



Fundación
Miguel Lillo
Tucumán
Argentina

doi

Análisis de la dinámica de dos mallines de altura en Vallecitos, Cordón del Plata, Mendoza, Argentina, en el periodo 2002-2019

Dynamics of two high mountain wetlands in Vallecitos, Cordón del Plata, Mendoza, Argentina (2002-2019)

Ivanna PECKER MARCOSIG*, Dario TROMBOTTO LIAUDAT

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-CONICET, Mendoza, Argentina. ipecker@mendoza-conicet.gob.ar

* Autor al que debe dirigirse la correspondencia.

RESUMEN

El área de estudio se encuentra ubicada en el Cordón del Plata, Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina, entre los meridianos 69°19' y 69°26' O y los paralelos 32°55' y 32°59' S. La región posee alturas máximas de 6.000 m con presencia de glaciares descubiertos, glaciares cubiertos con detrito y manchones de hielo perenne, sin embargo, el ambiente predominante es periglacial criogénico con predominancia de glaciares de escombros, prótalus ramparts y lóbulos de soli y geliflujión, hasta un límite aproximado de 3.600 m de altura. Asociados a estos ambientes se pueden encontrar mallines de altura. El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento temporal de dos mallines de altura en particular, en el periodo 2002-2019, como un bioindicador de cambios a nivel térmico y de humedad. Estos cambios fueron asociados, no solo a las características ambientales de la región, sino también a la degradación del hielo expuesto y subterráneo. Para captar los cambios en los ecosistemas mencionados se usaron imágenes satelitales que sirvieron para clasificar, digitalizar las márgenes de los mallines y construir los índices de suelo, vegetación y humedad: LST, NDVI y NWDI.

Palabras clave — Mallines o vegas de altura, ambiente periglacial, permafrost, ciclos de humedad, aumento de temperatura.

► Ref. bibliográfica: Pecker Marcosig, I., Trombotto Liaudat, D. 2021. Análisis de la dinámica de dos mallines de altura en Vallecitos, Cordón del Plata, Mendoza, Argentina, en el periodo 2002-2019. *Acta Geológica Lilloana* 33 (1): 1-24. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2021.33.1/2021-02-18>

► Recibido: 7 de octubre 2020 – Aceptado: 18 de febrero 2021



► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

ABSTRACT

The study area is situated at 69°19' and 69°26' W and 32°55' and 32°59' S, Cordón del Plata, Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina, with maximum heights of 6000 m ASL. There are glaciers, debris covered glaciers, and perennial snow patches; however, the predominant environment is periglacial, mainly with rock glaciers, protalus ramparts, solifluction and gelifluction forms up to approximately 3600 m ASL. Associated with these periglacial and glacial environments mountain wetlands are present. It is the aim of this contribution to analyze the dynamics observed in two wetland areas studied annually between 2002 and 2019 as bioindicators of temperature and humidity changes, in order to understand the processes that may be affecting these wetlands. Changes are associated, not only with meteorological anomalies of the region, but also with the degradation of exposed and ground ice. The applied methodology is based on the use of satellite images for classification, digitization of the rims of the wetland areas and construction of soil, vegetation and moisture indexes LST, NDVI and NWDI.

Keywords — High mountain wetlands, periglacial environment, permafrost, humidity cycles, temperature rise.

INTRODUCCIÓN

El ambiente periglacial se define por procesos criogénicos y crioformas asociadas con él. El término periglacial andino se aplica a describir condiciones ambientales climáticas frías de montaña con permafrost. El permafrost es el suelo o roca, incluyendo hielo y materia orgánica, que permanece a una temperatura de 0 °C o menor por dos años consecutivos como mínimo. Cabe considerar que las condiciones naturales del medio, el calentamiento global o las acciones antrópicas pueden modificar el permafrost. La aparición de permafrost en los Andes, expresado térmicamente, está en función de la roca, suelo y sedimentos, latitud, altitud, exposición de la región al sol y al viento, entre otros factores climáticos (Trombotto Liaudat *et al.*, 2014).

Zhao-ping Yan *et al.* (2013) estudiaron la relación entre la degradación del permafrost en ecosistemas alpinos del Tibet con la humedad del suelo, disponibilidad de nutrientes y cambios en la composición vegetal. Los humedales son bioindicadores que sirven para analizar también estos cambios ambientales en el sistema criosférico de la Cordillera de los Andes.

Humedales del tipo de los mallines, vegas, praderas húmedas, cors (Trombotto Liaudat *et al.*, 2014), o bofedales (Bolivia, Perú, Ruthsatz, 2012), como las turberas, son ecosistemas semiacuáticos cenagosos (Trombotto y Ahumada, 2005) con fondos cuasi-impermeables, caracterizados por presentar una importante acumulación de materia orgánica y procesos sedimentarios en sectores con aguas relativamente estancadas (Göttlich, 1990), o con lenta circulación.

En la región argentina del NOA, también en Bolivia y Chile, diferentes bofedales han sido estudiados en profundidad por Ruthsatz (2008) y Schittek *et al.*

(2016). En particular estos autores observaron con detalle la vegetación en cojines que caracterizan a los humedales de la Puna y el NOA hasta los 5.000 m de altura. Schittek (2014) encontró que microfósiles de *Distichia muscoides* de la Puna ayudan a la interpretación paleohidrológica de una zona de estudio.

Los mallines o vegas de los Andes Centrales de Mendoza son un cierto tipo de “turbera anmoor”, es decir con menor contenido de materia orgánica que las turberas originales de ambientes hiperhúmedos del sur sudamericano (Roivainen, 1954; Boelke *et al.*, 1985) o del hemisferio norte (Göttlich, 1990). Estos humedales montañosos pueden encontrarse cercanos a glaciares, glaciares de escombros, en áreas criogénicas con procesos de congelamiento y descongelamiento estacional, es decir generalmente en un nivel altitudinal más bajo. Están conectados con vertientes de agua y temperaturas bajas que impiden la degradación completa de la materia orgánica. En los Andes Centrales, y por arriba de los 3.000 m de altura, se encuentran generalmente en depresiones o paisajes negativos excavados por fenómenos glaciogénicos o criogénicos. Los mallines pueden ser remanentes de ambientes asociados con el permafrost y procesos periglaciales antiguos. (Trombotto, 2000; Trombotto Liaudat *et al.*, 2014). Actualmente, los procesos periglaciales que se observan en el ecosistema del mallín, en general, tienen que ver con la solifluxión y la crioturbaación en pequeña escala, es decir, especialmente, por procesos criogénicos invernales (Trombotto, 2000).

A grandes rasgos, se pueden diferenciar dos áreas en los mallines de altura, un núcleo, no necesariamente central, con mayor humedad, cobertura vegetal y topografía negativa, y otra área marginal, denominada en turberas como “*lagg*” (Göttlich, 1990), que rodea la primera y se caracteriza por ser un límite semi húmedo y con topografía positiva. En la parte interna de estos humedales se pueden identificar también subambientes que están asociados al porcentaje de humedad, presencia de agua circulante o no, y sus comunidades vegetales (Göttlich, 1990; Ontivero, 2015, entre otros). Originalmente, el término *lagg* se aplicó a una zona de contacto entre una turbera minerotrófica y el suelo mineral, pero en ambientes mucho más húmedos (Howie y van Meerveld, 2011).

Izquierdo *et al.* (2016) realizaron un inventario regional de los humedales (vegas, salares y ecosistemas mixtos) de la Puna y los Andes Secos de Argentina con el objetivo de mapear su distribución para permitir su monitoreo, a la vez que los definieron como “hidroecosistemas” dado que la propia dinámica de ellos complejiza su delimitación superficial. Martínez Carretero y Ontivero (2016) presentaron un inventario de vegas en la provincia de San Juan y analizaron la estructura interna del ecosistema y sus comunidades vegetales.

Particularmente en el Cordón del Plata, Mendoza, los mallines muestran típicamente también la vegetación en forma de cojín para proteger a sus raíces de los fuertes y helados vientos y procesos criogénicos en el suelo. Los mallines de altura del flanco oriental del Cordón del Plata (Méndez, 2004, 2007; Tapia Baldis *et al.*, 2019) están presentes en los pisos de vegetación denominados “Provincia Andina, Distrito Andino Cuyano”, cuya especie representativa es la *Adesmia horrida* y se encuentra entre 2.100-3.200 m.s.n.m.; y la “Provincia Altoandina, Distrito Altoandino, Subdistrito de Estepas y Cojines”, cuyas especies representativas son la *Adesmia*

subterránea (2.750-3.700 m.s.n.m.) y *Nassauvia commingii-Senecio crithmoides* (3.500-4.200 m.s.n.m.).

Méndez (2007) clasificó a los mallines de los Andes mendocinos a partir de factores florísticos, fitosociológicos y ecológicos. El autor observó que la temperatura, altitud y latitud son los elementos más importantes en la distribución de la vegetación en las distintas zonas húmedas de altura. Así mismo, Méndez había establecido anteriormente (1986) que la dinámica de las vegas está controlada por la fluctuación de la capa freática, pero también por el pastoreo del ganado. Wing-enroth (1992, 2012) estudió la distribución antigua del polen y la vegetación actual en áreas de montaña menos afectadas antrópicamente en la Cordillera Principal de Mendoza para reconstruir cambios ecológicos paleoclimáticos e hídricos y conocer sus posibles causas.

Dario Trombotto (1991) y Tapia Baldis *et al.* (2019) correlacionaron los pisos de vegetación definidos por Ambrosetti *et al.* (1986) con los ambientes geomorfológicos y dinámicos establecidos por Garleff (1977) en los Andes mendocinos. Trombotto (1991) también realizó una descripción de las especies criófilas asociadas con procesos de soli y geliflujión y reptación de permafrost, e incluyó especies acuáticas. Tomando en cuenta la Cordillera Frontal, Trombotto pudo identificar el piso altitudinal entre 2.500 y 3.500 m de altura, definido geomorfológicamente como región para-geocriogénica (Corte, 1983), donde la especie predominante es *Adesmia pinifolia* y *Adesmia remyana* y un segundo piso caracterizado por procesos periglaciales más importantes entre 3.500 y 4.500 m de altura, donde predomina *Adesmia subterránea*. A los 4.500 m.s.n.m., Garleff (1977) definió la presencia de un piso nival andino, donde no existe vegetación alguna. En la región estudiada, en los años 80, el límite superior de la vegetación fue encontrado a 4.200 m de altura aproximadamente (Trombotto, 1991).

El objetivo general de este trabajo es analizar la variación de la cobertura vegetal de dos mallines de altura seleccionados a través de estudios de campo, foto aérea e imágenes satelitales. En esta contribución se investiga en particular el periodo 2002-2019 y la relación de estos dos mallines con la variabilidad climática, en particular con los cambios térmicos y de humedad que los afectaron, para poder utilizarlos como bioindicadores regionales de los ambientes paraperiglaciales de los Andes Centrales cercanos a la ciudad de Mendoza.

ÁREA DE ESTUDIO

Geografía

El área de trabajo (Figura 1) que presentamos en esta contribución se denomina Vallecitos y se encuentra en el Cordón del Plata, Cordillera Frontal, Andes Centrales de Mendoza entre los 32°55' y 32°59' S y entre 69°19' y 69°26' O. La orientación de la cuenca con los humedales es NNE-SSO. Se encuentra localizada en el Parque Natural Cordón del Plata y forma parte de una red de monitoreo de capa activa y permafrost para la red del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y el *National Snow and Ice Data Center (NSIDC, Colorado; <http://nsidc.org/data/> -World*

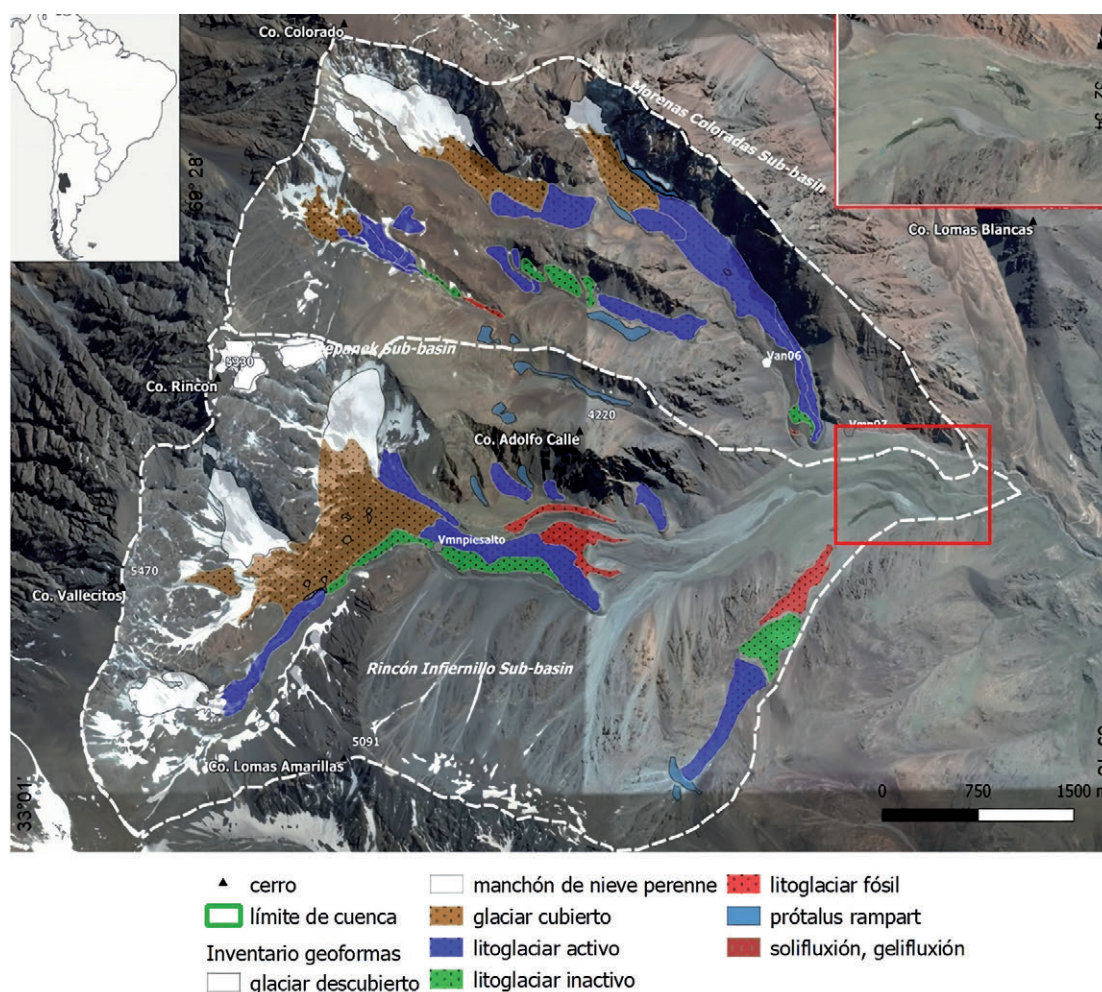


Figura 1. Mapa del área de estudios con detalle de inventario de geofomas. Enmarcada en color rojo se encuentra la zona de estudio.

Meteorological Organization dentro del programa GLOBAL CRYOSPHERE WATCH (GCW) – CryoNet South America).

Su límite norte está marcado por el río Mendoza, al oeste el límite está dado por un imponente cordón montañoso con picos de hasta 6.000 metros de altura como el cerro El Plata (6.000 m.s.n.m.), Rincón (5.650 m.s.n.m.), Vallecitos (5.570 m.s.n.m.). Al este y al sur el límite está dado por cerros menores a 3.000 metros. La cuenca del río Vallecitos posee una extensión aproximada de 45 km². El valle glaciar se encuentra bien definido a partir de las morenas laterales, medias y frontales (Makopoulou, 2018). En la parte frontal, zona de acumulación de sedimentos finos, se encuentran desarrollados los mallines presentados en este trabajo. El ambiente periglacial compone un 60% de la cuenca con posible ocurrencia de permafrost desde 3.600 m.s.n.m. hacia los límites superiores (Trombotto *et al.*, 1997, 1999)

Los suelos se encuentran poco desarrollados en la cuenca en general, exceptuando las áreas de mallines que contienen suelos orgánicos e hidromórficos, con un horizonte de espesor variado con restos vegetales, parcialmente descompuestos y saturados en agua sobre sedimentos holocenos (fluviales, glacialigénicos, criogénicos)

afectados por agua subterránea. Corresponden, en algunos casos, a histosoles o suelos de moore. Las calicatas muestran que con el aumento de la profundidad hay en general un aumento en la degradación de los restos vegetales, así mismo, variaciones en la descomposición. Un estudio particular de estos suelos orgánicos con especial atención al carbono fue realizado por Kuhry *et al.* (2018).

Geológicamente la cuenca se compone por rocas metamórficas y sedimentitas paleozoicas debido a sucesivos episodios de deformación y elevación del terreno. El Grupo Choiyoi se encuentra representado en gran parte de la cuenca. El mismo es el testimonio de una gran actividad magmática y volcánica del borde suroccidental de Gondwana, representado en la cuenca por vulcanitas ácidas y mesolíticas. La Formación El Plata, más antigua que el Grupo Choiyoi, también se encuentra en el área de estudios y se compone de areniscas, conglomerados, cuarcitas y esquistos intercalados acorde a tres miembros diferentes (Heredia *et al.*, 2012). Rocas volcánicas mayormente riolitas y andesitas preponderan en el área de estudio.

Del periodo Cuaternario existen grandes y extensos depósitos de till expresados a través de diferentes morenas de distintas edades (Wayne y Corte, 1983; Moreiras *et al.*, 2016). Los depósitos criogénicos periglaciales predominan a través de estructuras criogénicas y cubren preponderantemente todo el paisaje superficial de altura. Los depósitos periglaciales se originan por ciclos de congelamiento y descongelamiento y criometeorización, como por la acción de diferentes tipos de hielo periglaciales (hielo en poros, segregacional y masivo). Típicos procesos periglaciales de la región son la formación de talus, geliflujión, reptación de permafrost, selección criogénica, crioturación, flujos de detrito y/o barro y caída de rocas por gravedad (Figura 1).

Hidrología

Hidrológicamente la zona de estudio pertenece a la cuenca del río Mendoza, formando parte de la Cuenca Alta (DGI). Se presenta como una red dendrítica de montaña mayormente con cursos de agua temporarios, no permanentes y otros permanentes. Esta diferenciación se obtiene a partir de la caracterización térmica y su variación anual. El límite de congelamiento del agua se produce a los 3.600 m.s.n.m. aproximadamente (Trombotto *et al.*, 1997), los cursos de agua ubicados en alturas superiores desaparecen en el periodo otoño/inverno. Mientras que en verano reactivan su curso debido a la precipitación sólida o líquida, al derretimiento de manchones de nieve, ablación glaciaria y descongelamiento de la capa activa en los valles y pendientes sedimentarias criogénicas y de los glaciares de escombros. Estos cursos son denominados *no permanentes*. Los cursos de agua ubicados en cotas menores a 3.600 m.s.n.m. con agua corriente durante todo el año hidrológico se denominan *permanentes*, mientras que aquellos cursos afectados por la dinámica térmica durante el año hidrológico son denominados *transitorios*. Según el índice de Strahler (1952) la cuenca responde al número 3, es decir que se encuentra en un estado incipiente de desarrollo de la corriente hídrica, siendo su curso principal el río Vallecitos pero ya en ambiente paraperiglacial. El régimen de alimentación es predominantemente estival a partir de precipitación (nival y líquida) y derretimiento de hielo, y se presenta en forma superficial y subterránea.

La hidrología e hidroquímica de la zona fue estudiada por Sileo (2019), deduciendo ciertas características importantes como la presencia de determinados elementos químicos, entre ellos Ni, Cd y Zn. Las concentraciones de estos elementos varían en función la distribución del agua en forma superficial, subterránea y vertiente, como la estructura geológica con la cual entran en contacto (Trombotto *et al.*, 2020).

En la zona de estudio se diferenciaron las tres subcuencas siguientes: Stepanek, Rincón-Infiernillo y Morenas Coloradas (Figura 1) que aportan agua al curso principal. La primera de ellas posee un curso de agua definido, sin embargo, no es permanente, ya que su alimentación está condicionada a las características térmicas del año. La subcuenca Rincón-Infiernillo es la más definida y desarrollada. Esta última cuenta con gran cantidad de glaciares y crioformas periglaciales que aportan de forma directa o indirecta agua al gran caudal del río principal. Sin embargo, debido al congelamiento altitudinal gran parte de sus cursos son de carácter no permanente. El punto de inicio del mallín denominado *Veguitas* se encuentra en un manantial definido por Sileo *et al.* (2015, 2016) que es parte del origen subterráneo del río Vallecitos. El origen del mallín Franke es subsuperficial o subterráneo y esté posiblemente asociado al glaciar de escombros ubicado en el faldeo NE del cerro homónimo.

Clima

Los datos meteorológicos provienen de dos estaciones meteorológicas, la estación Vallecitos (32°59'12.8" S.; 69°21'21" O, 2.550 m.s.n.m.) con datos desde 1979 al 2006 y la estación Morenas Coloradas (IANIGLA-CONICET), ubicada en el frente del glaciar de escombros (32°57'36.7" S.; 69°22'10.9" O; 3.486 m.s.n.m.) desde febrero de 2018.

Trombotto y Borzotta (2009) estiman una temperatura media anual del aire (TMAA) entre 1979-1994 de 6,3°C en la estación de Vallecitos, destacando un periodo de significativo aumento de temperatura entre 1988 y 1992 con una TMAA de 7,36°C. Tomando en cuenta los registros de temperaturas posteriores se puede estimar una TMAA para el periodo 1979-2015 de 6,13°C, con lo cual el aumento de la TMAA registrado en cuarenta años fue de 0,82°C.

En cuanto a la precipitación se cuenta con datos desde el año 1979. La misma fue tomada a partir de datos meteorológicos o con la ayuda de totalizadores fabricados en la Unidad de Geocriología (Hernández *et al.*, 2015). Los datos no fueron obtenidos en todos los años debido a problemas con el acceso al instrumental. En aquellos años que se recuperó el dato luego de dos años de medición se realizó un promedio. La precipitación calculada para el periodo 1979-1999 fue de 354,67 mm. Entre 1979 y 1985 fue de 442 mm (Trombotto, 1991), mientras que para el periodo 2000-2019, el promedio fue de 390,8. El aumento de precipitación en el periodo 1979-2015 fue de 36 mm.

La TMAA en Morenas Coloradas, entre marzo de 2018 y marzo de 2019, fue de 3,04°C y la precipitación fue de 269 mm (Tabla 1).

Tabla 1. Datos meteorológicos de la estación Morenas Coloradas. Referencias: (*) Datos mensuales medios 2018-2019. (**) Datos mensuales 2019.

Mes	TMAA* (°C)	Precipitación** (mm)	Altura nieve** (cm)
Enero	6,3	31,71	0
Febrero	7,1	43,87	0
Marzo	5,2	29,47	0,35
Abril	6,6	28,45	0,41
Mayo	1,3	10,90	1,15
Junio	-0,6	18,03	0,46
Julio	-1,2	0	0,55
Agosto	0,9	0	0
Septiembre	0,4	0	1,24
Octubre	0,3	4,06	0,54
Noviembre	3,9	7,11	
Diciembre	6,3	9,91	

El gradiente vertical actual de temperatura fue calculado en aproximadamente 0,6°C /100 m. De esta manera la isoterma de 0°C se ubica a los 3.980 m (Trombotto Liaudat *et al.*, 2020). Sin embargo, la misma desciende en el periodo otoño/invierno hasta los 3.400 m, punto que coincide con los frentes de los glaciares de escombros (Trombotto, 2000).

La presencia de nevadas no se limita al invierno, ellas pueden ocurrir a lo largo de todo el año, lo que varía es el tiempo que permanece la nieve sobre el suelo. Gran parte de las nevadas son esporádicas y se deben al efecto del viento Zonda. Sólo en las nevadas invernales se observa el suelo cubierto por nieve, hielo estacional y *pipkrake*, por largos periodos (semanas) y en los cursos de agua se forman capas superficiales de hielo o *icings*.

La exposición, pendiente y efecto de umbría, juegan un rol fundamental en la microclimatología del sitio. Las caras NE son más cálidas que las SO ya que reciben mayor radiación solar. Una consecuencia de ello es el mayor desarrollo de la vegetación sobre estas márgenes que sobre las SO.

Los eventos “Niño, Oscilación del Pacífico Sur”, no son ajenos al área de estudio y se pueden identificar bien sus consecuencias. Su registro es importante aquí, ya que pueden aportar información sobre los cambios en la humedad debido al aumento o reducción de la precipitación según sea un año con presencia de un evento Niño o Niña. Se incorpora la Figura 2 con el registro de eventos Niño/Niña y sus diversos niveles para el periodo 2000-2020.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis multitemporal

Respondiendo al objetivo del trabajo sobre cambios en la dinámica de variación en el crecimiento de los mallines de altura se recopilaron imágenes satelitales y una foto

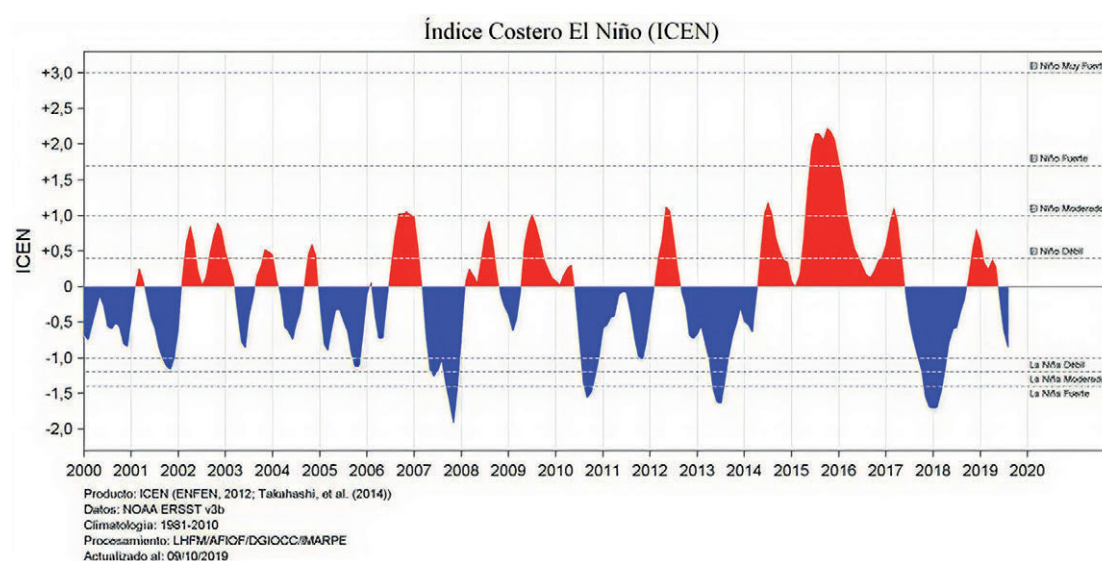


Figura 2. Gráfica representativa de la presencia de eventos El Niño / La Niña.

aérea del año 1963 para observar esos cambios a lo largo de un tiempo cercano. La digitalización de estos humedales se llevó a cabo utilizando imágenes satelitales obtenidas de *Google Earth*, imágenes LANDSAT 7 ETM+, provistas gratuitamente por la NASA (LANDSAT, 2017) y una fotografía aérea provista por Unidad de Geociología perteneciente a un vuelo programado para estudios científicos. Se utilizaron los datos de estaciones meteorológicas presentes en la cuenca para aportar información de campo que contribuya comprender los cambios observados (ver Tabla 2).

El proceso de análisis multitemporal se realizó mediante el software QGIS 3.4.9. En este software se georreferenciaron las imágenes de *Google Earth*, LANDSAT (2017) y la fotografía aérea utilizando puntos GPS obtenidos en el terreno. Luego se analizaron diversos índices y modelos de humedad de suelo, vegetación, temperatura del aire y suelo para ahondar en la dinámica de fenómenos naturales en la zona de estudio. A partir de un *Modelo de Elevación* (DEM) se calcularon la orientación del valle, su exposición, radiación solar y pendientes del área de estudio. Por último, se realizaron análisis geométricos (área, longitud, ancho, pendiente) de los mallines mapeados para conocer sus cambios en los diversos años del periodo considerado. A partir de la información obtenida se busca conocer los cambios evidenciados anualmente en las vegas en el periodo 2002-2019 y esbozar preliminarmente las causas de estos cambios (Figura 3).

Todas las imágenes utilizadas corresponden a periodo estival a fin de lograr una respuesta espectral comparable estacionalmente. Las fechas de las imágenes son: 05/01/2002; 13/02/2003; 15/01/2004; 06/03/2005; 09/03/2006; 08/02/2007; 10/01/2008; 13/02/2009; 31/01/2010; 20/12/2011; 9/03/2012; 07/01/2013; 10/01/2014; 14/02/2015; 20/03/2016; 18/01/2017; 31/01/2018; 01/02/2019.

Tabla 2. Materiales utilizados en el trabajo.

Recurso	Fecha	Resolución	Fuente
LANDSAT 7 ETM+	2002-2018	30 m	Earth Data NASA
LANDSAT 7 ETM+	2018-2019	30 m	Earth Data NASA
DEM (ALOS PALSAR)	2012	12,5 m	Earth Data NASA
	5/3/2006		
Imágenes	8/4/2010		
Satelitales	13/11/2013	2,5 m	Google Earth
GeoEye	19/3/2016		
	10/1/2019		
Fotografía aérea	1963	1:50000	IGM
Estacion meteorológica	2018-19		IANIGLA
Estacion meteorológica	1979-2007		EVARSA
Totalizador (pp)	2008-2019		Geociología

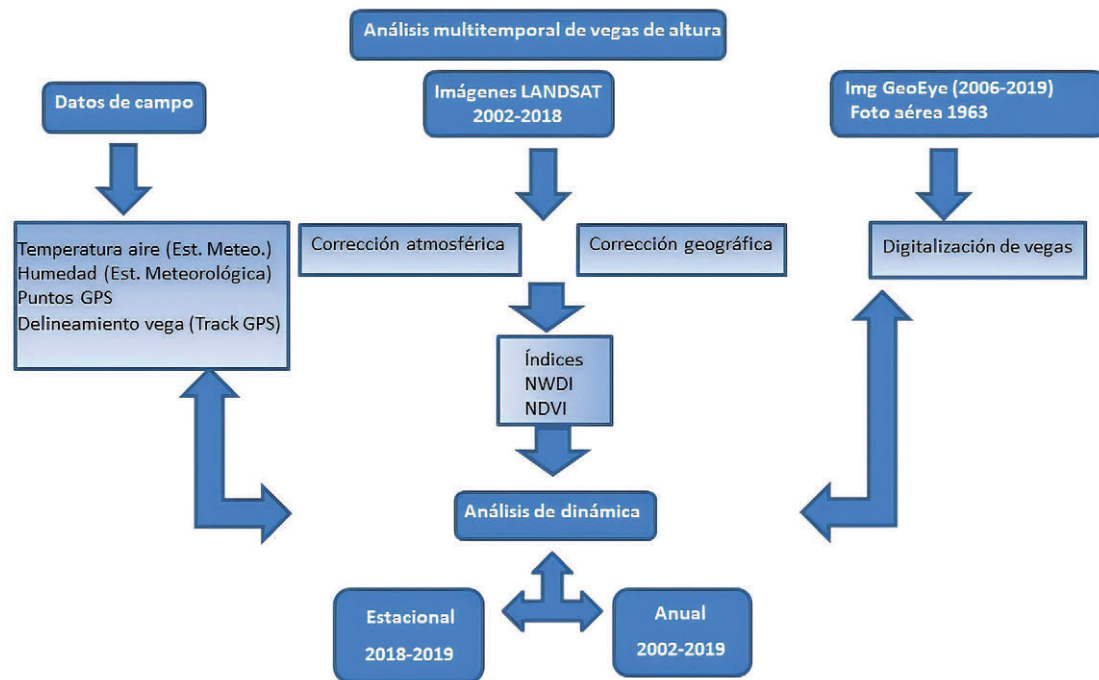


Figura 3. Metodología utilizada.

Digitalización de vegas

Con el objetivo de conocer la dinámica del mallín en el periodo considerado (2002-2019) se realizaron diversos procesamientos de imágenes y cruzamiento de datos. En primer lugar, se obtuvieron las imágenes *GeoEye* disponibles en *Google Earth* para digitalizar el área donde se encuentran los mallines a investigar. Se calculó su altitud inicial y final, largo, ancho y pendiente. La misma metodología fue empleada con la fotografía del año 1963. Previamente se realizó, la corrección geométrica de la foto a partir de puntos GPS tomados en terreno.

Cálculo de índices normalizados de vegetación (NDVI), humedad (NWDI) y temperatura del suelo (LST)

Se corrigieron geográfica y atmosféricamente las imágenes Landsat 7 ETM+ para luego calcular los índices normalizados de vegetación y humedad (NDVI).

El NDVI es un índice que permitió identificar la presencia de vegetación, su distribución y la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Su dinámica posee gran influencia de las condiciones climáticas imperantes

A partir del NWDI se identificó el estrés hídrico de la vegetación, la saturación de humedad en el suelo y se lograron establecer los límites de los cuerpos de agua asociados a los mallines.

Finalmente, se utilizó el algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) para conocer el comportamiento de la temperatura del suelo en forma temporal para los años 2014, 2015 y 2017. El año 2016 no pudo analizarse debido a la gran cobertura de nieve presente en las imágenes debido a la presencia del evento El Niño.

El LST o *Land Surface Temperature*, permitió conocer la dinámica del ambiente frío y sus posibles relaciones con las áreas de mallines. Con los datos obtenidos se confeccionó la curva de 0°C para las 4 estaciones del periodo 2018-2019.

Inventario de glaciares

Se utilizaron los resultados del Inventario Nacional de Glaciares (IANIGLA, 2018) a fin de obtener información acerca de su cantidad numérica y extensión superficial en la cuenca del río Vallecitos. Nuevas imágenes satelitales de 2015 y 2019 fueron analizadas para comparar la evolución y cambios de los cuerpos de hielo entre 2010 y 2019. Dicha información permite analizar los cambios de humedad en la cuenca.

RESULTADOS

Digitalización de vegas y datos de campo

Un inventario preliminar de mallines, ubicados a más de 3.000 m.s.n.m., de la provincia de Mendoza fue realizado especialmente para este trabajo. Se contabilizaron un total de 1.832 humedales, clasificados como para-periglaciales. Se ubicaron 41 mallines importantes en el Cordón del Plata, 9 de ellos dentro del Parque Provincial Cordón del Plata, donde se encuentra la zona de estudio. La superficie total de estos mallines fue de 2.376,63 ha. En el Cordón del Plata se calcularon 7,27 ha, de las cuales 3,79 ha están dentro del Parque Provincial. Aproximadamente el 80% de humedales estuvieron asociados a cursos de agua y vertientes, mientras que el 20 % de los mallines se encuentran al pie de la nariz de glaciares de escombros, en un piso altitudinal más bajo y se infiere que se encuentran asociados a la dinámica hídrica de su capa activa y de movimientos de agua subterránea de la cuenca.

A partir de las imágenes y los análisis realizados se pueden reconocer dos áreas de mallines en Vallecitos y otras dos áreas de estudio:

A) *Veguitas*, o Las Veguitas, se encuentra a 3.200 m.s.n.m., es un mallín generado por alimentación de agua de vertiente y el río Vallecitos. El área de origen glaciánico encauza los aportes hídricos de ablación de los glaciares, glaciares cubiertos de detrito y del derretimiento de la capa activa regional, que se encuentra en la quebrada del Rincón-Infiernillo. (Ver Figura 4). Tiene varias partes que se relacionan con pendientes variadas. Según la clasificación realizada por Trombotto y Ahumada (2005) corresponde a un mallín de arroyo.

B) *Franke* es un mallín que se encuentra altitudinalmente por debajo de una serie de glaciares de escombros en una zona de gran pendiente y limitando al Norte con una morena lateral del valle contiguo (*Veguitas*). El aporte hídrico se infiere que es subsuperficial o subterráneo a partir del glaciar de escombros activo que se encuentra en su parte superior, a 4.300 m.s.n.m. (Ver Figura 4). Este tipo es un mallín de ladera o pendiente montañosa natural (Trombotto y Ahumada, 2005).

C) *Zona de estudio del lagg*, área que circunda los mallines. Se define como un ecotono que responde a fluctuaciones del ambiente, por lo cual es un buen indicador de los cambios que se desean estudiar. Los suelos se encuentran sub-saturados debido a las variaciones estacionales y anuales de su condición de humedad. Esta dinámica produce cambios a nivel hidroquímico lo cual conlleva a cambios en su productividad y diversidad biológica debido a la disponibilidad de nutrientes (Howie y van Meerveld, 2011). La vegetación está adaptada a suelos salinos debido a la alta evaporación y periodos de sequía existentes.

D) *Cabecera de cuenca*, área conformada por las montañas más elevadas las cuales reciben precipitaciones nivales y acumulan agua en forma de glaciares, glaciaretos y manchones de nieve perenne. Allí se producen las nacientes de los cursos de agua que alimentan el valle (Figura 4).

En las siguientes tablas se incluyen los datos superficiales analizados para cada mallín y una breve mención de su dinámica en cuanto al crecimiento altitudinal. Tal concepto refiere al principio, o hipótesis inicial, por el cual a partir del mayor aporte de humedad y temperatura la vegetación encuentra mejores condiciones biológicas para su desarrollo. El mayor aporte de humedad en el suelo debido al derretimiento de hielo de origen glaciario, periglacial y el aporte de precipitaciones estivales permite el desarrollo estacional de suelos hidromórficos, es decir suelos saturados con agua y en condiciones reductoras, propicios para la expansión de la cobertura de un mallín existente. Sumado a ello el aumento de temperatura media anual del aire y suelo, permiten el desarrollo de la actividad biológica.

En la Tabla 3 se muestran los datos analizados en el mallín *Veguitas*, en donde se puede observar un aumento del área en el periodo 2006-2019 reflejado mayormente en su crecimiento altitudinal, su variación posee su mínima expresión registrada para el año 2013, el cual se encuentra dividido en dos registros debido a la discontinuidad superficial del mallín. El crecimiento superficial desde el año 1963 hasta la fecha es muy dinámico. En la fotografía de 1963 (Figura 5) puede observarse un mallín con superficies desconectadas, sin embargo, exceptuando el año 2013 su área creció hasta aproximadamente tres veces en 2016 y dos en 2019.

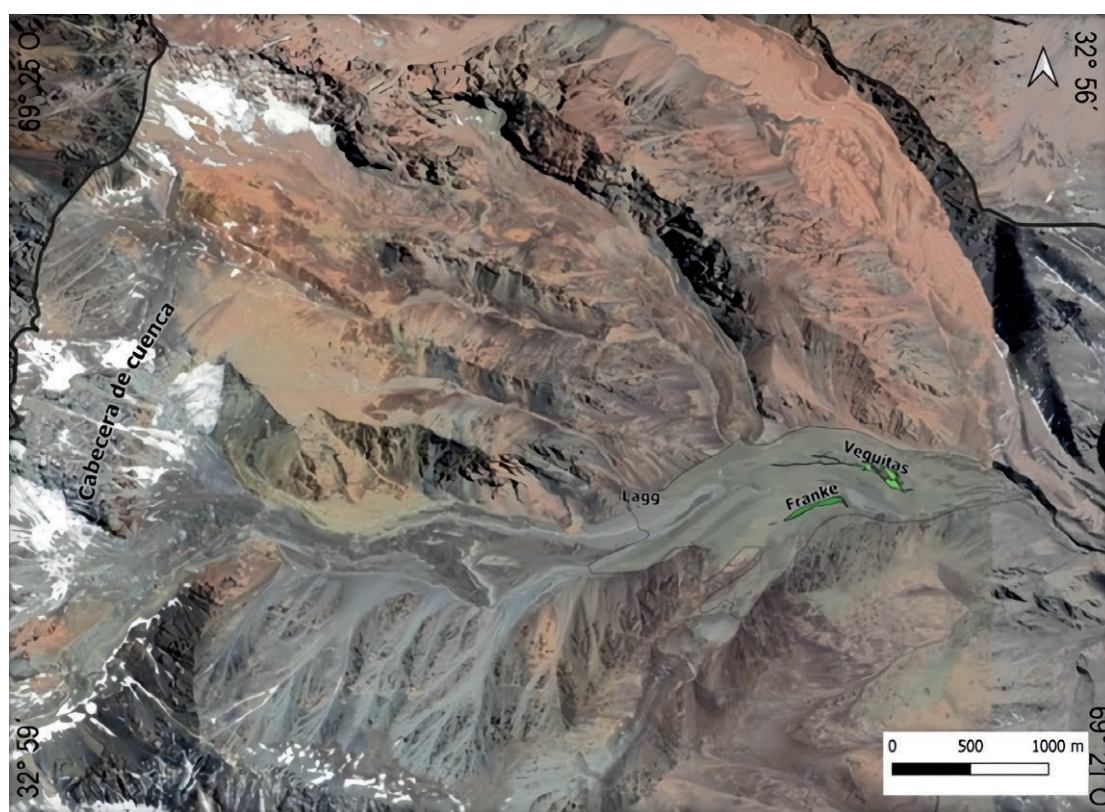


Figura 4. Mapa del área de estudios dividida por zonas analizadas.

Tabla 3. Datos geométricos del mallín Veguitas.

Año	Área (ha)	Alt. inferior (m)	Alt. superior (m)	Largo (m)	Ancho (m)	ENSO	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
2006	1,5	3229	3383	821	61	Niño suave	205	6,1
2010	1,3	3229	3383	819	74	Niña muy fuerte	516	sin datos
2013	0,16	3235	3240	72	25	Neutral	398	sin datos
2013	0,13	3259	3383	571,5	3	Neutral	398	sin datos
2016	2,6	3228	3385	853	94	Niño muy fuerte	410	sin datos
2019	1,83	3228	3385	841	71	Niño leve	133,5*	9°**

En el caso del mallín *Franke* (Tabla 4), existe una leve diferencia negativa en su área desde 2002 hasta el año 2019.

Comparando con la fotografía aérea de 1963 se puede mencionar que su área es menor actualmente. Aunque el cambio más destacado se produce en el crecimiento de su cobertura vegetal hacia las cabeceras de cuenca, dado que se registró una altura superior en la extensión del mallín, siendo su límite superior en 1963 en 3334 msnm mientras que en 2019 se encuentra en 3.358 m.s.n.m.

Tabla 4. Datos geométricos del mallín Franke.

Año	Área (ha)	Alt. inferior (m)	Alt. superior (m)	Largo (m)	Ancho (m)	ENSO	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
2006	1,18	3253	3357	377	33	Niño suave	205	6,1
2010	1,2	3253	3357	377	34	Niña muy fuerte	516	sin datos
2013	1,13	3254	3358	378	30	Neutral	398	sin datos
2016	1,14	3253	3358	378	31	Niño muy fuerte	410	sin datos
2019	0,82	3254	3358	378	25	Niña leve	133,5*	9°**

En las siguientes figuras puede observarse la disposición de ambos mallines en los años considerados para este trabajo y una comparación entre las áreas cubiertas (Figura 5 y 6).

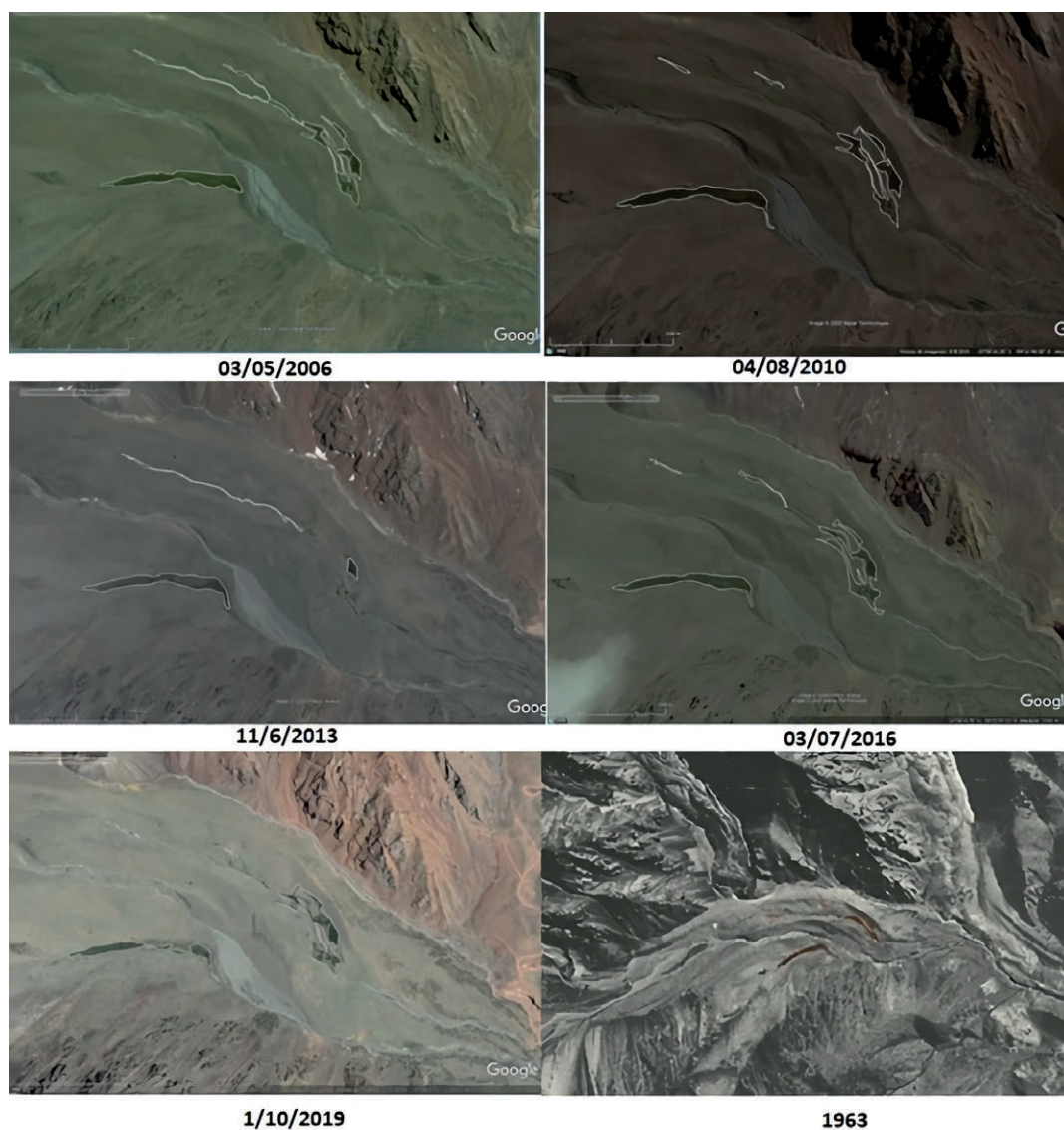


Figura 5. Distribución superficial de los mallines Veguitas y Franke para diversos años.

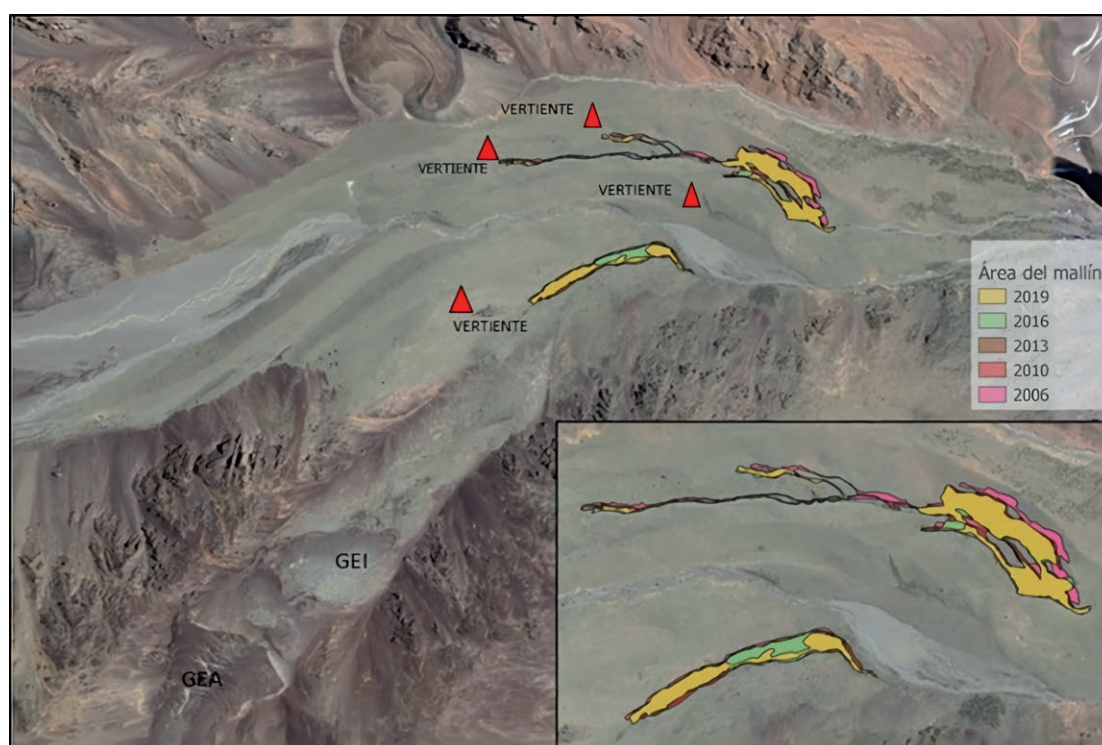


Figura 6. Comparación de áreas de los mallines en los años considerados para este estudio GEA: glaciar de escombros activo, GEI: glaciar de escombros inactivo.

Tabla 5. Datos geométricos de acuerdo a la fotografía aérea de 1963.

Sitio	Área (ha)	Alt. inferior (m)	Alt. superior (m)	Largo (m)	Ancho (m)	ENSO	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Franke	0,92	3253	3334	348	33	Niño Fuerte (1957-59)	sin datos	5,31 (TMMA 1979)
Veguitas	0,94	3236	3381	355	41	Niño Fuerte (1957-59)	sin datos	5,31 (TMMA 1979)

Índices normalizados

Los índices empleados fueron: a) *NWDI* o *índice normalizado de humedad del suelo*; b) *NDVI* o *índice normalizado de vegetación* y c) *LST* o *índice de temperatura superficial del suelo* (*Land Surface Temperature*). Asimismo, se estudiaron los datos del el Inventario Nacional de glaciares para conocer las diferencias temporales de los cuerpos de hielo cartografiados con los periodos seleccionados.

Índice normalizado de humedad del suelo (NWDI, Nivel Estacional).— Mostró un invierno en general con gran porcentaje de cobertura nival, próximo al 90% del área total de la cuenca, con presencia de valores entre 1 y 0,5. En primavera la cobertura de la *cabecera de cuenca* se reduce en gran proporción tanto en área (70%) como en intensidad de humedad (0,3-0,5). En el sector de los mallines y el *lagg*, los

valores de humedad en primavera son bajos, es decir existe presencia de stress hídrico (-0,5). El verano encuentra las cabeceras con bajo porcentaje areal de cobertura nival, asociados a pequeños glaciaretos, manchones de nieve perennes con orientación predominante SO. Mientras que la zona de los mallines *Veguitas* y *Franke* presenta un aumento en la humedad del suelo (0,2). En otoño la cobertura de las cabeceras presenta un suelo con alto nivel de humedad (1) en las cotas más altas.

En el periodo de análisis 2002-2019 se observó una reducción en la humedad total de la cuenca, dado que en 2002 la cobertura registrada fue del 80% y 20% en 2018, encontrándose el mayor porcentaje de humedad en las pendientes con exposición sur. En el año 2002, la altura de la cobertura se encontraba a 3.900 mientras que en 2018 se encontró a 4.600 m. Se observa un leve aumento de humedad en las zonas de cauces y fondos de valles. Mientras que en la *cabecera de cuenca* se evidencia un decrecimiento de la humedad en el periodo. En los mallines estudiados existe una clara diferencia, mientras que *Veguitas* presenta gran fluctuación de humedad y un aumento paulatino del el *NWDI*, el mallin *Franke* se mantuvo en forma constante.

Índice normalizado de vegetación (NDVI, Nivel Estacional).— Se observó con mayor desarrollo en verano y el mayor estrés hídrico fue en otoño/primavera. El límite altitudinal se encuentra a los 3.600 m. Por encima de esta altura existen pequeñas plantas vasculares como *escarapelas* (*Alcea rosea*) que crecen entre las rocas. En invierno se ven manchones de zonas de verdor asociados a cursos de agua.

En el periodo de análisis 2002-2019 se observó prácticamente un NDVI constante, tanto en el mallín *Franke* (0,4-0,5) como en *Veguitas* (0,3-0,4). En el *lagg* fue de 0,2-0,3, mientras que en la *cabecera de cuenca* se encuentran suelos sin vegetación. Cabe destacar que la mínima fluctuación de los valores se relaciona al mayor aporte de humedad con años de presencia del efecto “El Niño”. Sin embargo, esta tendencia no continuó en el año 2018, donde se observaron reducciones del NDVI en todas las zonas consideradas.

LST. Land Surface Temperature.— En invierno la curva de cero grado de temperatura del suelo demarcó los límites de glaciares de escombros. Esto se observa a partir de superponer las geoformas de glaciares de escombros inventariadas junto a las curvas de 0°C del índice *LST* obtenido. La altura de la isoterma de cero grado del suelo coincide con la curva de nivel de 3.400 m.s.n.m., mientras que la curva de cero grado del aire (estimado a partir de datos de campo y modelos climáticos) se encuentra a 3.700 m.s.n.m. (Tapia Baldis y Trombotto Liudat, 2020).

Inventario de Glaciares.— Los resultados mostraron una clara reducción tanto en el área cubierta de glaciares como de su número de unidades. Con respecto al área, la diferencia encontrada entre el inventario del 2015 al 2019 fue de 0,46 ha. Mientras que entre el año 2010 al 2019 la diferencia fue de 1,47 ha. Las geoformas que mayormente se redujeron fueron los manchones de nieve, glaciaretos y pequeños glaciares. Los glaciares cubiertos con detrito han ganado superficie sobre los glaciares descubiertos, mientras que los glaciares de escombros y prótalus lógicamente no mostraron variaciones en las superficies de detrito.

DISCUSIÓN

Los mallines de altura de los Andes se encuentran en el límite inferior del piso altitudinal periglacial y en el llamado parageocriogénico por Corte (1983). Procesos y formas ya fueron detallados por varios autores en el piso periglacial de los Andes Secos, también su transformación por la variabilidad climática o anomalías de larga duración meteorológica (cf. Trombotto 2000, Trombotto y Ahumada, 2005; Trombotto Liaudat *et al.*, 2020). El piso periglacial con su transición paraperiglacial, y sus componentes geomórficos y paisajísticos están en constante cambio y relación entre sí, su significancia con variabilidad climática depende de la escala temporal que se investigue.

Bustos, en el Aconcagua (1977, 1983), fue pionero en considerar la importancia del permafrost en las geoformas y los importantes procesos criogénicos que afectan el ecosistema andino y que cambian, no solo por variaciones climáticas de gran escala. Procesos periglaciales sin permafrost, Bustos, los hace llegar incluso hasta los 2.500 m de altura, con un nivel que llama “*piso periglacial de intensidad decreciente*” y que correspondería, en parte, a la región para-geocriogénica de Corte (1983, 1997), donde se detecta una fuerte actividad de hielo estacional sobre la vegetación. Los mallines constituyen también parte de esos paisajes en cambio.

Los mallines constituyen ecosistemas muy sensibles a los elementos climáticos como la temperatura y la precipitación y pueden ser usados como geoarchivos en la reconstrucción climática y paleohidrológica, como lo describe Schittek (2014) para el NO de Argentina. Martínez Carretero y Ontivero (2016) analizan la estructura interna del ecosistema vega y sus comunidades vegetales en San Juan y asocian las vegas y sus formas abovedadas a procesos criogénicos. Curiosamente también que, con disminución de agua freática, hay mayores procesos criogénicos y selección criogénica inversa. Sin embargo, la vegetación en cojines, no solo en los mallines, sino fuera de ellos, constituyen una adaptación por excelencia al ecosistema frío y seco de la alta montaña andina. Es con estas formas abovedadas y estructuradas entre vegetación y la parte superior de los suelos de alta montaña, que Corte, como precursor (1953, 1955), mostró los efectos del congelamiento estacional a través de hielo acicular o pipkrake.

En el caso del mallín *Veguitas* (Tablas 3, 4 y 5) la evidencia de un pequeño aumento en su crecimiento o extensión altitudinal y superficial en el periodo 2002-2019 se interpretó como aumento de humedad debido a los efectos del evento El Niño principalmente, ya que estos fenómenos están asociados a mayor precipitación en los Andes Centrales (Marianetti *et al.*, 2018), y al aumento de la TMAA en segundo lugar que favorece la actividad microbiana.

Particularmente, en la Tabla 3 correspondiente a *Veguitas*, se observan años El Niño directamente relacionados con un aumento progresivo de la superficie del mallín. Este proceso se mantuvo en años con sequía (eventos La Niña). Se podría interpretar que el mallín soporta periodos de sequía incipientes y de corta duración. Posteriormente, redujo su área. Por ejemplo, desde el año 2006 al 2010 la superficie en *Veguitas* aumenta 0,2 ha, mientras que luego de 3 años con periodos de menor precipitación la superficie desciende más de la mitad en 2013. Los años 2015-2016

Deducimos que hay una relación directa entre el aumento de humedad y crecimiento del mallín, debido tanto a los eventos El Niño, como también por el calentamiento regional o global. Mayor cantidad de agua subterránea puede generarse por una profundización del descongelamiento de la capa activa de la cuenca superior que está evidenciada en la región (Trombotto Liaudat y Bottegal, 2019). El aumento en la cantidad de agua se origina por una mayor degradación de crioformas con permafrost rico en hielo y por el retroceso y derretimiento de los glaciares en la cabecera de la cuenca que también está evidenciada mediante los inventarios de glaciares de 2010-2015 y 2019. En este sentido el aumento de la temperatura es otro factor que puede generar mejores condiciones para el crecimiento de los mallines, como lo demostraron Schitteck *et al.* (2016) en las vegas de la Puna. Pensamos que el derretimiento de las zonas congeladas contribuye al mantenimiento de la circulación de agua subterránea y a la nueva generación de acuíferos. Cabe mencionar que los glaciares de escombros, aunque delimitados espacialmente, sirven también de excelentes acuíferos (Haeberli, 1985; Corte, 1997; Burger *et al.*, 1999; Trombotto Liaudat *et al.*, 2020) y por eso no es extraño encontrar pequeños lagos y humedales cerca de sus frentes.

El flujo de agua subterránea que proviene de la cabecera de la cuenca o zonas más altas, suele aparecer superficialmente a las alturas de los mallines y colabora con la hidratación de los mismos en sus bases y diferentes espesores en profundidad. Mientras un aumento del agua inunda los mallines favoreciendo su crecimiento. En años secos, por el contrario, afectarían el nivel de agua subterránea, paralizando o debilitando su crecimiento (Sevink y Koopman, 2020).

El *lagg* es otro elemento a tener en cuenta en el análisis de variación de los mallines ya que su desarrollo y expansión son indicadores del crecimiento y dinámica de estos. En su expansión, los contornos de suelo mineral sub-hidratado, y rico en componentes químicos, contribuyen al mayor desarrollo de la vegetación del mallín. La importancia de un ecotono como el *lagg* es fundamental en la protección del mallín ya que colecta el agua de los suelos más altos circundantes y la transfiere lentamente al interior del mallín, generando aporte de humedad en periodos de escasas precipitaciones o sequías incipientes.

Con respecto a las diferencias en la evolución de las dos vegas se puede decir que ambas crecieron en función de mayor disponibilidad de agua proveniente de precipitaciones y de un sistema criosférico de montaña complejo cercano, compuesto de manchones de nieve, glaciares y derretimiento veraniego de la capa activa de toda la cuenca que también alberga glaciares de escombros, en degradación, que se mueve por surgentes y acuíferos. Sin embargo las características geomorfológicas del terreno donde se extiende cada mallín generan diferencias en su desarrollo. Asimismo, el engrosamiento de capa activa detectado por Trombotto Liaudat y Bottegal (2019) en los últimos años es un factor que también contribuye a una mayor cantidad de agua subterránea. En este sentido, la disponibilidad de agua subterránea ha sido abundante. El fenómeno “El Niño” también contribuyó a este aumento.

CONCLUSIÓN

Un inventario preliminar de mallines de altura de Mendoza, en una franja altitudinal mayor a los 3.000 m.s.n.m., fue completado y realizado para iniciar este trabajo. Con una superficie de unos 1.832 ha el ecosistema es considerado como estratégico para ser mantenido y protegido.

La sensibilidad a los cambios de temperatura y humedad de los mallines o vegas de montaña denominados *Veguitas* y *Franke* fue interpretada debido al calentamiento evidenciado en la zona, con degradación de hielo glaciario y periglacial, como derretimiento de zonas o capas congeladas y al aumento de precipitación en ciertos años particulares.

A partir de los registros de TMAA en la zona se reconoce una tendencia al aumento de temperatura media en el periodo 1979-2019 que favorece el crecimiento de la vegetación en los mallines y con condiciones más favorables para su sobrevida.

Conforme a los datos recabados se puede concluir que los periodos de aumento de humedad en conjunto con el aumento de la temperatura media anual del aire son factores que contribuyen a generar cambios positivos en ambos mallines. Procesos fisiológicos de la vegetación ocurren más rápidamente conforme exista un aumento de temperaturas favorables para las plantas (reducción de heladas, aumentos de temperaturas mínimas), también favorece la actividad microbiana. El aumento de precipitación permite el desarrollo de suelos hidromórficos necesarios para el desarrollo de mallines.

En relación a la humedad, los monitoreos realizados a partir de los totalizadores de precipitación propios y datos de estaciones meteorológicas institucionales, indican un aumento en la precipitación en el periodo 1979-2019, con periodos alternados de eventos El Niño/La Niña. En los periodos El Niño se registran mayores precipitaciones tanto en forma de lluvia como de nieve lo cual posee relación directa con la extensión de superficie del mallín. Mientras que en los periodos La Niña las condiciones son opuestas. El decrecimiento de la superficie ocupada por glaciares, y manchones de nieve, observado a partir del inventario en el periodo 2010-2019, contribuye a los cambios de humedad detectados. Las variaciones de hidratación detectadas en los humedales están asociadas a una mayor disponibilidad y aporte de agua subterránea a la zona. La variabilidad de precipitaciones se refleja en el crecimiento superficial de ambos mallines, y la temperatura contribuiría a generar mejores condiciones para la sobrevida de la vegetación generando menor presencia de heladas y aumentando el derretimiento de manchones de hielo y descongelamiento de la capa activa, lo que podría generar cambios en la variedad de la vegetación presente en el mallín.

La variabilidad en la dinámica de crecimiento de los mallines promueve a realizar mayores estudios y el monitoreo de los mismos, u otros, ya que serían buenos indicadores para reconstruir lapsos de tiempo sin datos meteorológicos.

A futuro esperamos realizar estudios más profundos que impliquen análisis hidroquímico del agua, humedad, temperatura y contenido químico del suelo, composición de la vegetación, productividad biológica. También será importante poder establecer una relación entre degradación del ambiente glaciario y periglacial con los mallines a fin de poder completar su modelo de funcionamiento.

La importante superficie que cubren los mallines, y los espacios donde se encuentran, son interesantes para ser estudiados en el futuro, ya que los mallines son buenos indicadores de degradación ambiental y expresan señales ante la variabilidad climática debido a su alta sensibilidad a cambios de temperatura y humedad. Sumado a ello muchas economías regionales dependen de los mallines en zonas de montaña para pastoreo del ganado y atractivos turísticos. Consideramos que un inventario más detallado de los mallines de altura, junto con estudios particularizados para conocer su dinámica en diversos puntos de la provincia de Mendoza, podrán aportar mayor y mejor información para poder realizar un correcto manejo de este recurso

BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosetti J., Del Vito L. y Roig F. 1986. La vegetación del Paso de Uspallata, Provincia de Mendoza, Argentina. *Veröff. Geobot. Inst. ETH. Stiftung Rubel Zürich*. 91: 141-180.
- Boelke O., Moore, D.M. y Roig, F.A. (Eds).1985. *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. Instituto Salesiano de Artes Gráficas, 733 p, Buenos Aires.
- Burger, K.C., Degenhardt, J.J. y Giardino, J.R. 1999. Engineering geomorphology of rock glaciers. *Geomorphology* 31: 93-132.
- Bustos, R. 1977. *Le Massif de l'Aconcagua*. Université de Bordeaux, Francia.
- Bustos, R. 1983. El Periglacial de Alta Montaña. Reflexiones en torno a la zonificación en altitud. Macizo de Aconcagua. *Acta Geocriogénica* .1: 39-47, Mendoza.
- Corte, A. 1953. Contribución a la Morfología Periglacial de la Alta Cordillera con especial mención del Aspecto Criopedológico. *Anales del Departamento de Investigaciones Científicas*, Tomo I, (II), 1-54, Mendoza.
- Corte, A. 1955. El congelamiento del suelo y la distribución circular de *Deyeuxia chrysostachia* dentro de la zona de procesos criopedológicos en la Alta Cordillera de Mendoza, Argentina. *Revista Argentina de Agronomía* 22 (3): 121-133.
- Corte, A. 1983. Los conceptos: geocriogénico parageocriogénico y glacial-paraglacial en los Andes Centrales de Argentina, latitud 30°. *Acta Geocriogénica* 1: 48-61, Mendoza.
- Corte, A.E. 1997. *Geocriología. El Frío en la Tierra*. Ediciones Culturales de Mendoza. Fundar Editorial Gráfica, Mendoza, 398 p.
- Garleff, K. 1977. Höhenstufen der argentinischen Anden in Cuyo, Patagonien und Feuerland. *Göttinger Geographische Abhandlungen* (68), 150 p., Göttingen.
- Gottlich, Kh. (Hrsg.) 1990. *Moor und Torfkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller): 529 p., Stuttgart.
- Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH, Nr. 77: 142 p., Zürich.
- Heredia N., Farias P., García-Sanseguno J. y Giambiagi L. 2012. The Basement of the Andean Frontal Cordillera in the Cordón del Plata (Mendoza, Argentina): Geodynamic Evolution. *Andean Geology* 39 (2): 242-257.

- Hernández, J., Marcosig, I. y Trombotto, D. 2015. La recolección y medición de la precipitación en los ambientes fríos de la cordillera de los Andes. *Acta Geológica Lilloana* 27: 159- 162, San Miguel de Tucumán.
- Howie, S.y van Meerveld, I. 2011. The Essential Role of the Lagg in raised bog function and restoration: A review. *Wetlands* 31: 613-622. DOI: 10.1007/s13157-011-0168-5
- IANIGLA, Inventario Nacional de Glaciares. 2018. *Informe de las subcuencas de los ríos Blancos y Sector del Cordón del Plata. Cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 66 p.
- Izquierdo, A., Foguet, J.y Grau, R. 2016. “Hidroecosistemas” de la Puna y Altos Andes de Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 28 (2): 390-402.
- Kuhry, P., Pascual Descarrega, D., Raudina, T., Makopoulou, E., Pecker Marcosig, I.y Trombotto Liaudat, D. 2018. Soil organic carbon stocks in alpine permafrost terrain The Altai (Russia) and Andes (Argentina) Mountains. *Carbon Cycling and Climate Interactions, Lucci Conference Lund*.
- LANDSAT Product Guide. 2017 https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/si_product_guide.pdf
- Martínez Carretero, E. y Ontivero, M. 2016. Vegas. Ecosistema altoandino de importancia biológica, ecológica y socio-económica. En Martínez Carretero, E. y García, A. eds. *San Juan Ambiental*. 200-213. San Juan: Ed. UNSJ.
- Makopoulou, E .2018. *Periglacial and glacial landform mapping in the Las Veguitas catchment, Cordillera Frontal of the Andes (Argentina)*. MSc thesis in Physical Geography and Quaternary Geology, University of Stockholm, Suecia, 53 p.
- Marianetti, G., Hinrichs, S. y Rivera, J. 2018. Cuando el río suena: análisis de los períodos de caudales extremos en los ríos de los Andes centrales de Argentina. 2: 195-197.
- Méndez, E. 1986. Observaciones sobre la flora adventicia de cultivos hortícolas en la provincia de Mendoza. *Parodiiana* 6: 197-209, Buenos Aires.
- Méndez, E. 2004. La vegetación de los Altos Andes I. Pisos de vegetación del flanco oriental Del Cordón del Plata (Mendoza, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 39: 227-253.
- Méndez, E. 2007. La vegetación de los Altos Andes II. Pisos de vegetación del flanco oriental Del Cordón del Plata (Mendoza, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 39: 227-253.
- Moreiras S.M., Páez M.S., Lauro C. y Jeanneret P. 2016. First cosmogenic ages for glacial deposits from the Plata range (33°S): new inferences for quaternary landscape evolution in the Central Andes. *Quaternary International*; 438: 50-64.
- Ontivero, M. 2015. *Caracterización biofísica de vegas de los altos andes centrales de Argentina*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba. 171 p.
- Roivainen, H. 1954. Studien über die Moore Feuerlands. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae, Vanamo*, Tomo 28 (2): 205 p.
- Ruthsatz, B. 2008. Hartpolstermoore der Hochanden NWArgentiniens als Indikatoren für Klimagradien. *Mitt. Arbgem. Geobot. Schleswig-Holstein* 65: 209-238.
- Ruthsatz, B. 2012. Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia* 42 (3):133-179. DOI: 10.1127/0340-269X/2012/0042-0535

- Schitteck, K. 2014. Cushion peatlands in the high Andes of northwestern Argentina as archives for palaeoenvironmental research. *Dissertationes Botanicae Band 411*, Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 176 p.
- Schitteck, K., Kock, S., Lucke, A., Hense, J., Ohlendorf, C., Kulemeyer, J., Lupo, L. y Schäbitz, F. 2016. A high-altitude peatland record of environmental changes in the NW Argentine Andes (24°S) over the last 2100 years. *Climate of the Past* 12(5):1165-1180. DOI: 10.5194/cp-12-1165-2016.
- Sevink, J., y Koopman, S. 2020. Maximum Holocene groundwater levels and associated extension of peat in the border zone of ‘Het Gooi’ (Netherlands): a reconstruction based on the study of soil transects. *Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences*, 99, [e7]. <https://doi.org/10.1017/njg.2020.7>
- Sileo, N., 2019. *Estudio del comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas y superficiales relacionadas con glaciares, glaciares cubiertos y glaciares de escombros, en la cuenca del río Vallecitos, Cordillera Frontal, Mendoza*. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.
- Sileo, N., Trombotto, D. y Dapeña, C. 2015. Estudios preliminares del agua, nieve y hielo del río Vallecitos, Mendoza, Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 27 (2), 130-145.
- Sileo, N., Trombotto, D., Dapeña, C., Bodin, X., Marcosig, I. y Taboada, N. 2016. Preliminary studies of water, snow and ice in the Quebrada del Medio, Hans Stepanek rock glacier, Mendoza, Argentina. *International Conference on Permafrost*, Postdam. 1039-1040. (DOI: 10.2312/GFZ.LIS.2016.001)
- Strahler, A. 1952. Dynamic Basis of Geomorphology. *Geological Society of America Bulletin* 63: 923-938. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)
- Tapia Baldis, C., Trombotto Liaudat, D. y Ahumada, A.L. 2019. Ambiente Periglacial y Regiones Geocriológicas en los Andes de San Juan (28-33° S Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76 (1): 693-710.
- Tapia Baldis, C. y Trombotto Liaudat, D. 2020. Permafrost debris-model in Central Andes of Argentina (28-33° S). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 46, <http://doi.org/10.18172/cig.3802>
- Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der ‘Lagunita del Plata’, Mendoza, Argentinien. (“Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la ‘Lagunita del Plata’, Mendoza, Argentina”). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg.
- Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J. 1997. Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes* 8: 123-129, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.
- Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J. 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes (approx. 33-34° S), Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische. Schriften* 19: 145-173.
- Trombotto, D. 2000. Survey of cryogenic processes, periglacial forms and permafrost conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico* 21 (1/2):33-55. São Paulo, Brasil.

- Trombotto, D. T. A. y Ahumada, A. L. 2005. Los fenómenos periglaciales. Identificación, determinación y aplicación. *Opera Lilloana* 45, 131 p.
- Trombotto, D. y 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, Elsevier, The Netherlands.
- Trombotto Liaudat, D., Wainstein, P. y Arenson, L.U. 2014. "Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana" / "Terminological Guide of the South American Geocryology". Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, 127 pp.
- Trombotto Liaudat, D. y Bottegal, E. 2019. Evolution of the active layer in a rock glacier of the Central Andes, Mendoza, Argentina, since 2008 and its relation with the kinematics of the last years. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 46 (1): 131-185
- Trombotto Liaudat D., Sileo, N. y Dapeña, C. 2020. Periglacial water paths within a rock glacier dominated catchment in the Stepanek area, Central Andes, Mendoza, Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*. <http://doi.org/10.1002/ppp.2044>
- Wayne, W. y Corte, A. 1983. Multiple glaciations of the Cordón del Plata, Mendoza, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 42: 185-209.
- Wingenroth, M. 1992. *La Quebrada Benjamín Matienzo, su naturaleza presente y pasada*. Tesis doctoral, Imprenta Oficial: 143 p., Mendoza.
- Wingenroth, M. 2012. Ecosistemas presentes y pasados en la quebrada Benjamín Matienzo (32°35' – 32°50' S. y 70°06' O.), Cordillera de los Andes, Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (3): 436-456, Buenos Aires.
- Yang, Z., Gao, J., Zhao, L., Xu, X. y Ouyang, H. 2013. Linking thaw depth with soil moisture and plant community composition: effects of permafrost degradation on alpine ecosystems on the Qinghai-Tibet Plateau. *Plant Soil* 367: 687-700. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1511-1>