

ACTAS DE  
TRABAJOS COMPLETOS  
DEL



**E-ICES 16**

DECIMOSEXTO ENCUENTRO DEL CENTRO  
INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ISBN 978-987-1323-86-9

Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA

Actas de Trabajos Completos del E-ICES 16 : Decimosexto Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra / compilación de Martín Pedro Gómez ; Dino Filipussi ; Luis Eduardo Lenzano Andía ; editado por Martín Pedro Gómez ; Dino Filipussi ; Luis Eduardo Lenzano Andía. - 1a ed revisada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-1323-86-9

1. Geociencias. 2. Ciencias Naturales. I. Gómez, Martín Pedro, comp. II. Filipussi, Dino, comp. III. Lenzano Andía, Luis Eduardo, comp.

CDD 550.7

ISBN 978-987-1323-86-9



9 789871 323869

**ACTAS DE TRABAJOS COMPLETOS**

**DEL**

**E-ICES 16**

**DECIMOSEXTO ENCUENTRO DEL**

**CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE**

**LA TIERRA**

*Segundo Encuentro Virtual del ICES*

## **AUTORIDADES DEL ICES**

### **CONSEJO DE REPRESENTANTES**

Prof. Luis Lenzano (UNCUYO)

Dr. César Belinco (CNEA)

Dr. Manuel Tovar (UNCUYO)

Dr. Roberto Zysler (CNEA)

### **PRESIDENTE DEL CONSEJO DE REPRESENTANTES**

Mag. Ing. Alberto Vich (UNCUYO)

### **DIRECTOR CIENTÍFICO**

Dr. Martín Pedro Gómez (CNEA)

### **SECRETARIA EJECUTIVA**

Dra. Adalgisa Scotti (CNEA)

## **EDITORES**

Martín Gómez, Luis Lenzano y Dino Filipussi

## **DISEÑO Y COMPAGINACIÓN**

Dino Filipussi, Paula Vildoza, Daniela Guevara Vallese, Nicolás Núñez, Gustavo Álvarez y  
Martín Gómez

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

ISBN 978-987-1323-86-9

# EL ROL DE LA TEMPERATURA DEL SUELO EN LOS AMBIENTES DE MONTAÑA

Agustina Reato<sup>a</sup>, Oscar A. Martínez<sup>b</sup>, Eleonora S. Carol<sup>c</sup>

<sup>a</sup>CIEMEP (CONICET – UNPSJB) Roca 780, CP: 9200, Esquel, Argentina.

<sup>b</sup>Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Sede Esquel, Argentina

<sup>c</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), Universidad Nacional de La Plata - CONICET, Calle Diagonal 113

e-mail: [agustinareato@comahue-conicet.gob.ar](mailto:agustinareato@comahue-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

*La temperatura del suelo en geoformas de altura es una variable que influye directamente en la conservación de agua en estado sólido. En la región oriental de la cordillera nordpatagónica del Chubut existen, por encima de la cota de 1600 m.s.n.m., un gran número de geoformas depositacionales de origen glacial y periglacial, donde no hay hielo glacial y la presencia de permafrost está limitada o ausente. En el presente trabajo se analizan los datos de la temperatura del suelo tomados entre marzo del 2017 y marzo del 2018 en los cerros Nahuel Pan y La Hoya, dos de los picos más elevados cercanos a la localidad de Esquel. Se colocaron sensores de temperatura a 50 cm de profundidad en geoformas vinculadas a manantiales y cursos de agua permanentes. En La Hoya fueron localizados en un glaciar de roca inactivo (2030 m.s.n.m.) y en una terraza de soliflucción (1870 m.s.n.m.). En el cerro Nahuel Pan se colocaron en un glaciar de roca fósil (1780 m.s.n.m) y en un lóbulo de soliflucción (1680 m.s.n.m.). Se utilizaron además datos de precipitación y temperatura obtenidos de la estación meteorológica del Aeropuerto de Esquel (SMN), datos de profundidad de la nieve procesados desde Climate Engine y se analizaron imágenes satelitales Landsat 8. Los resultados obtenidos demuestran que, para fines del invierno, la temperatura promedio del aire supera los 0°C, favoreciendo el derretimiento de la nieve superficial. Las temperaturas del suelo cercanas o por debajo de 0°C favorecen la conservación de agua en estado sólido desde mediados del invierno hasta el inicio de la época estival. La temperatura del suelo en geoformas periglaciales con permafrost muy limitado o ausente es una variable muy sensible en la regulación del escurrimiento de agua y su comportamiento resulta de trascendental importancia en regiones con déficit hídrico.*

*Palabras Clave:* Ambiente periglacial, Hielo estacional, Unidades morfosedimentarias, Regulación hídrica)

## INTRODUCCIÓN

La temperatura del suelo en ambientes de montaña tiene un rol muy relevante en los procesos periglaciales de hielo y deshielo. Factores como la temperatura del aire, el contenido orgánico del suelo y la cobertura nival afectan la temperatura del suelo, siendo este último el que más influyente en el comportamiento de la temperatura subsuperficial (Edwards *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2021) y el que ha sido más ampliamente estudiado (Sherstiukov and Anisimov, 2018; Goncharova *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021). Por su parte, la influencia que tiene la temperatura subsuperficial del suelo en la dinámica hidrológica de geoformas de altura, sin permafrost, no suele ser objetivo de análisis.

El área de estudio del presente trabajo se ubica en la Cordillera Nord Patagónica (CNP) de Chubut, en los cerros Nahuel Pan y La Hoya (ver Fig. 1). En el interior de valles y circos glaciales desarrollados en éstos cordones montañosos se confirmó un gran número de unidades morfosedimentarias glaciales relictas y periglaciales relictas y activas (Reato et al., 2017; Martínez et al., 2017; Reato, 2020) en donde se destacan glaciares de roca (Reato, 2020; Reato et al., 2021). Por otro lado, en las inmediaciones del área estudiada, en base a análisis estadísticos, se ha indicado la presencia probable de permafrost entre los 1750 y los 2100 m.s.n.m (Ruiz y Trombotto, 2012) en los cordones Esquel, Leleque y Rivadavia, sin que esto se haya verificado mediante los correspondientes controles de campo.

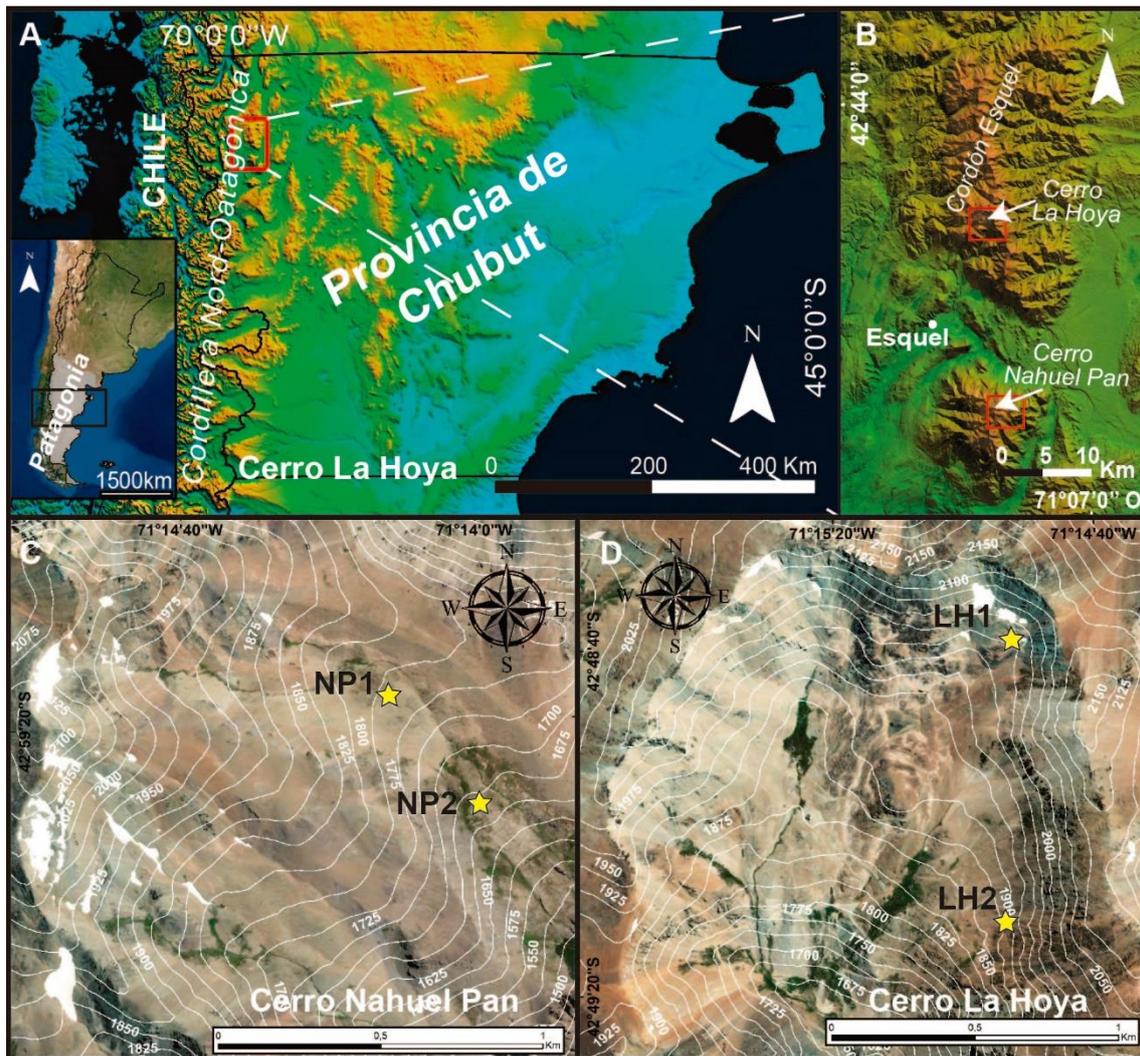


Figura 1. A) Ubicación del área de estudio. B) los Cerros La Hoya y Nahuel Pan, al norte y sur de la localidad de Esquel, respectivamente. C) y D) localización de los sensores de temperatura.

Estudios recientes en el área de estudio han dado cuenta de la importancia que tienen las geoformas de altura, especialmente las geoformas fósiles que sirven como reservorios de agua, (glaciares de roca, lóbulos de soliflucción, protalus ramparts, y otras geoformas depositacionales relacionadas) en el comportamiento hidrológico y en el mantenimiento

de mallines de altura en la zona montañosa (Reato *et al.*, 2021, 2022). Esta región se encuentra en una zona de transición climática en la cual las precipitaciones anuales varían entre los 1200 mm al oeste y 400 mm hacia el este de los cordones montañosos estudiados (Coronato *et al.*, 2017). El aporte de agua subterránea que escurre desde las unidades morfosedimentarias de altura, ha sido registrado como el principal aporte hídrico durante las estaciones más secas en la cuenca alta del Cerro La Hoya, garantizando el régimen permanente del Arroyo Bandidos, el cual suministra el agua para consumo humano de la localidad de Esquel (Reato *et al.*, 2022). Si bien estas geoformas depositacionales de altura son cruciales en el almacenamiento y gradual liberación de agua, no constituyen la única variable que favorece la conservación de agua en los meses de mayor sequía en ésta región. El comportamiento de la temperatura subsuperficial del suelo es otro factor relevante y, por ello es analizado en detalle en el presente trabajo.

## MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Durante los años 2017 y 2018 fueron colocados cuatro sensores de temperatura, a 50 cm de profundidad, en geoformas depositacionales de altura vinculadas a manantiales y cursos de agua permanentes. En el cerro La Hoya fueron colocados en una terraza de soliflucción (LH2, 1870 m.s.n.m., ver Fig. 2) y en un glaciar de roca (LH1, 2030 m.s.n.m., ver Fig. 2) considerado inactivo/fósil según sus atributos geomorfológicos, sin que se haya reconocido la presencia de permafrost (Reato, 2020; Reato *et al.*, 2021). En el cerro Nahuel Pan, por su parte, se colocaron en un lóbulo de soliflucción (NP2, 1680 m.s.n.m., ver Fig. 2) y en un glaciar de roca (NP1, 1780 m.s.n.m., Fig. 2) considerado fósil según sus atributos geomorfológicos (Reato, 2020). Los sensores registraron la temperatura cada 4 horas en cada uno de los puntos mencionados, generando una curva de temperaturas muy completa, con 6 datos diarios. Para comparar los datos de la temperatura del suelo con las condiciones climáticas de la región se utilizaron datos de precipitación y temperatura obtenidos de la estación meteorológica del Aeropuerto de Esquel (SMN), la más cercana al área de estudio. Debido a la falta de estaciones meteorológicas en los cerros analizados, se obtuvieron datos de profundidad de la nieve del Sistema Global de Asimilación de Datos sobre la Tierra (GLDAS por sus siglas en inglés, Rodell *et al.*, 2004), extraídos, ya procesados, desde la plataforma Climate Engine (<http://climateengine.org/app>; Huntington *et al.*, 2017; Climate Engine, 2021). El sistema GLDAS incorpora productos satelitales y datos obtenidos en el terreno para generar modelos de superficie terrestre. Si bien los datos obtenidos suelen subestimar la cantidad de nieve realmente precipitada (Broxton *et al.*, 2016), ésta variable, junto con el análisis de imágenes satelitales Landsat 8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), con una combinación de bandas RGB 432, proporcionaron una idea general del comportamiento de la cobertura de nieve durante el 2017 y 2018 en los cerros estudiados.

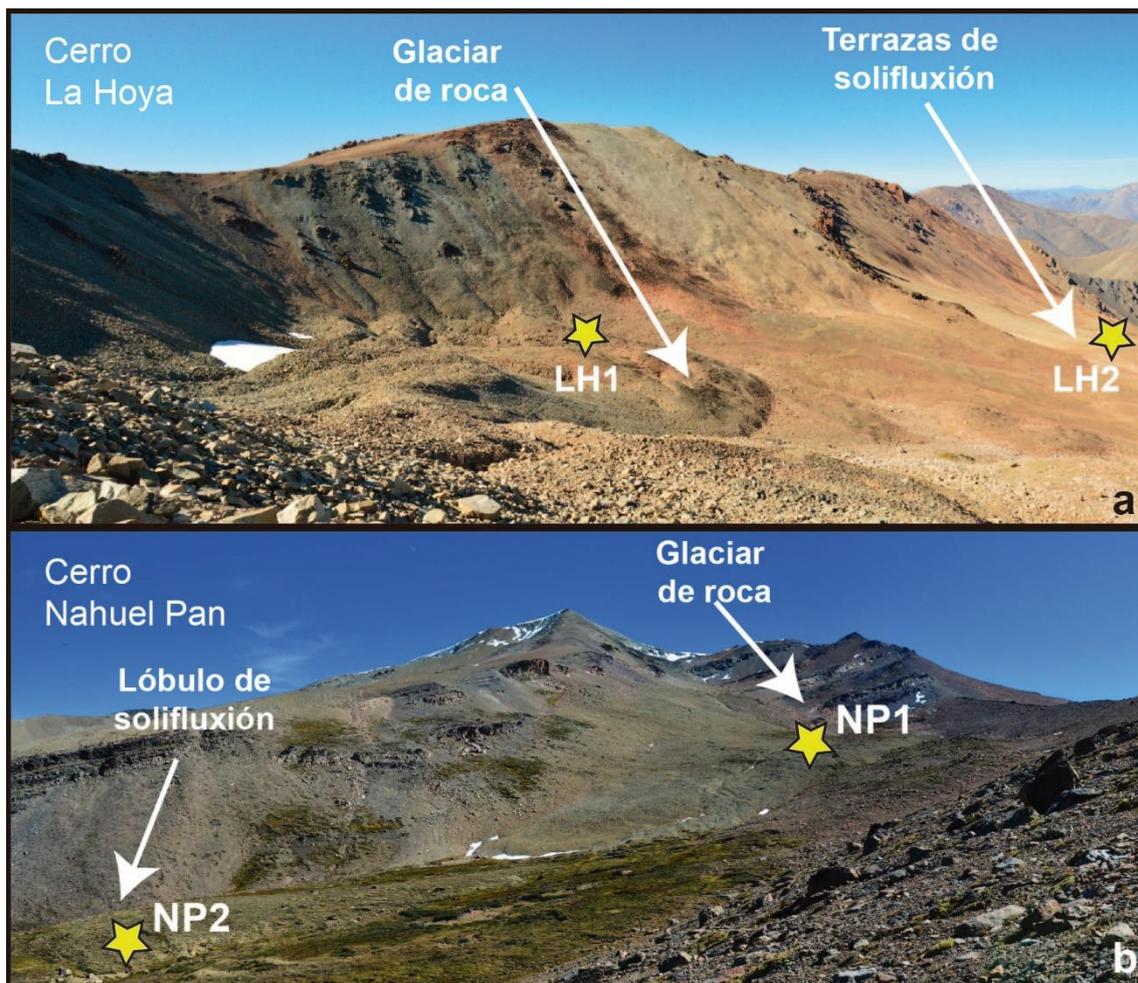


Figura 2. Ubicación de los sensores de temperatura del suelo en los cerros a) La Hoya y b) Nahuel Pan.

## RESULTADOS

### Condiciones climáticas regionales:

En base a los datos climáticos registrados por la estación meteorológica Esquel, las observaciones de campo efectuadas, y la información extraída de GLDAS y las imágenes satelitales analizadas se definió el comportamiento climático anual de los Cerros La Hoya y Nahuel Pan. El análisis del diagrama de precipitaciones y temperaturas permitió identificar para el área de estudio, periodos de sequía durante los meses de verano, donde las precipitaciones son prácticamente nulas coincidiendo con el registro de mayores temperaturas, y periodos de humedad durante los meses de invierno, donde se concentran las precipitaciones y el registro de las temperaturas marca los valores más bajos (Ver Fig. 3). Durante el 2017 las precipitaciones se concentraron entre los meses de mayo y agosto, con escasos días con precipitaciones durante octubre y diciembre. En el área montañosa, las precipitaciones ocurrieron en forma de nieve, donde la cobertura nival mantuvo su máxima extensión hasta inicios de septiembre (ver Figs. 3 y 4), reduciéndose considerablemente para los meses de octubre y noviembre del

2017, desapareciendo casi por completo a partir de diciembre del 2017, estando ausente completamente, incluso en sectores de baja exposición solar, durante los meses de enero y febrero del 2018 (ver Figs. 3 y 4).

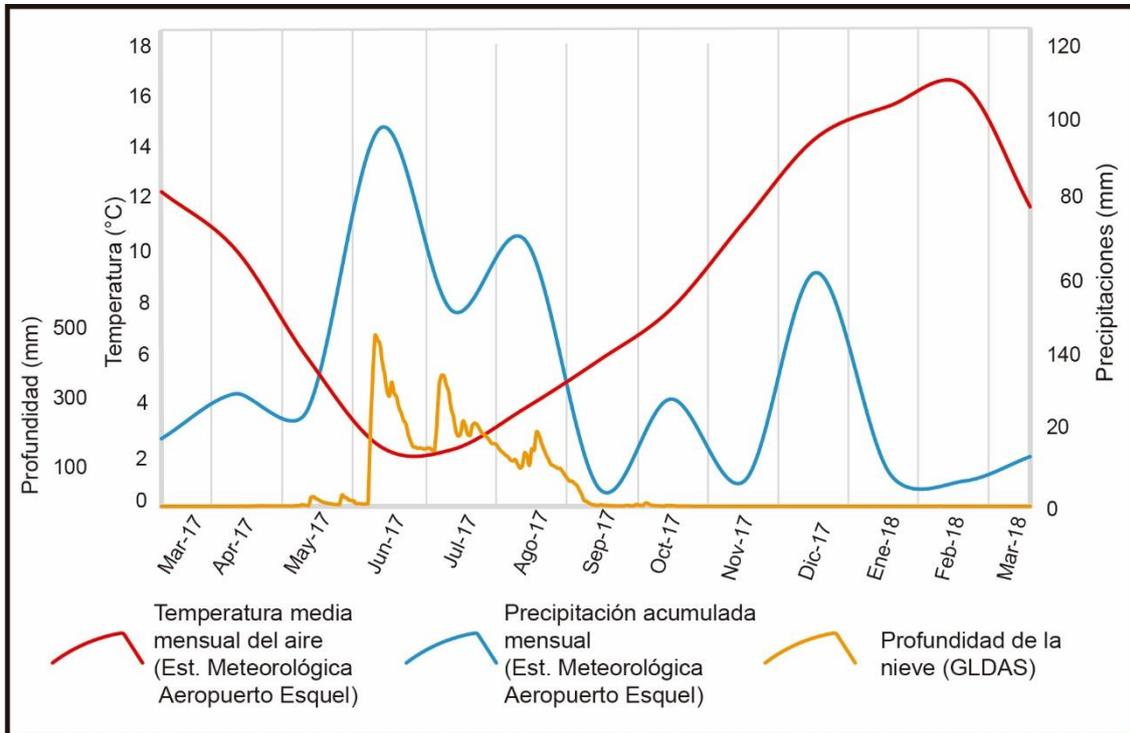


Figura 3. Registros de precipitaciones y temperaturas obtenidos de la estación meteorológica del Aeropuerto Esquel y profundidad de nieve estimada por el software GLDAS durante el periodo marzo del 2017 a marzo del 2018.

Las temperaturas del aire fueron mínimas durante finales de junio y principios de julio del 2017, coincidiendo con las mayores precipitaciones, cuando la temperatura promedio se mantuvo en 2,5°C (ver Fig. 3). Desde mediados de octubre del 2017 hasta mediados de diciembre del 2017 se registró un marcado aumento de la temperatura, que continuó con un aumento más gradual durante los meses siguientes, hasta alcanzar las temperaturas máximas en el mes de febrero del 2018 (ver Fig. 3).

### Temperaturas del suelo:

El análisis de la temperatura del suelo mostró un patrón general similar en todos los sensores, registrándose las mayores temperaturas en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que las menores temperaturas se registraron en el periodo de junio a noviembre. El comportamiento de la temperatura media diaria del suelo evidenció, al igual que la temperatura media diaria del aire, variaciones importantes en pocos días de registro (ver Fig. 5a). Sin embargo, estas variaciones, representadas en la gráfica como picos abruptos que ascienden y descienden, mostraron una menor amplitud en el registro de la temperatura del suelo respecto a la temperatura del aire (ver Fig. 5a). Esto parece ser indicativo del mayor aislamiento térmico en profundidad, favoreciendo la conservación de bajas temperaturas por más tiempo.

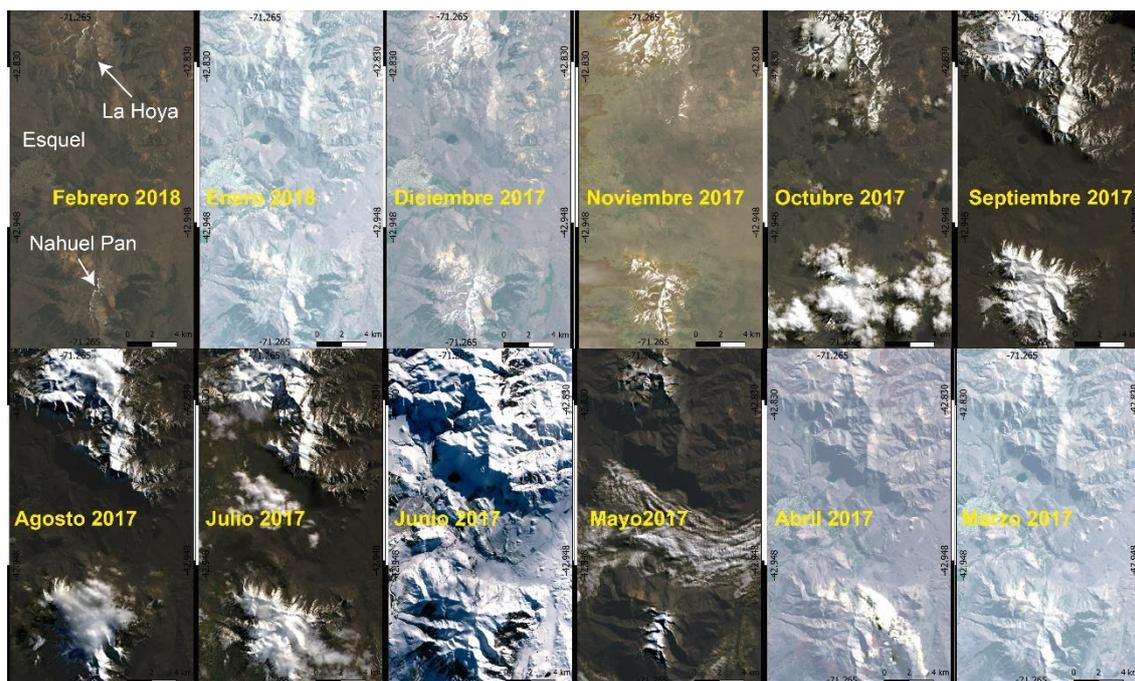


Figura 4. Secuencia de imágenes satelitales Landsat, combinación color RGB432, desde marzo del 2017 hasta febrero de 2018, donde se visualiza mensualmente la extensión de la cobertura nival en los cerros La Hoya y Nahuel Pan.

El sensor de La Hoya ubicado a mayor altitud (LH1, 2030 m.s.n.m.), registró temperaturas máximas de 12°C en el mes de febrero del 2018. En cuanto a las temperaturas mínimas, este sensor registró las menores temperaturas, del orden de los -6°C para el mes de julio de 2018 (ver Fig. 5 y Tabla I), manteniendo valores por debajo del punto de congelamiento desde mediados de mayo, hasta finales de noviembre (ver Fig. 5 y Tabla I), con un registro total de 195 días de helada continua. El sensor de La Hoya colocado a menor altura (LH2, 1870 m.s.n.m.), mantuvo desde finales de mayo hasta mediados de diciembre, durante un periodo continuo de 206 días, temperaturas de congelamiento que no variaron de 0°C, con temperaturas máximas de 8°C durante febrero del 2018 (ver Fig. 5, Tabla 1). En cuanto a los sensores ubicados en el Cerro Nahuel Pan, el ubicado a mayor altitud (NP1, 1780 m.s.n.m) registró 14°C de temperatura máxima para el mes de febrero del 2018, siendo la temperatura mínima de -3°C en el mes de septiembre (ver Fig. 5 y Tabla I). Los valores se mantuvieron por debajo del punto de congelamiento desde finales de mayo hasta principios de noviembre, por un total de 165 días consecutivos. El sensor del cerro Nahuel Pan localizado a menor cota en un lóbulo de soliflucción (NP2, 1680 m.s.n.m.) registró las máximas temperaturas en el mes de febrero del 2018, alcanzando los 13°C, y las temperaturas mínimas durante septiembre del 2017, donde alcanzó -1°C. A diferencia de los otros sensores, en este punto las temperaturas alcanzaron el punto de congelación en el mes de julio, manteniéndose por un periodo de 112 días hasta principios de noviembre.

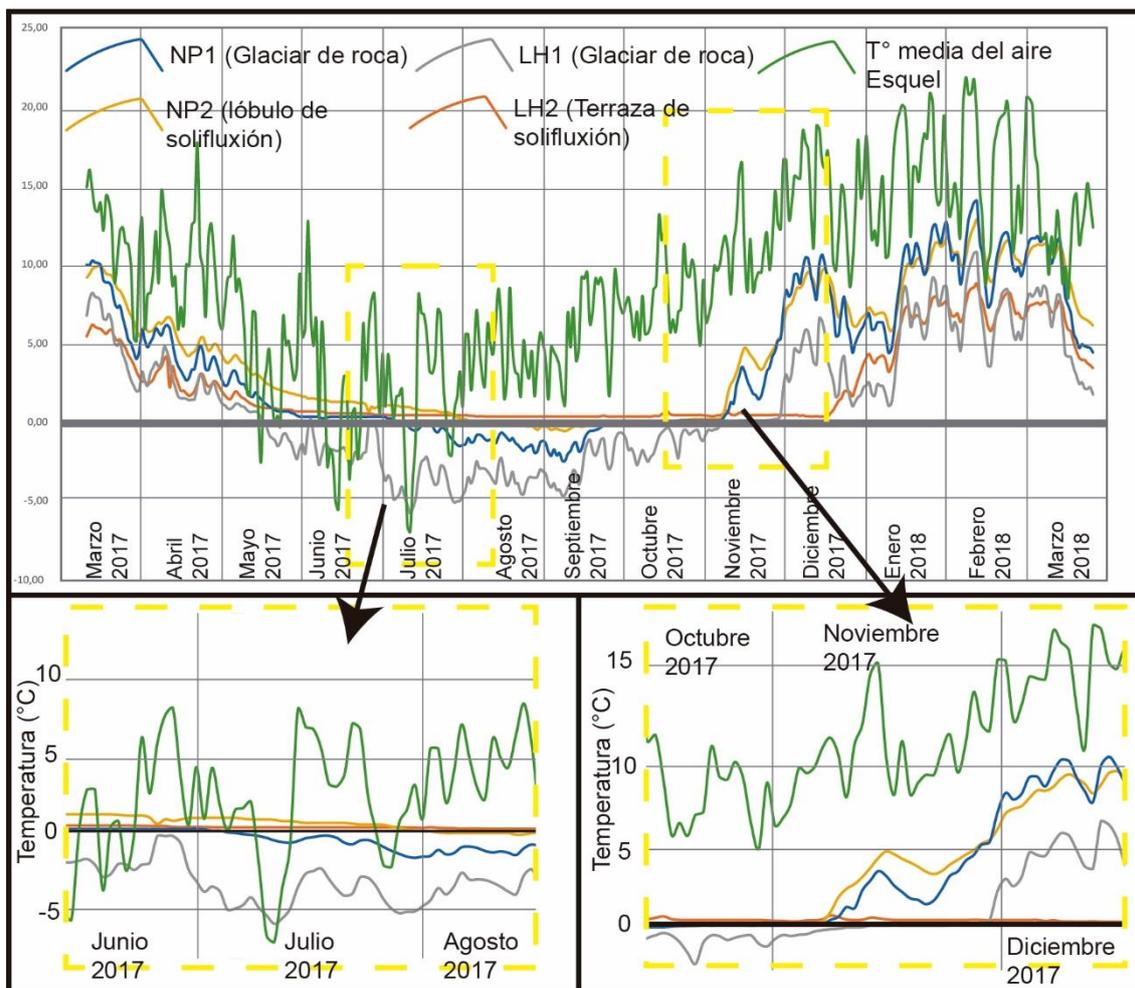


Figura 5. a) Temperatura diaria del suelo en los puntos NP1, NP2, LH1 y LH2 y la temperatura media diaria del aire de la estación meteorológica del Aeropuerto Esquel. b) Detalle del periodo junio-agosto, donde las temperaturas del suelo permanecen por debajo de 0°C, alcanzando valores de -6°C a cotas elevadas, y donde la temperatura del aire a la cota de la estación meteorológica fluctúa ampliamente con temperaturas entre -7°C y 8°C. c).

Tabla I. Días de Hielo y Deshielo (H-D), de Helada total (H) o con ausencia de heladas (AH), para cada sensor de temperatura instalado.

Sensor	La Hoya Cota Baja 1870 m.s.n.m.			La Hoya Cota Alta 2030 m.s.n.m.			Nahuel Pan Cota Baja 1.680 m.s.n.m.			Nahuel Pan Cota Alta 1.700 m.s.n.m.		
	H-D	H	A-H	HD	H	AH	HD	H	AH	HD	H	AH
mar-17	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31
abr-17	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	30
may-17	2	7	22	4	16	11	0	0	31	1	5	25
jun-17	0	30	0	0	30	0	0	0	30	0	30	0
jul-17	0	31	0	0	31	0	1	14	16	0	31	0
ago-17	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0

sep-17	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0
oct-17	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0
nov-17	0	30	0	0	26	4	1	6	23	1	7	22
dic-17	0	16	15	0	0	31	0	0	31	0	0	31
ene-18	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31
feb-18	0	0	28	0	0	28	0	0	28	0	0	28
mar-18	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	31
Total	2	206	188	4	195	197	2	112	28	2	165	22

### Discusión:

Las geoformas depositacionales que se emplazan en el Nahuel Pan y La Hoya son unidades morfosedimentarias con detrimento de variada granulometría y porosidad que tiene la capacidad de almacenar agua, funcionando como verdaderos acuíferos subsuperficiales (Reato *et al.*, 2021, 2022). Este hecho es evidenciado en un gran número de manantiales que aflora desde estos cuerpos de detrimento y porosidad, que mantienen un régimen permanente durante las estaciones más secas y de mayores temperaturas (ver Fig. 6). Las temperaturas del suelo analizadas en el presente trabajo, favorecen el mantenimiento del agua en estado sólido hasta los primeros días de noviembre en el cerro Nahuel Pan, y hasta finales de noviembre y principios de diciembre en el Cerro La Hoya. Cuando la cobertura nival desaparece por completo, las temperaturas del suelo permanecen por encima de 0°C, favoreciendo la fusión del agua congelada en el invierno. En la cuenca hídrica de La Hoya, este derretimiento de nieve se traduce como el principal aporte de agua a la cuenca durante los meses de primavera, (Reato *et al.*, 2022).



Figura 6. Manantiales con régimen permanente y mallines de altura vinculados a glaciares de roca (inactivos? fósiles) en los cerros Nahuel Pan y la Hoya.

Las temperaturas medias del aire, si bien no corresponden con datos locales de los sitios estudiados, nos permite comparar de modo general con los patrones de temperatura del suelo. Temperaturas del aire por debajo de 0° se registraron en algunos días de mayo, junio y julio del 2017, mientras que a partir de agosto se mantuvo siempre por encima del punto de congelamiento. Esta situación favorece el derretimiento superficial de la

nieve, reduciendo significativamente su espesor a partir de este mes (ver Fig. 3). A partir de octubre las temperaturas del aire aumentaron progresivamente más rápido, conduciendo a la pérdida casi total de la cobertura nival (ver Figs. 3 y 4). Las temperaturas del suelo parecen responder al retiro de la masa nival, siendo esta última un factor clave de ese comportamiento (Edwards *et al.*, 2007; Sherstiukov and Anisimov, 2018; Goncharova *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021). Sin embargo, cabe destacar que los sensores ubicados en el Cerro La Hoya mostraron temperaturas del suelo por debajo de 0°C hasta finales de noviembre del 2018 (LH1) y mediados de diciembre del 2018 (LH2), cuando la cobertura nival se encontraba muy disminuida o ausente (ver Fig. 4). Esto, sumado a la menor amplitud térmica registrada en el suelo, le confiere a éste una mayor capacidad de aislamiento térmico subsuperficial. Estudios posteriores deberían enfocarse en mediciones de temperatura a mayor profundidad, para determinar si éste comportamiento se acentúa. Estas observaciones podrían proporcionar, además, datos sobre la presencia o ausencia de permafrost en las geoformas cuyo grado de actividad no ha podido verificarse con certeza.

Si bien la altitud influye en el registro de temperaturas mínimas, la relación de la temperatura del suelo respecto a las geoformas asociadas es también una variable interesante de analizar. Los sensores localizados en el Cerro La Hoya, ambos ubicados por encima de los 1800 m.s.n.m. registraron el mayor periodo de tiempo con temperaturas por debajo de 0°C. Sin embargo, el sensor localizado en el glaciar de roca en el Cerro Nahuel Pan a 1780 m.n.n.m. (NP1) alcanzó temperaturas menores en invierno, de -3°C, respecto al sensor localizado en la terraza de soliflucción del cerro La Hoya, a 1870 ms.n.m. con una exposición solar similar, el cual midió temperaturas entre 0°C y -1° en los meses más fríos.

Desde junio a agosto, la temperatura del aire oscila por debajo y por encima de 0°C, favoreciendo procesos superficiales de derretimiento y congelamiento en la región montañosa. Por su parte, la temperatura estacional del suelo, cercana o por debajo de 0°C, favorece a la conservación de agua en estado sólido desde mediados del invierno hasta el inicio de la época estival en profundidad. Parte del agua de fusión podría infiltrarse en los sedimentos que constituyen a las unidades depositacionales de altura de los cerros Nahuel Pan y La Hoya y mantenerse congelada en el suelo hasta el mes de noviembre.

## CONCLUSIONES

La temperatura subsuperficial del suelo en los cerros La Hoya y Nahuel Pan es una variable dependiente de la cobertura nival. Cuando la cobertura nival comienza a desaparecer, la baja amplitud térmica registrada en el suelo favorece la conservación de agua en estado sólido dentro de los sedimentos por más tiempo en el periodo en el cual se registra un aumento pronunciado en la temperatura del aire. El comportamiento anual de la temperatura del suelo favorece, junto con otras variables, la regulación del escurrimiento de agua acumulada en unidades morfosedimentarias de altura a finales de la primavera y principios del verano. Conocer en detalle todas las variables que influyen en el sostenimiento hidrológico, en una región donde el principal aporte de agua para abastecimiento ocurre desde la región montañosa, es fundamental para una mejor gestión de este recurso hídrico, el cual se encuentra bajo amenaza debido a la creciente aridización en Patagonia producto del cambio climático global.

## REFERENCIAS

- Broxton, P.D., Zeng, X., Dawson, N.: Why do global Reanalyses and land data assimilation products underestimate snow water equivalent? *J. Hydrometeorol.* 17(11), 2743–2761 2016. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-16-0056>.
- Climate Engine, 2021. Desert Research Institute and University of Idaho. Accessed on (accessed on September 2021) <http://climateengine.org>.
- Coronato, A., Mazzoni, E., Vázquez, M., Coronato, F. 2017. Patagonia: una síntesis de su geografía física. 1ed. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos, Argentina.
- Edwards, A.C., Scalenghe, R., Freppaz, M., 2007. Changes in the seasonal snow cover of alpine regions and its effect on soil processes: a review. *Quat. Int.* 162–163, 172–181.
- Goncharova, O.Y., Matyshak, G.V., Epstein, H.E., Sefilian, A.R., Bobrik, A.A. 2019. Influence of snow cover on soil temperatures: Meso- and micro-scale topographic effects (a case study from the northern West Siberia discontinuous permafrost zone). *CATENA* 183, 104224.
- Huntington, J., Hegewisch, K., Daudert, B., Morton, C., Abatzoglou, J., McEvoy, D., Erickson, T., 2017. Climate engine: cloud computing of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 98 (11), 2397–2409 67 pp. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- Martínez, O. A., Reato, A. y Serrat, D. 2017. Geomorfología de “La Hoya”, Cordón Esquel, Noroeste de Chubut. XX Congreso Geológico Argentino, S7: 94-95.
- Reato, A., Martínez, O.A., Serrat D. y Cano D.M. 2017. Glaciarismo y Periglaciarismo Cuaternario en el Cerro Nahuel Pan, Sector Extraandino del Chubut, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino. Sesión Técnica, 18: 78-83, Tucumán.
- Reato, A. 2020. Geomorfología y geología del Cenozoico superior del Chubut extraandino con énfasis en los eventos glaciales del Pleistoceno. Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina <https://doi.org/10.35537/10915/121981> PhD thesis, 219 pp.
- Reato, A., Carol, E.S., Cottescu, A., Martínez, O.A. 2021. Hydrological significance of rock glaciers and other periglacial landforms as sustenance of wet meadows in the Patagonian Andes. *J.S.Am.Earth Sci.* 111, 103471. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103471>.
- Reato, A., Brozi G., Martínez, O.A., Carol, E. 2022. Role of rock glaciers and other high-altitude depositional units in the hydrology of the mountain watersheds of the Northern Patagonian Andes. *Science of the Total Environment* 824, 153968. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153968>.
- Ruiz, L. y Trombotto Liaudat, D. 2012. Mountain Permafrost Distribution in the Andes of Chubut (Argentina) based on a Statistical Model. 10th International Permafrost Conference. Salekhard, Yamal-nenets Russia, Vol. I, 365-370.
- Reato, A., Carol, E.S., Cottescu, A., Martínez O.A. 2021. Hydrological significance of rock glaciers and other periglacial landforms as sustenance of wet meadows in the Patagonian Andes. *Journal of South American Earth Science*, 111, 103471. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103471>.
- Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C.-J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J.K., Walker, J.P., Lohmann, D., Toll, D. 2004. The global land data assimilation system. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85 (3), 381–394.
- Salvador-Franch F., Gómez-Ortiz A., Palacios-Estremera, D., Salvà-Catarineu, M., Plana-Castellví, J.A. 2010. Temperatura del suelo en un medio montañoso crionival (Corral del Veleta, Sierra Nevada, España). VI Seminario Latino Americano de Geografía Física II Seminario Ibero Americano de Geografía Física Universidade de Coimbra.
- Sherstiukov, A.B., Anisimov, O.A. 2018. Assessment of the Snow Cover Effect on Soil Surface Temperature from Observational Data. *Russian Meteorology and Hydrology* 43 (2), 72–78.
- Zhang, W., Shen, Y., Wang, X., Kang, S., Chen, A., Mao, W., Zhong, X. 2021. Snow cover controls seasonally frozen ground regime on the southern edge of Altai Mountains. *Agric. For. Meteorol.* 297, 108271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108271>.