID	Diciembre 2009			Abril 2010			D_vert	D_hor	D_3D
	X*	Y	Z	X	Y	Z			
1,7	411859,3	6663476,7	4477,5	411859,7	6663476,9	4477,3	-0,18	0,36	0,40
2	412128,0	6663549,2	4402,2	412128,4	6663549,3	4402,1	-0,07	0,42	0,42
2,1	412093,3	6663535,0	4414,9	412093,7	6663535,1	4414,8	-0,08	0,36	0,37
2,2	412073,2	6663525,6	4418,0	412073,6	6663525,6	4418,0	-0,08	0,38	0,39
2,3a	412032,5	6663518,2	4428,3	412032,9	6663518,2	4428,2	-0,07	0,42	0,42
2,4	411992,1	6663499,4	4438,2	411992,5	6663499,4	4438,1	-0,10	0,43	0,44
2,5	411958,7	6663492,9	4445,3	411959,1	6663493,0	4445,2	-0,08	0,42	0,43
2,8	411838,7	6663475,4	4483,2	411839,0	6663475,5	4483,1	-0,12	0,34	0,35
2,9	411808,1	6663464,1	4499,6	411808,5	6663464,2	4499,4	-0,12	0,40	0,42
3,1	411965,2	6663451,4	4446,1	411965,3	6663451,4	4446,0	-0,02	0,16	0,16
3,2	411961,4	6663464,0	4446,7	411961,7	6663464,0	4446,6	-0,05	0,29	0,29
3,3	411961,6	6663480,0	4446,5	411962,0	6663480,1	4446,5	-0,05	0,38	0,38
3,4	411950,3	6663503,4	4447,9	411950,7	6663503,5	4447,8	-0,08	0,38	0,39
3,5	411940,1	6663522,1	4446,3	411940,5	6663522,2	4446,3	-0,07	0,40	0,40
3,6	411940,5	6663538,6	4449,7	411940,9	6663538,7	4449,6	-0,08	0,40	0,41
3,7	411944,8	6663558,5	4447,7	411945,2	6663558,6	4447,6	-0,07	0,39	0,40
3,8	411940,6	6663579,2	4446,3	411940,6	6663579,2	4446,3	0,05	0,01	0,05
1,1	411577,6	6663545,4	4524,9	411577,6	6663545,4	4524,9	0,00	0,03	0,03
1,10	411579,6	6663266,2	4530,5	411579,7	6663266,2	4530,5	-0,02	0,07	0,07
1,11	411571,7	6663241,1	4534,4	411571,8	6663241,0	4534,3	-0,09	0,09	0,12
1,12	411549,5	6663191,2	4532,6	411549,6	6663191,2	4532,6	0,01	0,10	0,10
1,13	411560,1	6663159,6	4524,7	411560,1	6663159,6	4524,8	0,01	0,06	0,06
1,14	411568,0	6663120,0	4517,7	411568,0	6663120,0	4517,7	0,03	0,04	0,05
1,15	411555,2	6663089,6	4516,8	411555,2	6663089,6	4516,8	0,00	0,05	0,05
1,2	411568,7	6663519,8	4529,1	411568,8	6663519,9	4529,1	-0,07	0,09	0,11
1,3	411575,2	6663493,4	4533,9	411575,3	6663493,4	4533,8	-0,13	0,13	0,18
1,4	411585,8	6663471,6	4533,5	411586,1	6663471,6	4533,3	-0,25	0,33	0,42
1,5	411572,5	6663446,0	4527,6	411573,0	6663446,2	4527,2	-0,40	0,52	0,65
1,6	411577,5	6663421,3	4529,7	411577,7	6663421,4	4529,6	-0,10	0,15	0,18
1,7	411592,2	6663389,7	4530,4	411592,3	6663389,7	4530,4	-0,02	0,11	0,11
1,8	411588,0	6663358,6	4535,4	411588,2	6663358,8	4535,2	-0,21	0,24	0,32
1,9	411597,8	6663310,3	4529,8	411597,9	6663310,3	4529,8	-0,02	0,09	0,09

ID Identificador en terreno

D_vert Componente vertical del desplazamiento vertical (en metros)

D_hor Componente horizontal del desplazamiento horizontal (en metros)

D_3D Desplazamiento oblicuo (en metros)

***** Coordenadas en Datum WGS84 – UTM 19 Sur y Geoide EGM96

