



Velocidad  
del viento  
Dirección  
del viento

Precipitación  
(lluvia)

Altura  
de la nieve

Panel solar

Temperatura  
y humedad

Gabinete con  
datalogger

Nivel y  
temperatura  
del agua

Jabalina

I A N I G L A



CONICET

U. N. C U Y O  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

**Cuenca del río de las Vueltas  
Provincia de Santa Cruz**

**Boletín nivo-meteorológico  
Primavera 2016**

Informe realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Unidad ejecutora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Pierre Pitte

Ana Srur

Lucas Ruiz

Mariano Masiokas

Maximiliano Viale

Hernán Gargantini

Lidia Ferri Hidalgo

Laura Zalazar

Ricardo Villalba

Diciembre de 2016 (versión 02/12/2016)

IANIGLA-CONICET

CCT Mendoza

Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín

5500 Mendoza

[www.glaciares.org.ar/](http://www.glaciares.org.ar/)

[www.glaciaresargentinos.gob.ar/](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/)

[www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/ianigla/paginas/index/glaciologia-e-hidroclimatologia-andina](http://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/ianigla/paginas/index/glaciologia-e-hidroclimatologia-andina)

*Foto de cubierta: Estación hidro-meteorológica glaciar Milanesio, febrero 2016. Autor Ricardo Villalba.*

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente por el CONICET y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, en el marco de las actividades asociadas al Inventario Nacional de Glaciares.

Las actividades que el IANIGLA-CONICET desarrolla en la zona del Río de las Vueltas han contado a lo largo de estos años con la colaboración de numerosas personas e instituciones locales:

- Administración de Parques Nacionales, Parque Nacional Los Glaciares, Seccional Lago Viedma.
- Planta Estable El Chaltén, Secretaría de Estado de Deportes, Recreación y Turismo Social, Gobierno de Santa Cruz.
- Consejo Agrario Provincial, Gobierno de Santa Cruz.
- Hostería El Pilar.
- Estancia Río Toro.
- Viento Oeste.
- Estancia Los Huemules.
- Martín “El Griego” Palopoli.
- Aeroclub El Chaltén.
- Receptivo El Chaltén.
- La Cachaña.
- Muchos porteadores y amigos!

Muchas gracias a todos y disculpas a aquellos que podemos haber olvidado en este listado. Este informe y todos los datos que lo constituyen están a disposición de la comunidad de habitantes del Río de las Vueltas y del público en general.

## Resumen

El objetivo de este boletín es divulgar información acerca de la situación meteorológica de la cuenca del río de las Vueltas, durante el semestre frío (mayo-octubre) de 2016, principalmente utilizando estaciones propias pero también en base a estaciones manejadas por terceros en la zona.

- En base a mediciones de acumulación diaria de nieve en la estación Aonikenk (ubicada en el frente del glaciar de los Tres), el semestre mayo-octubre de 2016 se caracterizó por escasas precipitaciones níveas, las cuales solo representaron un 38 % del promedio de los dos años anteriores (2014-2015), para los que disponemos de información en este sitio.
- Esta situación de déficit fue causada por la persistencia de anomalías de alta presión en el sur de América del Sur que bloquearon la circulación típica de los vientos del oeste y sus sistemas de precipitaciones asociados. Esto inhibió la ocurrencia de episodios de precipitación durante los meses de mayo, junio y julio. Por otra parte, la poca cantidad de nieve caída en la temporada invernal y concentrada mayormente en agosto, se derritió con bastante antelación que los años anteriores.
- Es importante remarcar que durante el semestre mayo-octubre generalmente se acumula entre 30 y 65 % de las precipitaciones anuales. Por ello es necesario monitorear la situación de la estación cálida para evaluar en forma definitiva el déficit de precipitaciones del actual año hidrológico.
- Las temperaturas medias de otoño fueron aproximadamente 1.3 °C más cálidas que los dos años anteriores, mientras que las temperaturas de invierno no fueron muy diferentes que las de 2014-2015.

## Contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Red de observaciones .....	2
3.	Resultados .....	6
3.1.	Nieve .....	6
3.2.	Temperatura.....	9
3.3.	Isoterma de 0°C .....	10
3.4.	Viento.....	11
4.	Situación general.....	12
4.1.	Precipitaciones a escala regional.....	12
4.2.	Circulación general de la atmósfera.....	12
5.	Información adicional .....	15
5.1.	Procesamiento de los datos .....	15
5.2.	Efecto de la altitud en la relación agua/nieve de la precipitación .....	16

## 1. Introducción

El Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET) se fundó en Mendoza en 1972 y realiza investigaciones en Patagonia sur desde la década de los '80 en los temas relacionados con la dendrocronología, ecología, glaciología, climatología, historia de fuegos e hidrología. Parte de este trabajo consiste en la instalación, operación y mantenimiento de una serie de estaciones meteorológicas y otros sensores en distintos sectores de la cordillera.

Este boletín surge de una iniciativa para brindar información acerca de la situación hidrometeorológica de la cuenca del río de las Vueltas, considerando las condiciones del invierno y parte de la primavera de 2016, sobre la base de los datos meteorológicos colectados por el IANIGLA-CONICET y otras instituciones.

El boletín consta de tres partes: la primera (Red de observaciones y Resultados) presenta los datos de los instrumentos y una breve interpretación de los mismos, la segunda (Situación general) analiza de los patrones de circulación general de la atmósfera que produjeron la situación hidrometeorológica actual y la tercera (Información adicional) contiene datos y análisis complementarios.

## 2. Red de observaciones

La red de observaciones hidro-meteorológicas en el río de las Vueltas está compuesta por cuatro estaciones meteorológicas automáticas, dos aforos (nivel de ríos) y diez sensores de temperatura y humedad relativa (Tabla 1 y Figura 1). Hasta la fecha los datos se descargan manualmente cerca de dos veces al año ya que ninguna de las estaciones cuenta con transmisión remota de datos.

Nombre	Tipo	Altitud (msnm)	Fecha de instalación
Glaciar Milanesio	Hidro-meteorológica	898	31/01/2016
Río Toro cabaña	Temperatura	877	12/05/2008
Río Toro	Dendrómetros	712	01/02/2016
Río Toro parking	Temperatura	466	01/03/2014
Los Huemules	Meteorológica	577	01/05/2006
Col del Picante	Temperatura	1619	21/10/2016
Punta Velluda	Temperatura	1903	01/04/2014
Madsen	Temperatura	1405	27/03/2013
Lago Ira	Hidrológica	1198	21/03/2015
Aonikenk	Meteorológica	1233	30/03/2014
Glaciar Torre	Temperatura	860	03/01/2002
Seccional Lago Viedma (APN)	Meteorológica	399	01/02/2013
Pliegue Tumbado Inferior	Temperatura	830	29/02/2004
Pliegue Tumbado Superior	Temperatura	1130	29/02/2004
Pliegue Tumbado	Nivométrica	931	01/02/2013
Valle Tunel	Temperatura	615	21/01/2015

Tabla 1. Estaciones meteorológicas y sensores instalados en la zona del río de las Vueltas.

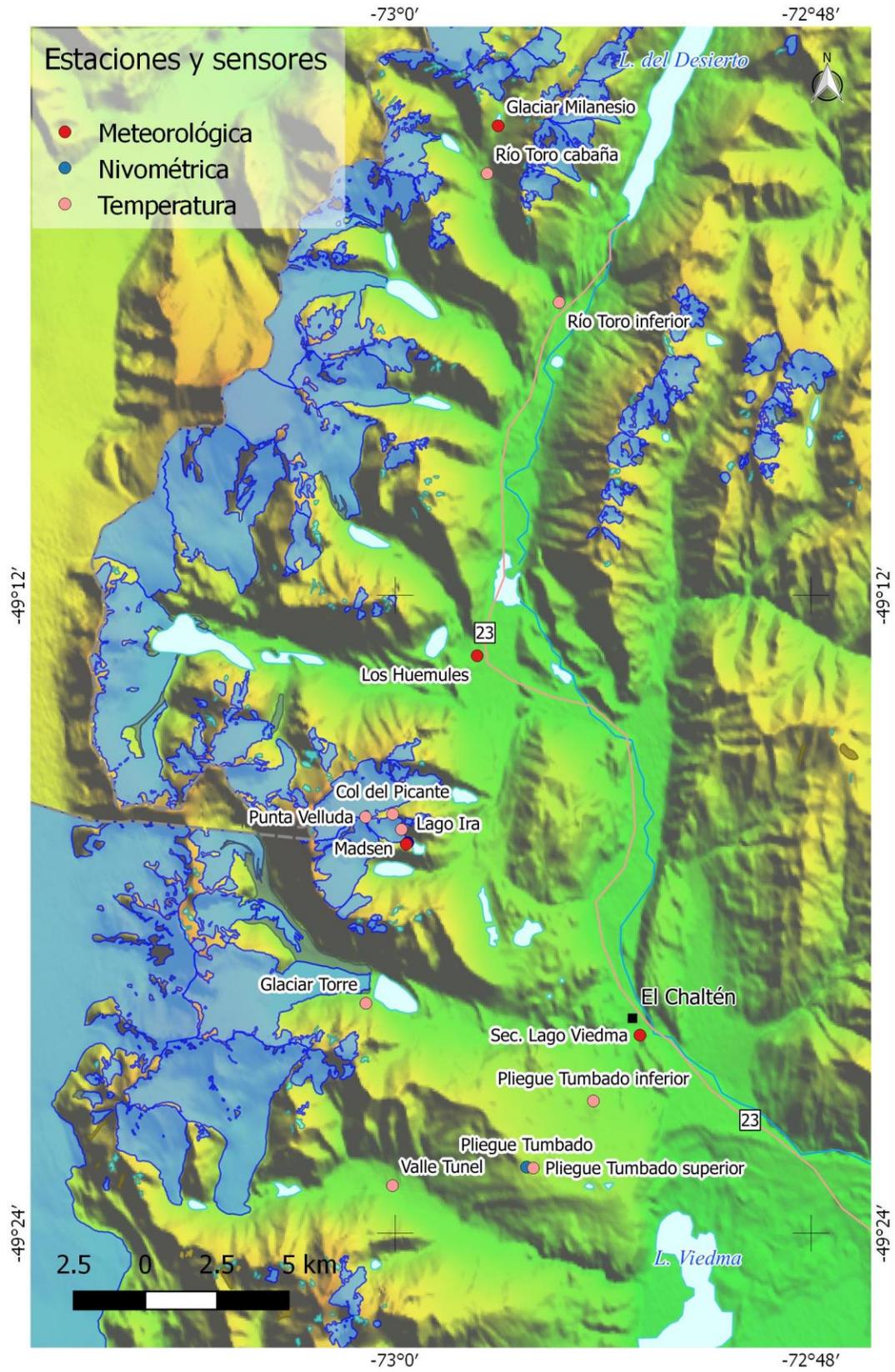


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones y sensores meteorológicos en la zona del río de las Vueltas.

Para el presente boletín se seleccionaron y analizaron los datos de los siguientes sitios:

**Aonikenk:** nivo-meteorológica completa, instalada en marzo de 2014 y registra mediciones horarias de: temperatura, precipitación, nieve, radiación, velocidad y dirección de viento, humedad y presión. La red se completa con sensores de temperatura en la parte superior del glaciar (Col del Picante/Punta Velluda, Figura 2). Esta concentración de sensores alrededor del glaciar de los Tres se debe a su incorporación en el programa de balance de masa del Inventario Nacional de Glaciares.



Figura 2. Estación meteorológica Aonikenk y sensor col del Picante en el glaciar de los Tres.

**Torre:** es un sensor de temperatura y humedad relativa, instalado en el año 2002 en la morena sur del glaciar Torre. El sensor provee uno de los registros de temperatura más extensos y completos de la zona.

**Los Huemules:** La Estancia Los Huemules recolecta datos meteorológicos desde 2006 incluyendo precipitaciones, temperaturas, vientos, presión y humedad relativa. Estos registros de mediano plazo resultan extremadamente importantes para comparar con las observaciones recientes. La estación Los Huemules no es operada por IANIGLA-CONICET.

**Glaciar Milanesio:** es una estación hidro-meteorológica completa instalada en febrero de 2016, en las nacientes del valle del río Toro (Figura 3). Registra mediciones horarias de: temperatura, precipitación, nieve, velocidad y dirección de viento, humedad, presión, así como temperatura y nivel del río. Próximo a este sitio, en el mismo valle del Río Toro, el IANIGLA ha instalado dendrómetros destinados a medir el crecimiento de los árboles y parámetros ambientales del bosque incluyendo temperatura y humedad del suelo (Figura. 3).



Figura 3. Izquierda: estación hidro-meteorológica glaciar Milanesio. Derecha: monitoreo de dendrómetros en el bosque de lengas en las nacientes del río Toro.

### 3. Resultados

#### 3.1. Nieve

La nieve total caída en la estación Aonikenk hasta final de octubre en el año 2016 fue de 290 mm de agua equivalente (water equivalent w.e., por sus siglas en inglés, ver 5.1 Procesamiento de los datos) (Figura 4). Este valor es aproximadamente un 38 % del valor promedio acumulado a la misma fecha durante los dos inviernos anteriores (844 mm w.e. para 2015 y 738 mm w.e. para 2014).

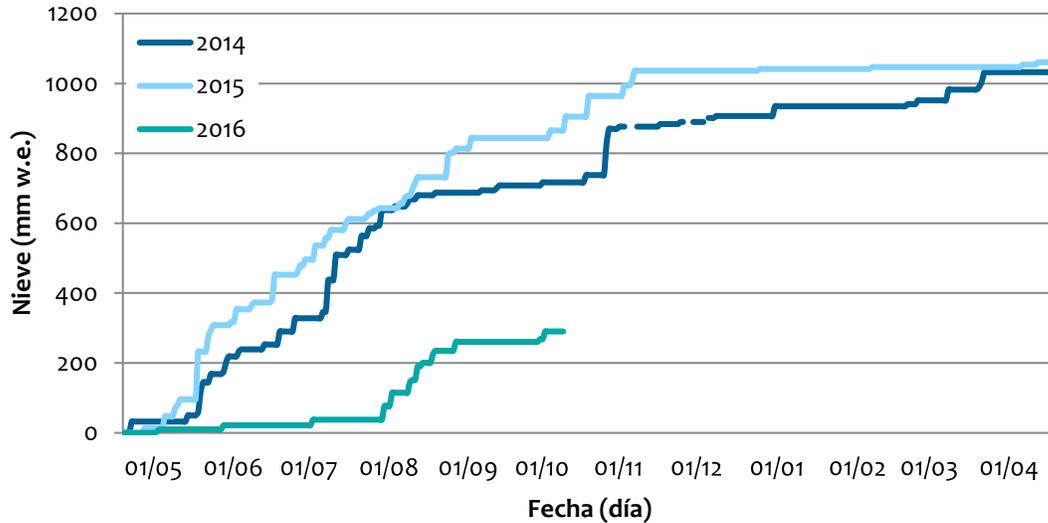


Figura 4. Nevadas acumuladas en la estación Aonikenk (1233 msnm). Las curvas representan el total acumulado de las nevadas registradas a lo largo del año hidrológico.

La altura máxima de nieve del invierno 2016 fue de 63 cm (211 mm w.e.) y se produjo el 31 de agosto (Figura 5 y Tabla 2). Este valor es aproximadamente un 38% del registrado los dos años anteriores 124 cm (576 mm w.e.) el 10/08/2014 y 118 cm (543 mm w.e.) el 25/08/2015. Otra diferencia pronunciada con los años anteriores es que la acumulación de nieve durante el año 2016 comenzó a partir del 12 de Agosto, es decir casi dos meses y medio más tarde que los dos años anteriores (en los que la acumulación se inició cerca del 30 de mayo). Finalmente la duración del manto nival fue de 69 días, 59 % más corta que los dos años anteriores.

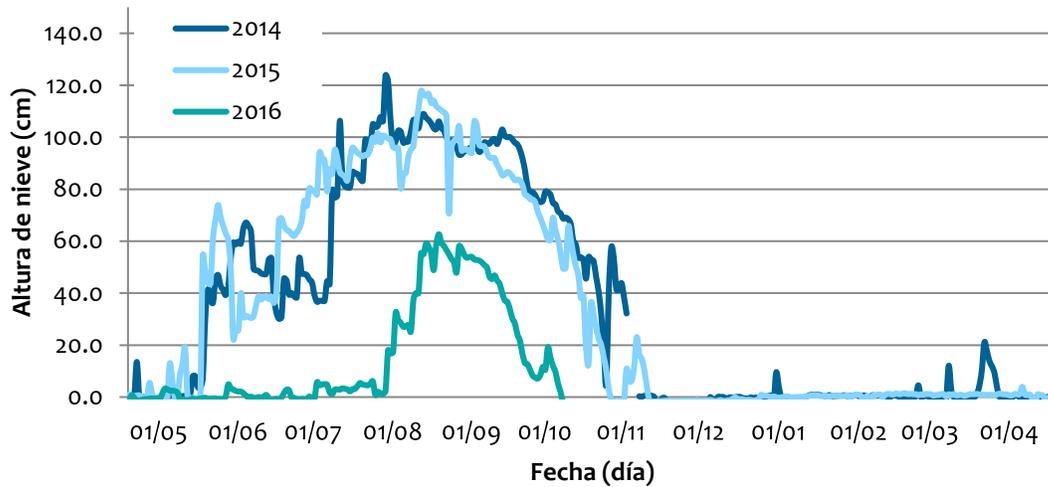


Figura 5. Altura de nieve registrada en la estación Aonikenk por año hidrológico.

Año	Altura máxima cm (mm w.e.)	Inicio de acumulación	Máximo de acumulación	Fin de acumulación	Duración de Acumulación (días)
2014	124 (576)	30/05/2014	10/08/2014	21/11/2014	175
2015	118 (543)	30/05/2015	21/08/2015	06/11/2015	160
2016	63 (211)	12/08/2016	31/08/2016	20/10/2016	69

Tabla 2. Altura de nieve y duración de la estación de acumulación en la estación Aonikenk entre 2014 y 2016.

Los datos de la estación glaciar Milanesio, ubicada 25 km más al norte y a unos 300 m menos de altura que Aonikenk, muestran una acumulación de nieve menor: 193 mm w.e. (Figura 6).

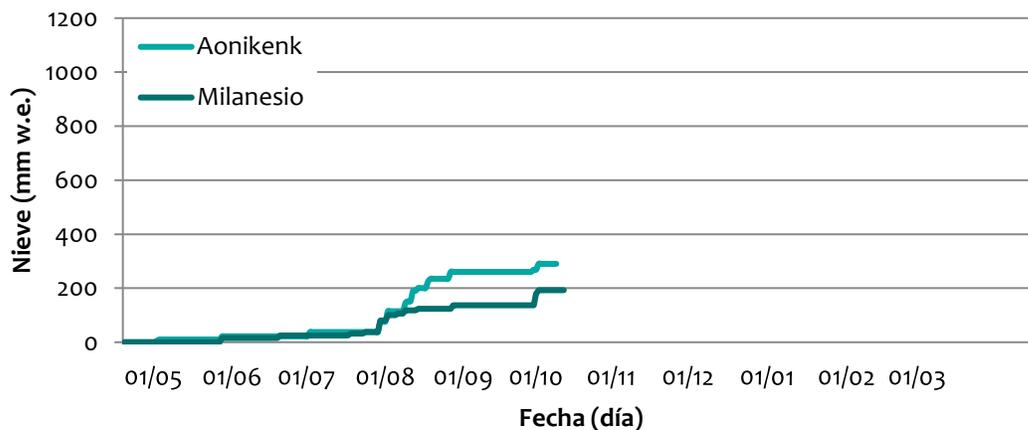


Figura 6. Comparación de las nevadas acumuladas en el año 2016 entre las estaciones glaciar Milanesio (898 msnm) y Aonikenk (1233 msnm).

La altura máxima de nieve del invierno 2016 fue de 27 cm (90 mm w.e.) y se produjo el 21 de agosto (Figura 7). La duración del manto nival fue de 54 días.

La nevada del 13 de octubre, registrada en ambas estaciones, fue el último evento acumulado en la estación Aonikenk. En contraste, la estación glaciaria Milanesio ya se encontraba sin nieve desde principios de septiembre. Los 22 cm (65 mm w.e.) de esa nevada se derritieron en 5 días a razón de 13 mm w.e./día.

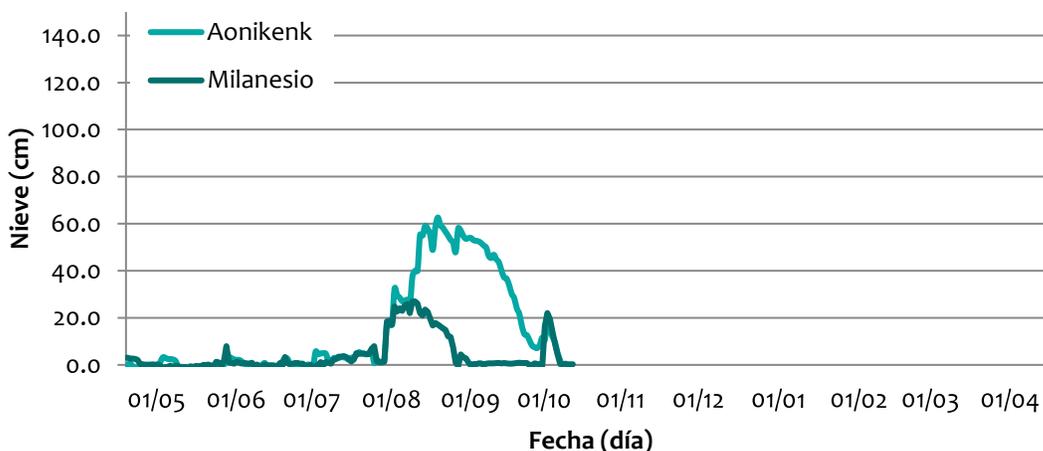


Figura 7. Comparación entre la altura de nieve durante el año hidrológico 2016 entre las estaciones glaciaria Milanesio y Aonikenk.

Es importante considerar que las precipitaciones mayo-octubre, que estamos evaluando, son aproximadamente el 50% del total anual (Figura 8). Esta proporción es variable a lo largo de los años (30-65 %) por lo que es importante monitorear la situación del verano para evaluar el déficit del año hidrológico en curso.

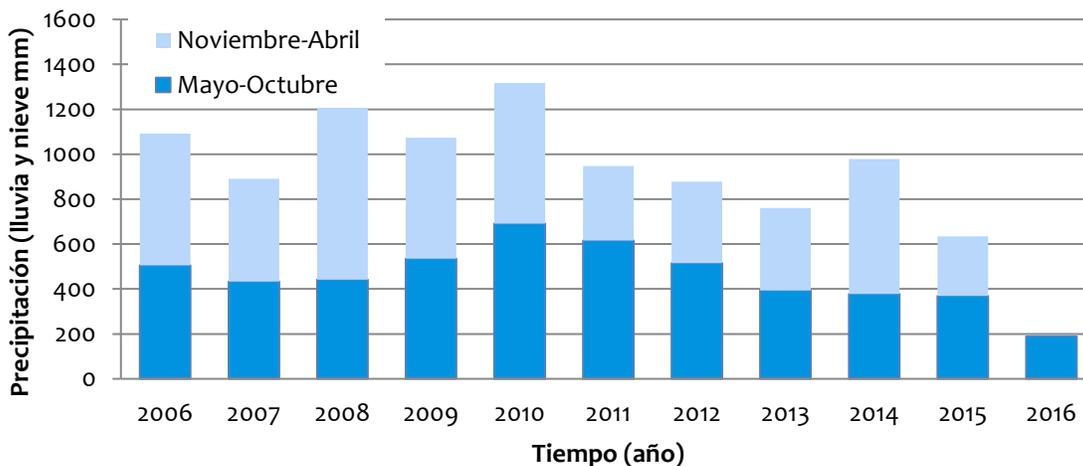


Figura 8. Precipitación, lluvia y nieve, por semestre, en la estación Los Huemules (577 m snm).

### 3.2. Temperatura

Los datos de la estación Aonikenk indican que las temperaturas medias de otoño (abril-junio) fueron 1.3 °C más cálidas que las de los dos años anteriores mientras que las de invierno fueron solo ligeramente superiores (Figura 9).

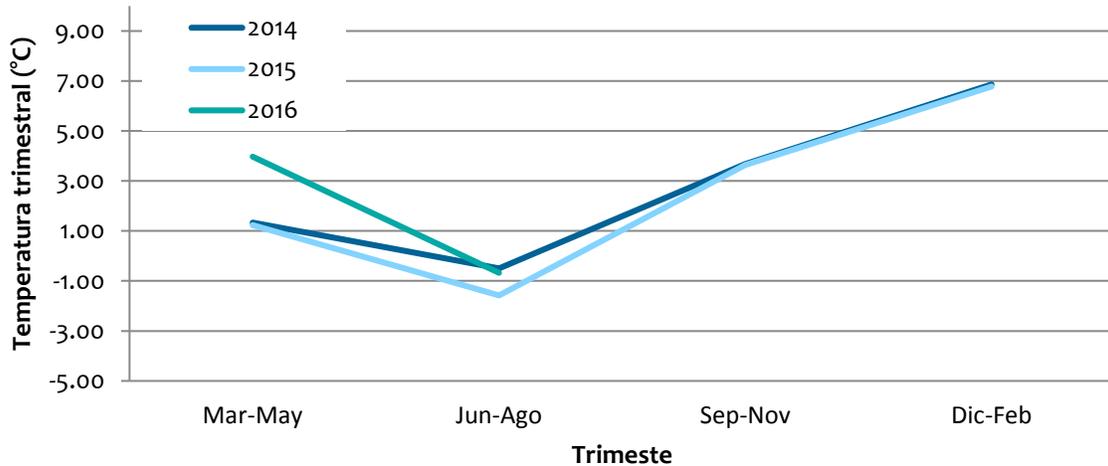


Figura 9. Temperaturas medias por trimestre entre 2014 y 2016. Notar que la media de otoño del 2016 fue 1.3 °C mayor que en 2014-2015.

Los 11 años de datos (2006-2016) de la estación Los Huemules permiten poner en perspectiva las temperaturas del último invierno (Figura 10). El mes de junio 2016 estuvo 2.1 °C encima del promedio, mientras que el mes de julio 2016 estuvo -2.0° por debajo. Las curvas celestes indican las desviaciones típicas de las temperaturas para cada mes, que son menores en el semestre julio-diciembre que enero-junio.

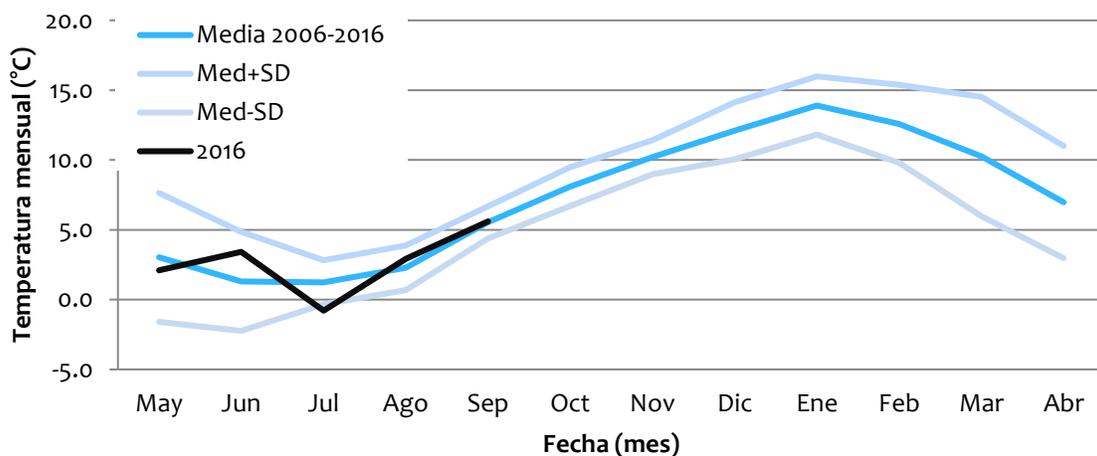


Figura 10. Temperaturas medias mensuales de 2016 comparado con las temperaturas medias 2006-2016, en la estación los Huemules. Las curvas celestes representan el desvío estándar con respecto a la media.

Las temperaturas medias mensuales medidas en Los Huemules y Torre en 2006-2016 no muestran una tendencia pronunciada ni en invierno ni en verano, aunque los datos de verano tienen mayor variabilidad (Figura 11).

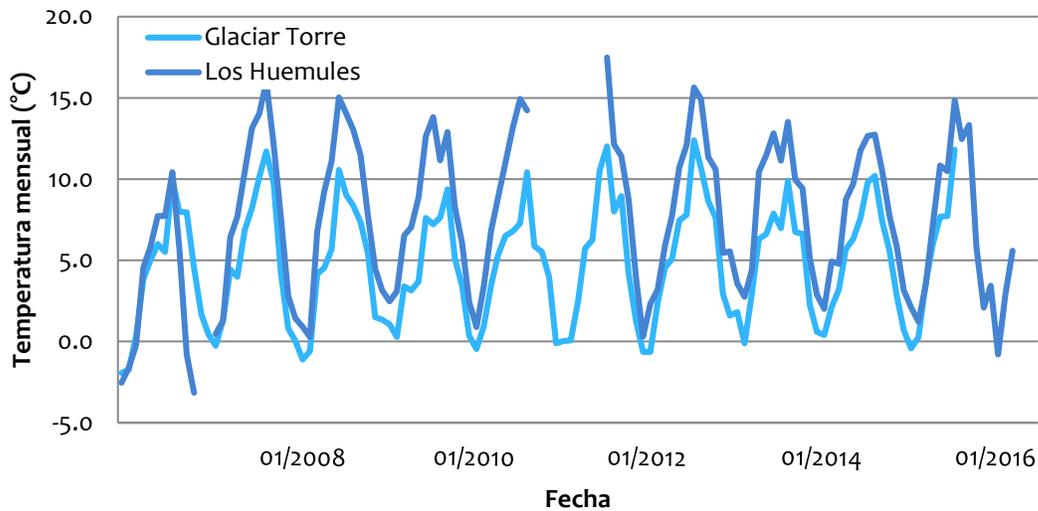


Figura 11. Temperaturas medias mensuales 2006-2016 en los Huemules y glaciar Torre.

### 3.3. Isoterma de 0°C

La altura media anual de la isoterma de 0°C es 1890 msnm, con un mínimo en invierno de 1200 msnm y un máximo en verano de 2370 msnm (Figura 12).

La elevación media de la isoterma de 0°C es muy superior a la altura de la línea de equilibrio de los glaciares (Equilibrium Line Altitude, ELA por sus siglas en inglés) que en el glaciar de los Tres se encuentra aproximadamente a los 1450 msnm. Esto es una característica de los glaciares de la región que compensan las temperaturas relativamente cálidas con un régimen de precipitaciones elevadas.

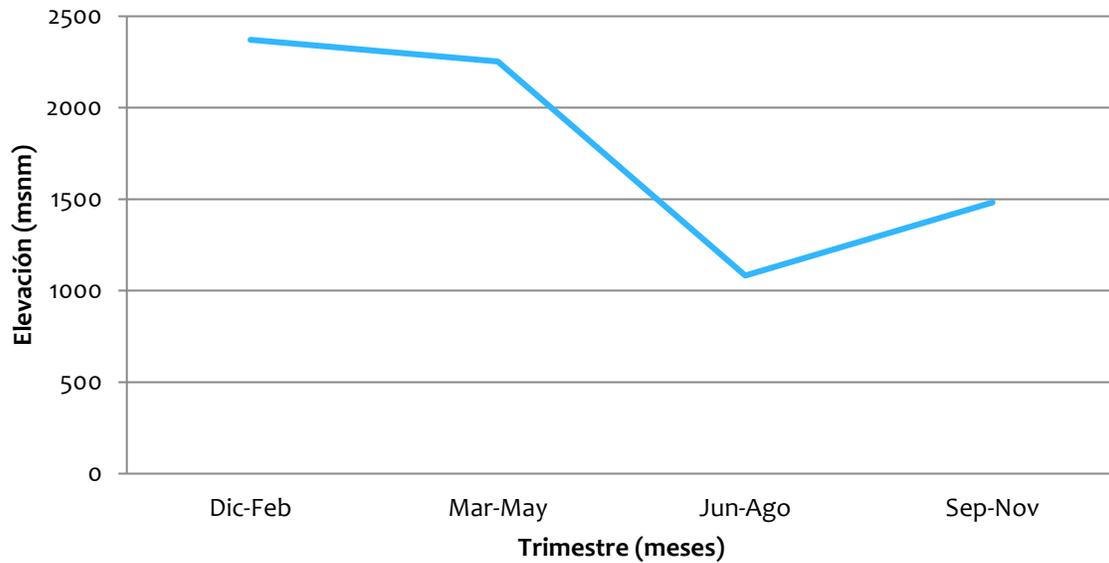


Figura 12. Elevación promedio de la isoterma de 0°C en el año 2016 en base a los datos de la estación Aonikenk y del sensor Punta Velluda.

### 3.4. Viento

Los datos horarios registrados por la estación Aonikenk indican una gran preponderancia de los vientos del noroeste. Estos vientos corresponden al flujo troposférico oeste-este, que al encauzarse en el valle del glaciar de los Tres (orientado noroeste-sudeste) son forzados por la topografía en la dirección observada. En cuanto a la intensidad del viento dominan los vientos moderados (5-15 km/h), siendo los vientos más fuertes (hasta 80 km/h) mucho menos frecuentes (Figura 13).

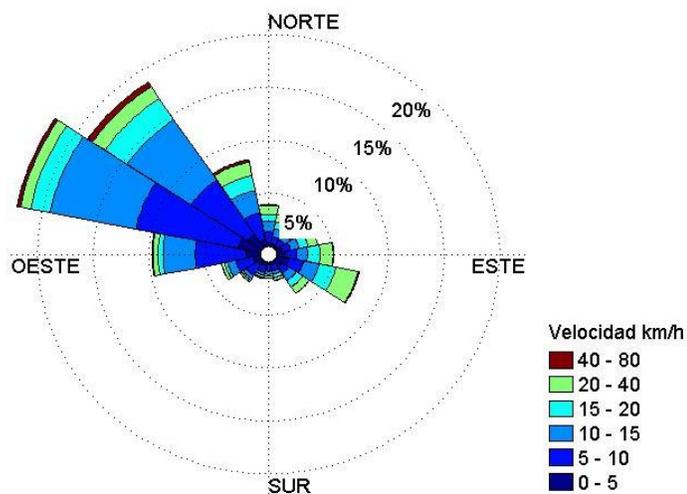


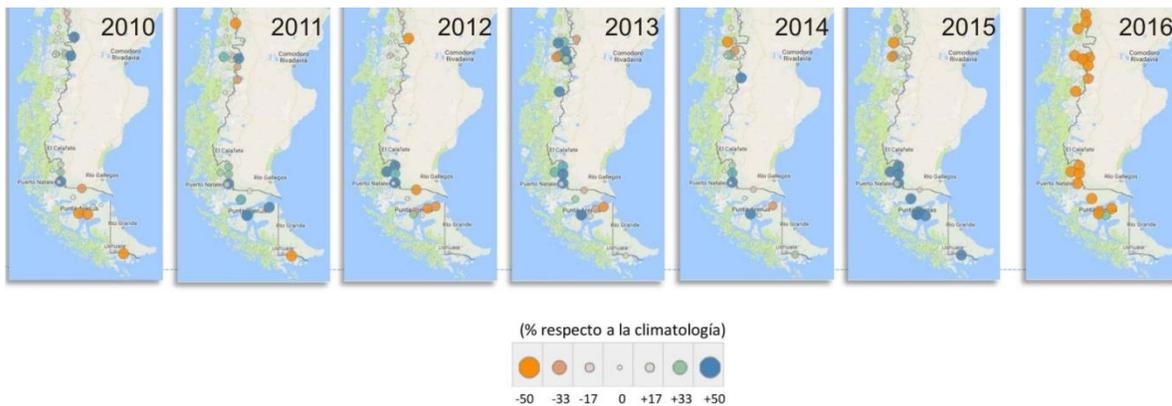
Figura 13. Rosa de los vientos del último año en la estación Aonikenk. El gráfico indica la frecuencia de las distintas direcciones e intensidades de viento.

## 4. Situación general

### 4.1. Precipitaciones a escala regional

La Figura 14 es una recopilación de datos históricos de precipitación en las estaciones meteorológicas de Chile que están disponibles en tiempo real en internet, y que permiten comparar la situación de cada año en particular con el promedio de largo plazo.

Los gráficos muestran precipitaciones levemente encima de la media para el período 2010-2015, en fuerte contraste con un déficit de 50% para el invierno 2016. El patrón de sequía de este último invierno se extiende hacia el norte a gran parte de la Cordillera.

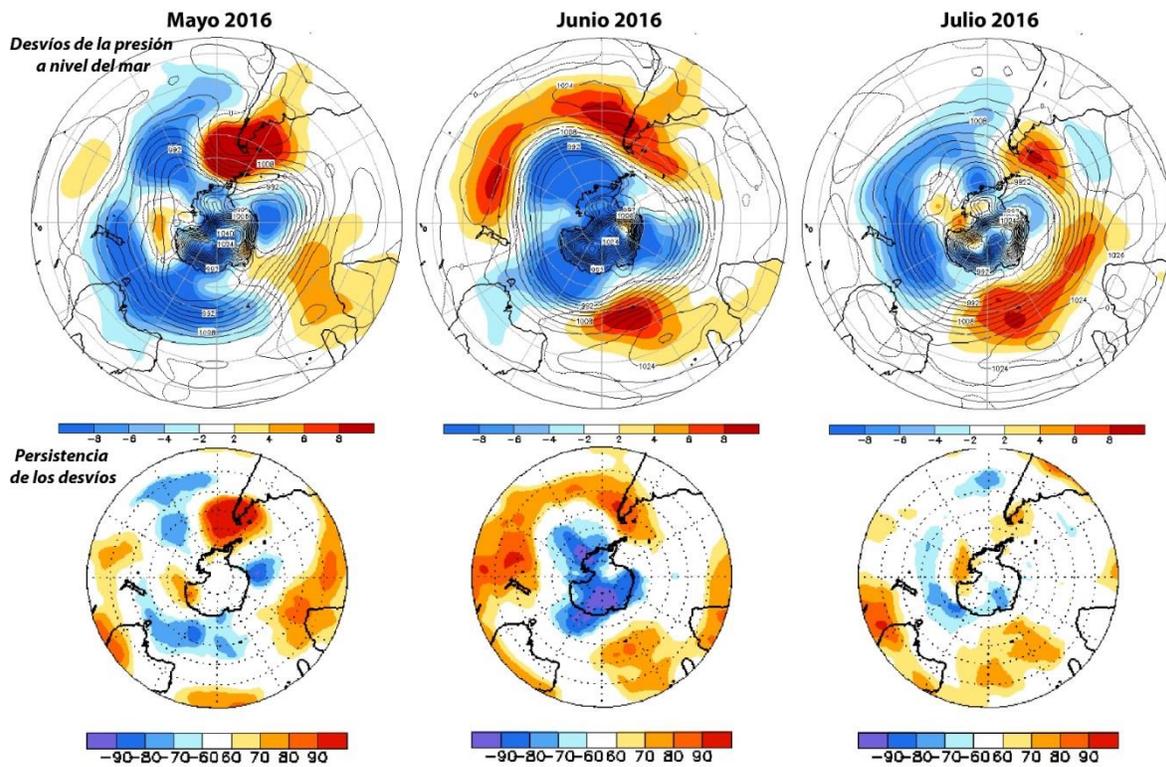


Fuente: [www.cr2.cl](http://www.cr2.cl)

Figura 14. Precipitación de 2016 comparada con los 6 años anteriores, realizado con datos de estaciones chilenas. El tamaño de los círculos indica porcentaje respecto de la media del siglo XX y el color indica valores positivos (azul) o negativo (naranja).

### 4.2. Circulación general de la atmósfera

El invierno 2016 estuvo marcado por la presencia de un persistente centro de alta presión sobre el sur de América del Sur (Figura 15). Este centro de alta presión inhibió la circulación típica del oeste, que trae el aire húmedo, y en la cual están inmersos los sistemas de precipitación desde el Océano Pacífico que descargan sobre la Cordillera. En los datos de la estación Ahonikenk (Figura 16) pudo observarse claramente que la presión atmosférica durante junio-agosto estuvo por encima de la media. En consecuencia, hubo un predominio de días despejados y una escasa ocurrencia de precipitaciones durante los meses de mayo, junio y julio de 2016, lo que determinó el déficit de precipitaciones mencionado anteriormente.



Fuente: CDAS/Reanalysis ([www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/))

Figura 15. Anomalías de presión atmosférica en superficie durante los meses de mayo a julio de 2016 donde se visualizan los desvíos positivos sobre la Patagonia en los tres meses del invierno, particularmente en mayo y junio. En la parte inferior se muestra la persistencia de estas anomalías indicando que en más del 90% de los días durante mayo y junio la celda de alta presión se mantuvo sobre la región.

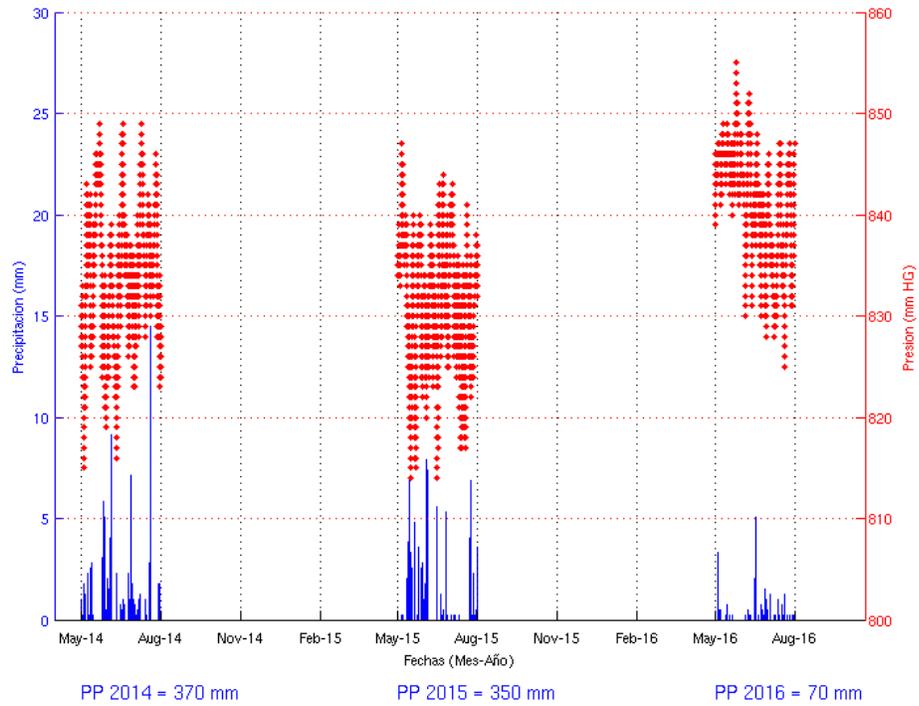


Figura 16. Valores horarios de presión y precipitación en la estación Aonikenk del trimestre junio-agosto para los años 2014, 2015 y 2016. Notar los valores más elevados de presión responsables de las precipitaciones más reducidas durante mayo-julio 2016.

## 5. Información adicional

### 5.1. Procesamiento de los datos

Los datos se organizaron por año hidrológico, que corresponden al 01 mayo de un año hasta el 30 de abril del siguiente.

Los datos de nieve son medidos por un sensor sónico Campbell CR 50 que mide la distancia al suelo y registra como esta se reduce con el incremento de la acumulación de nieve. El sensor tiene un rango de 0.5 a 10 m con un error de 4 % utilizando una corrección por temperatura de un termómetro Vaisala HMP 155 montado en la misma estación. El instrumento está instalado en una barra transversal sobre una estructura o trípode a unos 3 m de altura y apunta hacia abajo (ver fotos en Red de observaciones). La distancia sensor-superficie es registrada y luego restada la altura de instalación del sensor para obtener el espesor de la cobertura de nieve en centímetros (cm). Una diferencia en la configuración de la altura de instalación aparece como un residual en el espesor mínimo que es corregido durante el procesamiento (9-10 cm). Además el sensor sónico está sujeto a cierto ruido. La distancia al suelo, que no debería variar cuando no hay nieve tiene una oscilación de  $\pm 3$  cm. Para evitar incorporar esa oscilación en el total acumulado de nevadas solo se consideran los eventos mayores a 5 cm. **Las alturas de nieve medidas en cm fueron convertidas a mm de agua equivalente (mm w.e.) utilizando una densidad estimada constante de  $0.25 \text{ gr/cm}^3$ .** Este valor corresponde a condiciones de nieve fresca, relativamente joven o recién caída, que es cuando el sensor sónico reporta la altura de nieve. En el caso del espesor máximo del manto nival, se utilizaron los datos de densidad medidos anualmente en el glaciar de los Tres ( $0.335$  a  $0.46 \text{ gr/cm}^3$ ). Las conversiones son aproximaciones con cierto error ya que la densidad de la nieve puede variar según los eventos y la época del año, pero la unidad milímetros de agua equivalente (mm w.e.) tiene la ventaja de permitir la comparación entre los datos de altura de nieve y los datos de pluviómetros (ver sección 5.2 Efecto de la altitud en la relación agua/nieve de la precipitación). Una forma de medir el equivalente de agua del manto nival directamente es con colchones de nieve, pero no analizamos este tipo de datos en el presente informe.

En el caso de las temperaturas se obtuvieron datos horarios, cada seis horas o diarios y se calcularon los promedios mensuales. Los valores actuales se comparan con las medias y los desvíos estándares históricos: (últimos 10 años).

La posición de la isoterma de  $0^\circ\text{C}$  se calculó en función del gradiente vertical de temperatura entre las estaciones Aonikenk (1233 msnm) y Punta Velluda (1903 msnm), ubicadas cerca del glaciar de los Tres.

## 5.2. Efecto de la altitud en la relación agua/nieve de la precipitación

La estación Aonikenk tiene un pluviómetro con un adaptador para nieve (CS705) que permite captar tanto la precipitación nival como la precipitación líquida en el sitio. Los datos para los tres años de medición se muestran en la Figura 17.

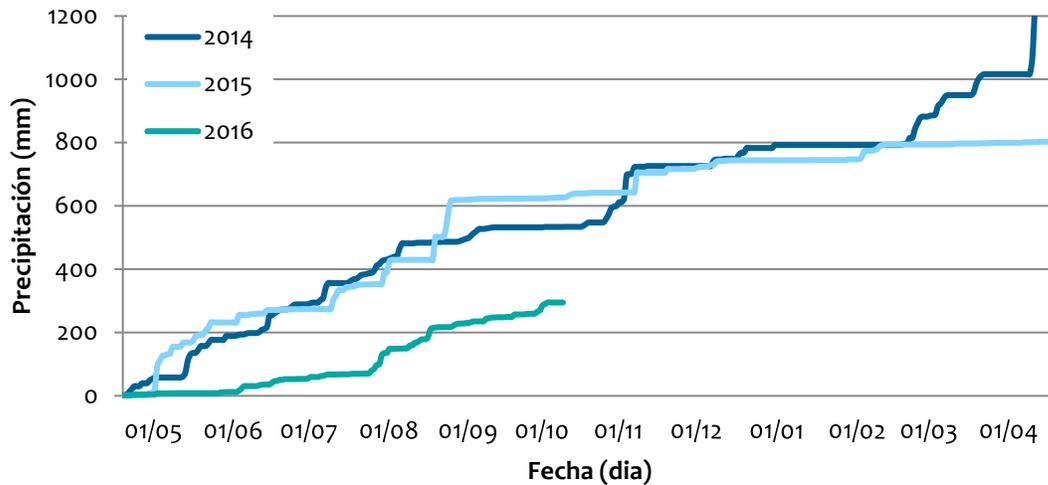


Figura 17. Precipitación acumulada en la estación Aonikenk (1233 msnm).

Una comparación entre los datos obtenidos con el sensor de nieve (Figura 4) y el pluviómetro en la estación Aonikenk durante 2016 muestra un buen acuerdo entre ambas mediciones (Figura 18). Esto sugiere que los instrumentos funcionan correctamente y que la precipitación, encima de los 1230 msnm, cae predominantemente en forma de nieve.

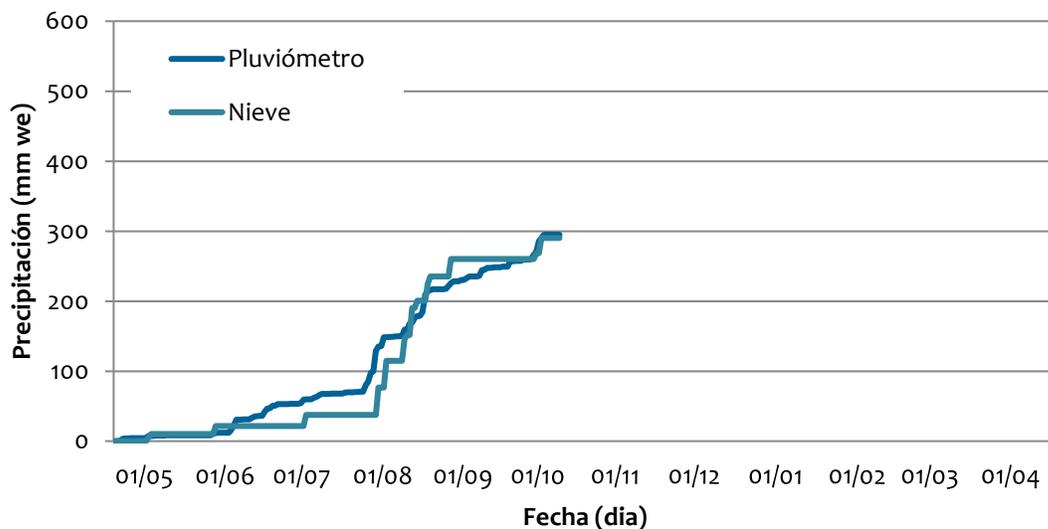


Figura 18. Comparación entre la nieve medida por el sensor sónico y la precipitación medida por el pluviómetro, en el año 2016, en la estación Aonikenk (1233 msnm).

Un ejercicio similar con los datos de la estación glaciar Milanesio ubicada a 898 msnm, es decir 300 metros más bajo, y que dispone de un pluviómetro tradicional y un sensor óptico de nieve, muestra que la nieve solo representa un 52% de la precipitación de invierno registrada con el pluviómetro (Figura 19). Esto indica que a 900 msnm la precipitación fue principalmente líquida.

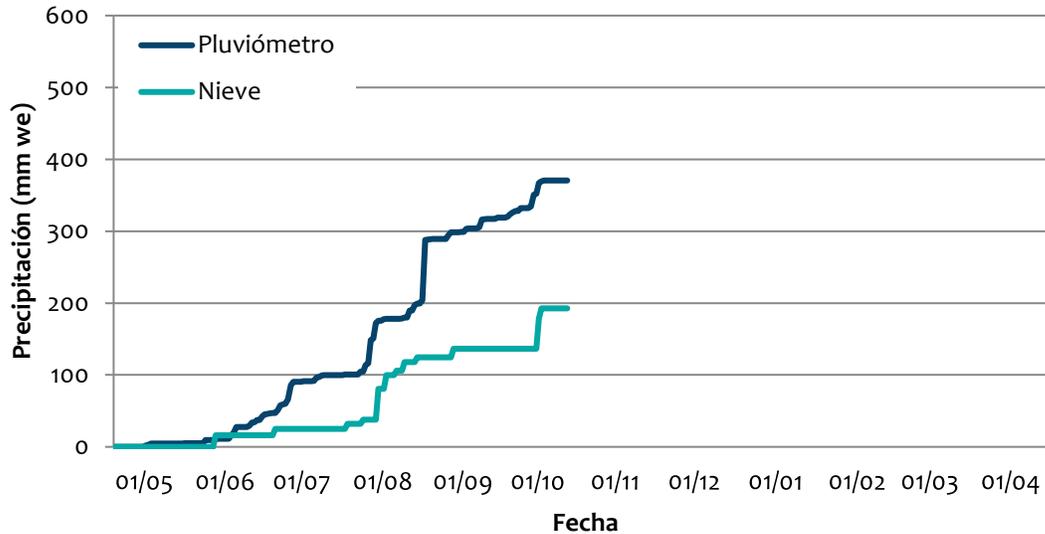


Figura 19. Comparación entre la nieve medida por el sensor sónico y la lluvia medida por el pluviómetro, en el año 2016, en la estación glaciar Milanesio.

Finalmente, al comparar los valores acumulados en el invierno 2016 entre las estaciones Aonikenk y glaciar Milanesio, se observa un gradiente de precipitaciones norte-sur a lo largo del río de las Vueltas ya que las precipitaciones registradas en el valle del río Toro son aproximadamente 20 % mayores que las registradas en el glaciar de los Tres, a pesar de la diferencia de altitudes. Este valor representa una aproximación de primer orden al gradiente de precipitación en el área de estudio. Estas estimaciones van a ser progresivamente más precisas en la medida que se incorporen todos los datos disponibles y que se obtengan series de tiempo más extensas.