



SITIOS INTERÉS GEOLOGICO

de la República Argentina

EL MONTE TRONADOR

Historias de hielo y fuego

Gustavo Villarosa¹, Valeria Outes¹, Mariano Masiokas², Ricardo Villalba² y Sonia Rivas³



Anales 46 | Buenos Aires 2008



Sitios de Interés Geológico de la República Argentina

EDITOR

Comisión Sitios de Interés Geológico de la República Argentina (CSIGA):
Gabriela Anselmi, Alberto Ardolino, Alicia Echevarría, Mariela Etcheverría, Mario Franchi,
Silvia Lagorio, Hebe Lema, Fernando Miranda y Claudia Negro

COORDINACIÓN

Alberto Ardolino y Hebe Lema

DISEÑO EDITORIAL

Daniel Rastelli

Referencia bibliográfica

Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. CSIGA (Ed.) Instituto
de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino,
Anales 46, II, 461 págs., Buenos Aires. 2008.

ISSN 0328-2325

Es propiedad del SEGEMAR • Prohibida su reproducción
Publicado con la colaboración de la Fundación Empremin



INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y
RECURSOS
MINERALES

Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 14 - 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 25 - 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina

www.segemar.gov.ar | comunicacion@segemar.gov.ar | csiga@segemar.gov.ar

BUENOS AIRES - 2008

Gustavo Villarosa¹, Valeria Outes¹, Mariano Masiokas², Ricardo Villalba² y Sonia Rivas³

■ RESUMEN

El monte Tronador, ubicado dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi y en el límite con Chile, es un antiguo volcán degradado por la importante acción erosiva de los glaciares. Su cumbre principal se eleva 3.478 metros sobre el nivel del mar y gran parte de la porción superior del volcán se halla cubierta por un espeso casquete de hielo permanente, que funciona como centro colectivo de alimentación para varios glaciares, cuatro de ellos en territorio argentino. El origen del Tronador se relaciona con la intensa actividad volcánica que, asociada a los procesos de formación de los Andes, se desarrolló en este ambiente durante el Pleistoceno, comenzando hace 1,3 millones de años, y finalizando hace aproximadamente 340.000 años. Además de su innegable valor paisajístico, Tronador es un sitio ideal para realizar estudios científicos sobre la historia volcánica y establecer reconstrucciones climáticas basadas en los registros y evidencias de las neoglaciaciones. Por su importancia turística y económica, los glaciares y los escenarios naturales que ellos han creado y modelado representan uno de los atractivos más valiosos de la región. El área del Tronador es una de las más visitadas del parque nacional, debido a su imponencia, facilidad de acceso, disponibilidad de múltiples actividades recreativas y una infraestructura turística poco frecuente en Sudamérica.

■ ABSTRACT

Monte Tronador, located in the Nahuel Huapi National Park and on the border with Chile, is an old volcano which was degraded by intensive glacial erosion. Its main summit is 3,478 meters above sea level and most of the upper part of the volcano is covered by a thick permanent cap of ice which is the source-area for several glaciers, four of which are in Argentine territory. Tronador was formed during the Pleistocene, between 1.3 million years ago and about 340,000 years ago, and its origins are related to intense volcanic activity associated with the processes of formation of the Andes. Apart from its undeniable landscape value, Tronador is an ideal place to carry out scientific studies about the volcanic history and to establish climate reconstructions based on the records and evidence of the young glaciations. Due to their tourist and economic importance, the glaciers and the natural scenery that they have created and modelled represent one of the most valuable attractions of the region. Tronador is one of the most visited areas of the national park due to its impressive aspect, easy access, wide range of recreational activities, and its tourist infrastructure which is not very common in South America.

INTRODUCCIÓN

El monte Tronador está ubicado en el Parque Nacional Nahuel Huapi, sobre el límite internacional argentino-chileno. Este Parque en particular y el Tronador, son lugares relevantes en la Patagonia andina, tanto desde el punto de vista geográfico como en lo histórico, cultural y científico (Figura 1). Con sus 3.478 metros sobre el nivel del mar, el Tronador es un antiguo y gran cono volcánico degradado por la acción de los hielos glaciares. El crecimiento de este volcán se produjo por la superposición de sucesivos depósitos de materiales volcánicos eyectados y

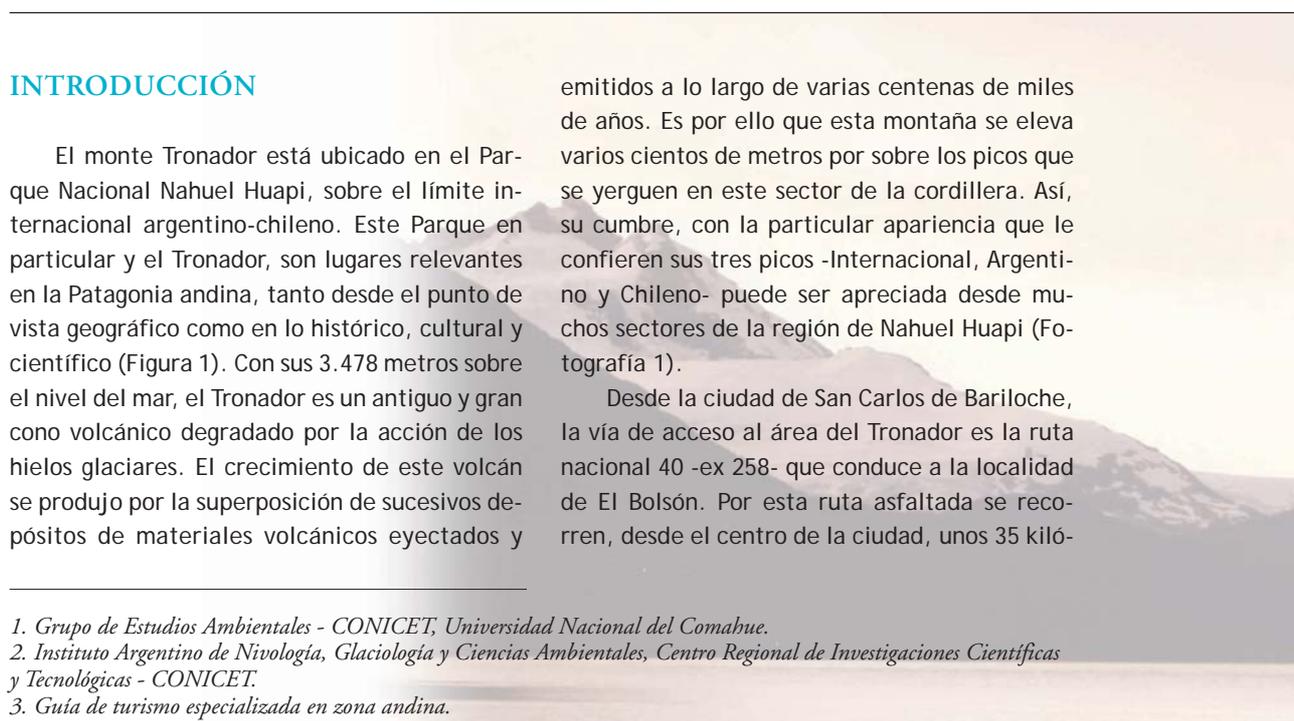
emitidos a lo largo de varias centenas de miles de años. Es por ello que esta montaña se eleva varios cientos de metros por sobre los picos que se yerguen en este sector de la cordillera. Así, su cumbre, con la particular apariencia que le confieren sus tres picos -Internacional, Argentino y Chileno- puede ser apreciada desde muchos sectores de la región de Nahuel Huapi (Fotografía 1).

Desde la ciudad de San Carlos de Bariloche, la vía de acceso al área del Tronador es la ruta nacional 40 -ex 258- que conduce a la localidad de El Bolsón. Por esta ruta asfaltada se recorren, desde el centro de la ciudad, unos 35 kiló-

1. Grupo de Estudios Ambientales - CONICET, Universidad Nacional del Comahue.

2. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas - CONICET.

3. Guía de turismo especializada en zona andina.



metros que bordean las costas de los lagos Gutiérrez y Mascardi; poco después de Villa Mascardi se toma el desvío hacia el oeste que conduce a Los Rápidos del río Manso y a la cascada de Los Alerces (ruta provincial 81). Al llegar al paraje Los Rápidos se debe tomar la bifurcación a la derecha, cruzando el puente sobre el río Manso con dirección al norte. Deben transitarse unos 40 kilómetros de camino de tierra y ripio -apto para todo tipo de vehículos- desde el desvío de la ruta nacional 40 para llegar a Pampa Linda, punto de partida para numerosas excursiones en la región del monte Tronador.

ANTECEDENTES DE ESTUDIOS EN EL ÁREA

Las primeras menciones escritas referidas al Tronador se adjudican al jesuita Miguel de Olivares, quien ya a principios del siglo XVIII había señalado la naturaleza volcánica del cerro y el carácter permanente de su cobertura nívea. En relación a su geología, los primeros aportes a

la literatura científica son las observaciones realizadas por Steffen en 1909, a las que, durante fines del siglo XIX y principios del XX, les sucedieron varios trabajos de índole regional.

Años más tarde, diversas crónicas y mapas del Club Andino Bariloche registraron los detalles de varias expediciones cuyos datos contribuyeron al conocimiento geográfico del área.

El primer mapa geológico de la región fue elaborado por Ljungner (1931) y en la década del 40 se editaron las primeras Hojas Geológicas de la región.

Posteriormente, surgieron trabajos tales como la descripción geológica de la Hoja 40a, Monte Tronador (Greco, 1975) y el estudio de la cuenca del río Manso (González Bonorino, 1976), que incorporó un mapa geológico de detalle. Más recientemente, Giacosa y Heredia (2001) elaboraron la Hoja Geológica San Carlos de Bariloche.

Esta región también ha sido objeto de detallados estudios geomorfológicos y de la geología del período Cuaternario. Sin duda, el trabajo del sueco Carl Caldenius (1932), «Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego», sentó las bases del conocimiento de la geología glacial en los Andes Patagónicos. A este trabajo se sumaron otras importantes contribuciones, como las de Flint y Fidalgo (1968) y Auer (1950) este último pionero en el estudio de niveles de cenizas volcánicas postglaciales en la región.

El tomo XIV de los Anales de Parques Nacionales reúne una serie de artículos sobre el Parque Nacional Nahuel Huapi con valiosos aportes en relación a los glaciares que coronan al Tronador en territorio argentino. Otros trabajos de interés son aquellos vinculados a las glaciaciones del Cuaternario y a estudios paleoclimáticos basados en evidencias geomorfológicas, paleolimnológicas, palinológicas y dendrocronológicas (Rabassa y Clapperton, 1990; Villalba y otros autores, 1990 y 2003; entre otros).

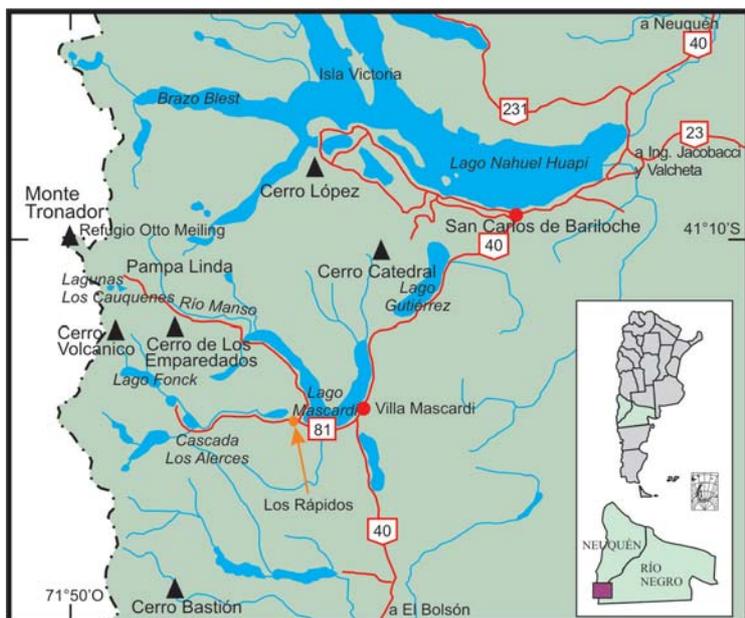


Figura 1. Mapa de ubicación del monte Tronador (Dibujo CSIGA).



Fotografía 1. El Tronador domina sobre las elevaciones de esta región (Fotografía por Fernando Miranda).

«UN FRAGOR COMO UN TRUENO MUI RECIO»

El nombre de Tronador se atribuye al «tronar» que producen las grandes masas de hielo que se desploman por los acantilados que rodean parte del cerro y que puede ser oído desde grandes distancias. Según la creencia indígena, esos ruidos se producían cuando los viajeros transitaban por sus dominios, alertándolos de la intromisión, lo que hizo creer a los europeos que el cerro era habitado por algún demonio. «Un fragor como un trueno mui recio»: así describió el jesuita Miguel de Olivares a los sonidos producto de la caída del hielo.

LAS ROCAS DE LA REGIÓN

Las rocas más antiguas expuestas en el sector cordillerano aledaño al Tronador son metamorfitas y granitoides de 727 y 538 millones de años, respectivamente, que en conjunto integran el denominado Complejo Colohuincul.

En el cerro Bastión (Figura 1) se halla expuesto el Complejo Volcánico-Sedimentario Cordillerano, que incluye diferentes tipos de rocas que se formaron a principios y mediados del período Jurásico en un ambiente de características marinas a litorales. Durante el período Cretácico - en profundidad- se produjeron ascensos de magmas (Figura 2) que intruyeron a esta unidad y al solidificarse conformaron cuerpos graníticos, que son parte del Batolito Patagónico Cordillerano. Actualmente ascendidas y expuestas en superficie,

las rocas del Batolito Patagónico Cordillerano constituyen la mayoría de las altas cumbres del sector andino. En los alrededores del monte Tronador puede verse como esas rocas graníticas fueron a su vez intruidas por otros granitoides más jóvenes de edad neógena (15 millones de años), los que reciben el nombre de Formación Coluco. Estos cuerpos de granitos aparecen en la cúspide del cerro López, en la parte más alta del cerro Catedral -donde conforman las típicas agujas que le dan nombre- y en la base del sector sur del Tronador.

La actividad volcánica en el área del monte Tronador alternó erupciones efusivas que produjeron coladas de lava y episodios explosivos que originaron rocas piroclásticas -formadas por fragmentos de material volcánico- las que, al depositarse sobre la superficie, cubrieron a las unidades geológicas más antiguas. A esto se sumaron depósitos de grandes flujos (lahares) que, como consecuencia del derretimiento de nieve y hielo, se desparramaron desde las cumbres del volcán. Este estilo eruptivo, típico de volcanes estratificados, dio origen a un gran espesor de rocas que se agrupan bajo la denominación de Formación Tronador (Fotografía 2), cuya descripción e historia abordaremos en los párrafos siguientes.

HISTORIAS DE FUEGO

Los volcanes

La mayor parte de la actividad volcánica de nuestro planeta se concentra en una faja estrecha situada alrededor del Océano Pacífico, a lo



Fotografía 2. La Formación Tronador (color oscuro) posee un gran espesor y se apoya sobre granitoides del Batolito Patagónico Cordillerano (color claro) y rocas del Complejo Volcánico-Sedimentario Mesozoico. También se observa el glaciar Alerce (mediados de los 90) y el pequeño lago proglacial (Fotografía www.tronador.com).

largo de la cual se sitúan la mayoría de los volcanes activos del mundo. Este sector, conocido como Cinturón de Fuego del Pacífico, es producto del ascenso de magmas originados a partir del fenómeno de subducción (Figura 2). Estas extensas y delgadas fajas con volcanismo que bordean márgenes de placas convergentes son conocidas como «arcos volcánicos» y se asocian a grandes cadenas montañosas como los Andes.

En Sudamérica, el arco volcánico activo es uno de los resultados de la subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental Sudamericana (Figura 2). Parte de este arco, denominado Zona Volcánica Sur, se extiende entre los 33° y los 46° de latitud sur e incluye al menos 60 volcanes con actividad histórica o potencialmente activos, tanto en territorio argentino como chileno. El Tronador se ubica en el sector más austral de la región central de esta zona volcánica.

La historia del Tronador

El monte Tronador, formado por la superposición de coladas y niveles piroclásticos, es un estratovolcán que se desarrolló durante un período de intensa actividad volcánica acontecido en la región durante el Plioceno-Pleistoceno. Esto indica que para esos tiempos y a estas latitudes, el arco volcánico activo se ubicaba en ese sector. Posteriormente, hace aproximadamente 340.000 años, este arco migró hacia el oeste originando una serie de nuevos volcanes activos que se encuentran hoy en territorio chileno (Osorno, Calbuco y Puyehue), desactivándose el volcanismo en el Tronador.

La historia volcánica del Tronador se halla expuesta a lo largo de más de 2.000 metros de espesor en las rocas de la Formación Tronador (Greco, 1975), dentro de la cual se han distinguido tres unidades principales (Mella y otros, 2005).

La primera de ellas aflora en la sección basal del monte Tronador, es denominada Unidad Garganta del Diablo y se depositó directamente sobre el basamento pre-volcánico. Está constituida por rocas volcánicas entre las que se distinguen brechas, piroclastitas y coladas dacíticas de color castaño claro, que frecuentemente presentan disyunción columnar (Fotografía 3).

Estas rocas se originaron durante las erupciones iniciales, hace aproximadamente 1,35 millones de años y cubrieron un relieve previamente labrado por el hielo, en el que los valles principales actuales (como el del río Manso superior) ya existían. Esta unidad está bien expuesta en el área de la Garganta del Diablo y en gran parte del umbral vertical que se encuentra por debajo del glaciar del Manso, desde donde se produce la caída de hielo que da origen al Ventisquero Negro.

Otra de las unidades, el Complejo Volcánico Steffen, está formada por tobas, coladas de balsaltos olivínicos y basandesitas y por depósitos laháricos y de flujos piroclásticos, que se encuentran a pocos kilómetros al sur del cerro Tronador, al noroeste del lago Fonk Grande, en los alrededores del cerro Volcánico y en el sector de las lagunas Los Cauquenes. Estas rocas corresponden a eventos volcánicos ocurridos en el Pleistoceno inferior y serían de edad similar a la Unidad Garganta del Diablo.

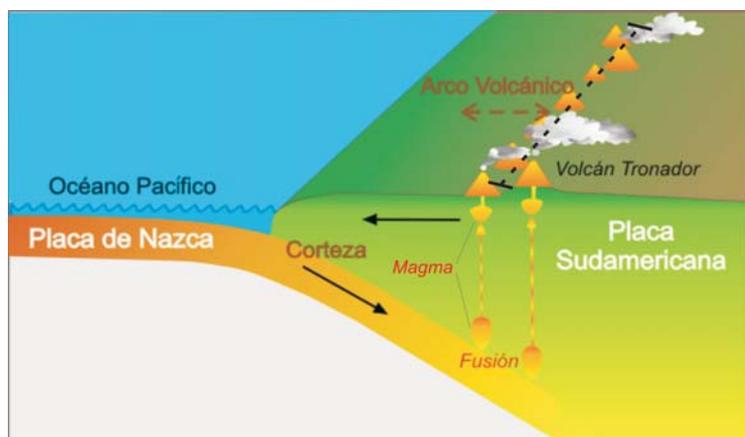


Figura 2. El fenómeno de subducción ocurre cuando dos placas de corteza se mueven en direcciones convergentes y una de ellas se desliza por debajo de la otra. Al hundirse hacia niveles profundos, el aumento de la temperatura y presión, sumado a la presencia de fluidos, provoca la fusión de parte del material rocoso, dando origen a los magmas, que pueden permanecer y/o cristalizar en profundidad, o ascender y originar volcanes cuando alcanzan la superficie.



Fotografía 3. Vista de «La Biblioteca» en el cerro de los Emparedados. El lugar es conocido de esa manera debido a que su aspecto se asemeja a un conjunto de libros ordenados en un estante. Esta apariencia, conocida como «disyunción columnar», se debe al agrietamiento vertical de los mantos de lavas producto de la contracción durante su enfriamiento. Estas fracturas se desarrollan con frecuencia en las coladas basálticas.

Finalmente, la unidad Complejo Volcánico Tronador conforma el cuerpo principal del cono del estratovolcán, que se eleva sobre las unidades anteriores. Está formada por un conjunto de coladas basálticas a andesíticas, tobas, depósitos de lahares y de flujos piroclásticos (Fotografía 4) y profusos niveles correspondientes a hialoclastitas y a oleadas piroclásticas que sugieren la existencia de erupciones subglaciales. Algunas de éstas se pueden observar en los alrededores del refugio Otto Meiling. Edades radimétricas que van desde los 530.000 hasta los 340.000 años ubican a este complejo en el Pleistoceno medio.

A partir de ese momento la actividad volcánica en el área se interrumpió, registrándose solamente una erupción muy posterior que originó al cerro Volcánico, ubicado al sur del monte Tronador (Fotografía 5). Este cerro alcanza los 1.800 metros de altitud y se halla formado esencialmente por acumulación de fragmentos piroclásticos (cono piroclástico) asociados a la erupción de una colada andesítica. A pesar de la frágil naturaleza de estas acumulaciones, el cono presenta un buen estado de preservación, razón por la cual se le asigna una edad post-glacial, probablemente holocena (menor a 11.500 años).

Actualmente, el volcanismo explosivo que acontece en el arco volcánico activo ejerce una marcada influencia al este de los Andes en estas

latitudes. Los vientos dominantes del oeste arrastran las plumas volcánicas originadas en los volcanes chilenos hacia territorio argentino. Así, los suelos sobre los que se asientan los maravillosos bosques del entorno del Tronador se han desarrollado en gran medida a partir de sucesivas caídas de cenizas volcánicas. Muchas de ellas pueden observarse en perfiles de suelo, cortes de ruta y especialmente en mallines y sedimentos lacustres de la zona. El estudio de estos niveles permite determinar que, luego del retiro de las grandes lenguas de hielo que cubrieron la zona, ocurrieron alrededor de 50 episodios de caída de cenizas en la cuenca del lago Mascardi, en su mayoría originados en el volcán Osorno (Villarosa y otros, 2002) y un número algo menor en la cuenca del lago Nahuel Huapi (Villarosa y otros, 2006).

HISTORIAS DE HIELO

El crecimiento del volcán Tronador lo convirtió en la cima dominante en la región, superando en varios cientos de metros a las montañas circundantes. Su cumbre se situó muy por encima de la línea de nieves permanentes, especialmente durante las glaciaciones cuaternarias. La acumulación de nieve constituyó un centro de alimentación colectivo a partir del cual descendían grandes masas de hielo que se extendieron hacia ambos lados de la cordillera (Fotografía 6). Estas masas de hielo se internaban hacia el oeste hasta alcanzar el Océano Pacífico en el sector del seno de Reloncaví, y en Argentina lo hacían a lo largo de los grandes valles hoy ocupados por lagos y ríos que drenan hacia el Atlántico y el Pacífico.

Monte Tronador: los glaciares argentinos

La cima del monte Tronador tiene una gruesa cubierta de hielo permanente de la que des-



Fotografía 4. Depósitos de flujos piroclásticos en los alrededores del refugio Otto Meiling (Fotografía por Patricia Sruoga).



Fotografía 5. El cerro Volcánico visto desde el norte (izquierda). Aspecto del cono piroclástico del cerro Volcánico (derecha). (Fotografías por Patricia Sruoga y Fernando Miranda).





Fotografía 6. La porción superior del monte Tronador funciona como un centro de alimentación nivea del cual, actualmente, descienden varias lenguas de hielo (Fotografía por Fernando Miranda).

cienden numerosos glaciares con variadas características. Los principales glaciares del lado argentino son: el Río Manso, el Castaño Overo, el Alerce y el Frías (Figura 3). Estos glaciares se extienden desde su centro de acumulación común hasta sectores ubicados por debajo de la línea de nieves permanentes, llegando sus frentes a cotas entre los 900 y 1.400 metros.

El glaciar Río Manso, el más extenso y de mayor volumen, tiene una imponente lengua de hielo de casi 5 kilómetros que es interrumpida por un abrupto precipicio de centenares de metros de altura. Frecuentes desprendimientos y avalanchas acumulan al pie de este precipicio hielo y detritos que dan origen a lo que se denomina un glaciar regenerado, el *Ventisquero Negro* (Figura 4). Este ventisquero debe su nombre a la importante carga de fragmentos rocosos erosionados que le confieren su color oscuro y que toma por sorpresa a los visitantes distraídos, quienes consideran que se trata de grandes acumulaciones de «tierra».

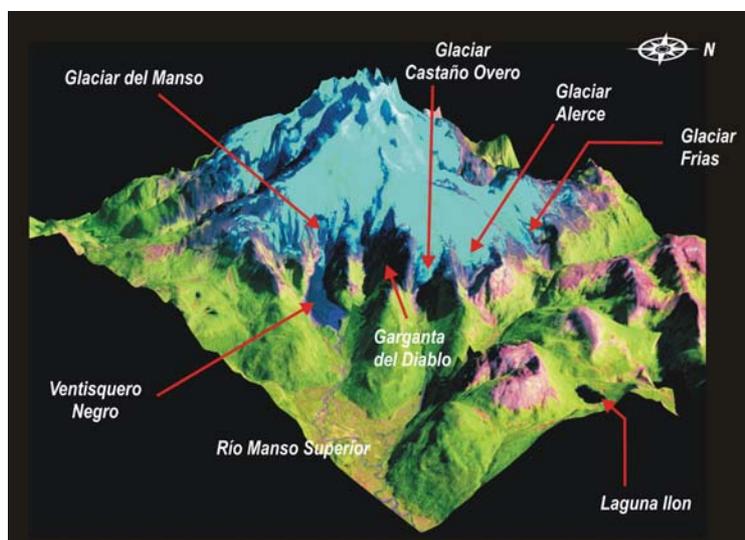


Figura 3. Vista en tres dimensiones (3D) del monte Tronador y ubicación de los glaciares en territorio argentino.

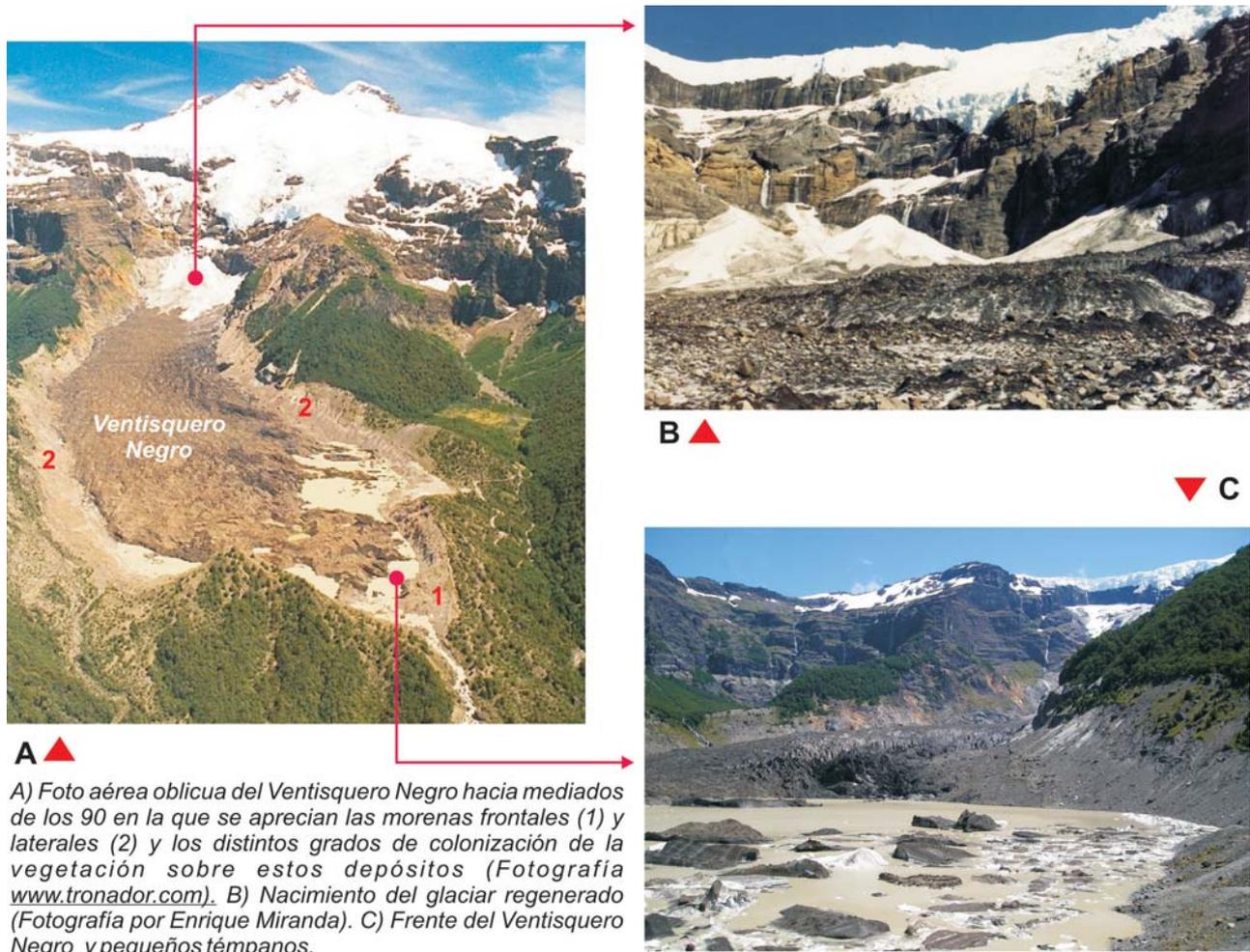
El glaciar Castaño Overo, inmediatamente al norte del glaciar Río Manso, posee una cuenca de alimentación algo más pequeña, lo que determina que su tamaño sea más reducido. Por su parte, el glaciar Alerce (Fotografía 2) presenta un desarrollo aún menor. Estos tres glaciares (Manso, Castaño Overo y Alerce) pertenecen a la cuenca del río Manso superior que desagua en el lago Mascardi y que luego, a través del río Manso inferior, llega al Océano Pacífico.

El glaciar Frías es el más septentrional de los glaciares argentinos del Tronador y posee una lengua continua que no se encuentra interrumpida por desniveles topográficos de importancia. Este glaciar drena el flanco nordeste del Tronador a través del lago y río homónimos, los cuales descargan sus aguas en el Brazo Blest y a través de los ríos Limay y Negro conducen sus aguas de deshielo al Atlántico.

El hielo, idas y venidas

Los glaciares se encuentran entre los elementos más bellos y fascinantes de la naturaleza y si bien a primera vista parecen estáticos, están en permanente movimiento. El estudio de sus avances y retrocesos a través del tiempo puede resultar de gran ayuda para reconstruir la historia de cambios climáticos a largo plazo, que pueden abarcar centurias o incluso milenios.

Las particulares características físicas y ambientales de los Andes Patagónicos, y del monte Tronador en especial, determinan que la zona posea un altísimo potencial para estudios glaciológicos y paleoclimáticos. La densa cobertura forestal asociada a depósitos glaciarios recientes, conjuntamente con la presencia de lagos, ríos y turberas entre las principales geoformas, crean inmejorables condiciones para analizar las variaciones ambientales pasadas y presentes en la región.



A ▲
 A) Foto aérea oblicua del Ventisquero Negro hacia mediados de los 90 en la que se aprecian las morenas frontales (1) y laterales (2) y los distintos grados de colonización de la vegetación sobre estos depósitos (Fotografía www.tronador.com). B) Nacimiento del glaciar regenerado (Fotografía por Enrique Miranda). C) Frente del Ventisquero Negro y pequeños témpanos.

Figura 4. Ventisquero Negro.

Métodos utilizados para estimar las fluctuaciones glaciarias

Los glaciares han aumentado y disminuido en tamaño a lo largo del Cuaternario, como respuesta a las importantes variaciones climáticas ocurridas en este período. Así, han ocupado distintos ambientes y modificado el paisaje, dejando como testimonio de su paso formas erosivas y depósitos (morenas) que a menudo son fácilmente reconocibles. En muchos casos la fecha de formación de estos depósitos puede ser estimada a través de varios métodos. Entre los más utilizados se encuentran el análisis y datación de anillos de crecimiento de árboles y/o turberas asociados a los depósitos glaciarios, y también el estudio de registros de polen, de depósitos lacustres estratificados y de cenizas volcánicas.

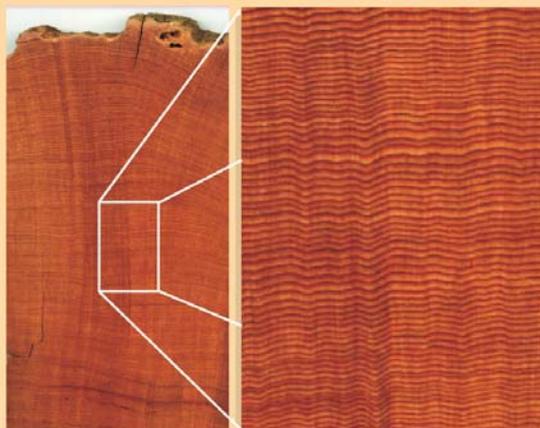
La técnica más utilizada hasta la fecha para el estudio de las fluctuaciones recientes de los glaciares del monte Tronador es la dendroglaciología. Esta técnica ha sido aplicada con éxito en la mayoría de las regiones montañosas del mundo y en su forma más simple consiste en

el muestreo detallado de árboles que crecen sobre las morenas y la estimación de sus edades mediante el conteo de sus anillos de crecimiento anual. De este modo, es posible obtener edades mínimas que indican la época de formación de depósitos glaciarios recientes con una precisión de 10 a 50 años. Por ejemplo, si el árbol más viejo sobre una morena arroja una edad de 200 años, ello indica que el depósito tiene al menos dos siglos de antigüedad ya que, obviamente, dicho árbol no pudo haberse establecido con anterioridad a la morena. Las principales especies arbóreas que colonizan los depósitos glaciarios en la región del Tronador son el coihue (*Nothofagus dombeyi*) y la lenga (*Nothofagus pumilio*); en algunos sitios húmedos y protegidos, el alerce (*Fitzroya cupressoides*) es también frecuente.

La fecha de formación de las morenas también puede ser inferida a partir de las edades de los líquenes que se encuentran en su superficie. La presencia de capas de ceniza volcánica sobre las morenas, o alojadas dentro de sedimentos lacustres, es también de suma utilidad, ya que

Leyendo los árboles

Detalle de los anillos anuales de crecimiento de lenga (*Nothofagus pumilio*). Esta especie puede superar los 400 años de edad y ha sido utilizada con éxito en distintas reconstrucciones de variaciones de temperatura en el ámbito de los Andes



Corte transversal (y detalle) de un tronco de alerce (*Fitzroya cupressoides*) en el que pueden apreciarse varios cientos de anillos anuales de crecimiento. Con ejemplares que superan los 3.600 años de edad, el alerce es considerado la segunda especie más longeva del planeta.

Muchas especies de árboles forman anillos de crecimiento anuales que reflejan, en gran medida, las variaciones climáticas regionales. Por ejemplo, en zonas semiáridas existen árboles que responden directamente a las variaciones de precipitación y producen anillos anchos durante años húmedos y anillos angostos durante años secos.

La dendrocronología (dendron = árbol, chronos = tiempo, logos = el estudio de) es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles. La información que es posible extraer "leyendo" estos anillos es enorme y ha permitido mejorar nuestro conocimiento sobre diversos procesos físicos, biológicos y culturales tales como el calentamiento global, los incendios forestales o el asentamiento de comunidades indígenas en épocas prehistóricas.

Entre las distintas ramas de la dendrocronología se encuentran la dendroclimatología (uso de anillos de árboles para estudiar y reconstruir variaciones climáticas), la dendroarqueología (análisis y datación de anillos de árboles en maderas prehistóricas), la dendroecología (para determinar variaciones de crecimiento y dinámica de población en comunidades vegetales) y la dendroglaciología (estudio de las variaciones presentes y pasadas de glaciares por medio del análisis de anillos de árboles asociados a depósitos glaciares).

permite determinar edades límite para las fechas de formación de los distintos depósitos glaciares.

Existen otras situaciones en las que los árboles asociados a depósitos glaciares pueden ser de mucha utilidad. Una de ellas es cuando un avance del frente de hielo alcanza a cubrir o empujar parcialmente algún ejemplar que crece en las inmediaciones del glaciar. Así, es posible encontrar troncos volteados o con cicatrices que permiten estimar la fecha exacta del avance del glaciar que afectó a dicho árbol. Aunque esta evidencia resulta muy útil, el número de ejemplares encontrados hasta la fecha con estas características es relativamente escaso.

Existen incluso casos en los que árboles sepultados durante la formación de las morenas se han mantenido en pie (material subfósil in situ) y han sido descubiertos posteriormente por la erosión. El mapeo, muestreo y datación de es-

tos ejemplares permite estimar la fecha de formación de las morenas que los han sepultado.

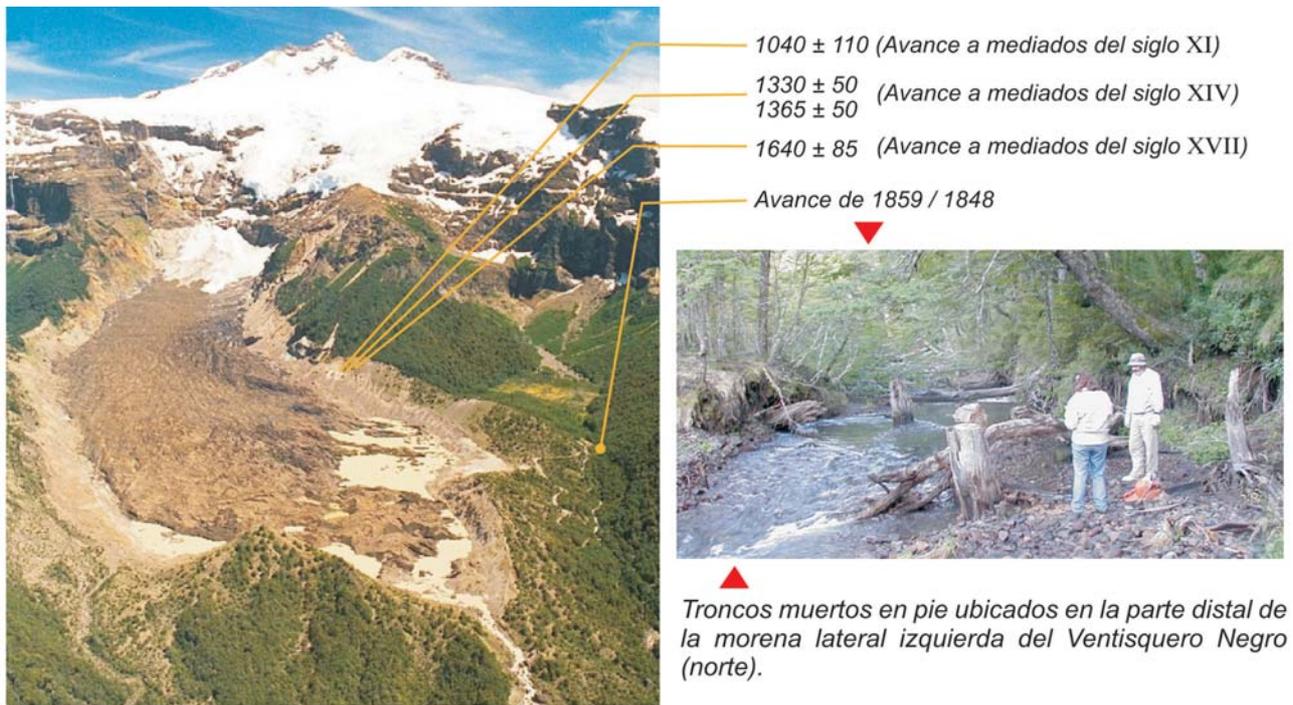
Mil años de historia glaciaria: el Ventisquero Negro

Actualmente, en la región del Tronador existe poca información sobre las fluctuaciones de los glaciares durante el Holoceno. Los últimos eventos glaciares más importantes y mejor identificados han ocurrido, en concordancia con otras regiones montañosas del mundo, durante el siglo XVII (de acuerdo a datos preliminares basados en una datación radiocarbónica) y el siglo XIX, durante la llamada «Pequeña Edad de Hielo» que ocurrió alrededor de 1850 (según datación corroborada por cofechado de árboles muertos y árboles vivos). Otros avances glaciares durante los siglos XI y XIV también han sido identificados, aunque con menor precisión. En el si-

glo XX el Ventisquero Negro ha sido visitado y fotografiado por turistas, científicos y guardaparques, por lo que afortunadamente se cuenta con una buena colección de documentos históricos muy útiles para el análisis de las variaciones del frente del hielo durante este período.

El primer estudio destinado al fechado de los avances del Ventisquero Negro fue realizado por la pareja de científicos Lawrence en 1959

(Figura 5). Ellos hallaron restos de una porción de bosque muerto en pie, ubicado justo detrás de la morena lateral izquierda del ventisquero, hacia el norte del actual estacionamiento. Esta porción de bosque había quedado bajo las aguas de un pequeño lago, formado cuando el glaciar avanzó y bloqueó (endicó) la salida del arroyo que baja de la Garganta del Diablo. Una vez retirado el glaciar, se produjo el drenaje del lago



Cronología de ancho de anillos (correspondiente a 18 troncos) utilizada para datar el avance glaciar del año 1848. Estos ejemplares muertos en pie fueron cofechados mediante una cronología de árboles vivos de la zona.

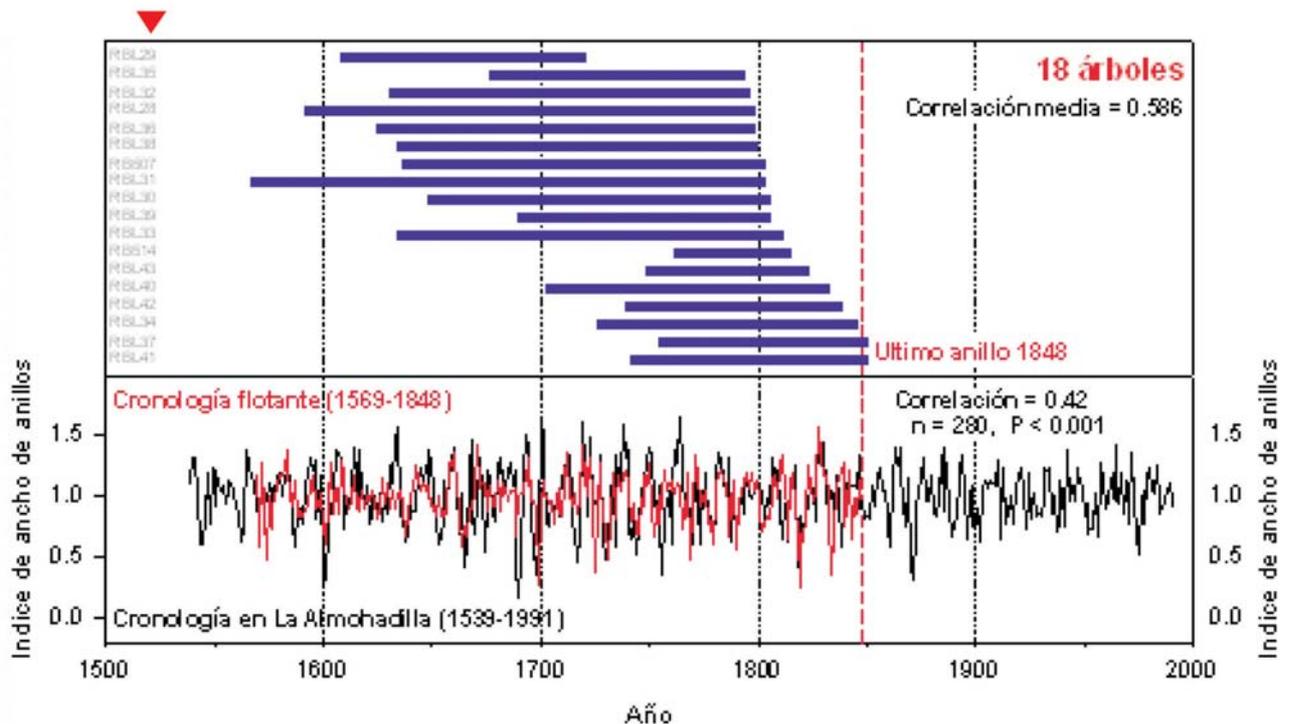


Figura 5. Sitios donde se registraron los eventos de avance del Ventisquero Negro. Abajo, cronología de ancho de anillos.

y los troncos, enterrados por sedimentos glaciolacustres, fueron paulatinamente expuestos por acción erosiva del arroyo. La edad de los árboles creciendo sobre estos sedimentos permitió a los Lawrence estimar un retroceso definitivo del hielo a partir del año 1852.

En 1978, Rabassa y colaboradores realizaron un estudio del frente del glaciar mediante el análisis de fotos aéreas y mediciones en el campo. Dicho estudio reveló que entre 1942 y 1970 el Ventisquero Negro no había sufrido mayores fluctuaciones, permaneciendo su porción terminal relativamente estable. La longitud aproximada del ventisquero era de 8 kilómetros y su área abarcaba unos 19 kilómetros cuadrados. Aunque desde ese entonces el frente de la lengua inferior del Ventisquero Negro ha permanecido relativamente estable, se ha verificado una significativa disminución en el espesor de la masa de hielo. Por ello, a diferencia del glaciar Frías, en este caso se habla más de adelgazamiento que de retroceso.

Durante los últimos años, el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) ha realizado una serie de visitas al Ventisquero Negro y sus alrededores con el objeto de perfeccionar la cronología de los eventos glaciales de la zona (Delgado y otros, 2002). Uno de los resultados más interesantes surgido de estos estudios ha sido la datación dendrocronológica de 18 de los troncos en pie hallados por Lawrence y Lawrence en el lecho del antiguo lago. Los análisis indican que los árboles murieron al quedar sumergidos, alrededor del año 1848, dato que concuerda con bastante aproximación con la estimación preliminar realizada por Lawrence y Lawrence en el año 1959.

Las fluctuaciones históricas de los glaciares Castaño Overo y Alerce

Las fluctuaciones históricas de los glaciares Castaño Overo y Alerce no han sido estudiadas en detalle. Sin embargo, varios trabajos han documentado el comportamiento más reciente de estos cuerpos de hielo, así como también sus características morfológicas más importantes. Sobre la base de edades aproximadas de árboles muestreados sobre las morenas del Castaño Overo, Rabassa y otros (1984) estimaron la ocurrencia de avances glaciares hacia los años 1818 y 1902. Hacia fines de los años 70 el glaciar Castaño Overo tenía una longitud de 5,3 kilómetros y un área de 8 kilómetros cuadrados, mientras que el glaciar Alerce medía 5,2 kilómetros de largo y 7,3 kilómetros cuadrados de superficie (Rabassa y otros, 1978). La porción regenerada del glaciar Castaño Overo se encontraba relativamente estacionaria y sin haber sufrido mayores cambios desde 1936, fecha de la primera fotografía histórica del frente de hielo. Sin embargo, a principios de los '80 el cono de hielo regenerado ubicado debajo de la cascada de hielo ya presentaba claros signos de desintegración. En la actualidad dicho cono de hielo ha desaparecido (Figura 6). A su vez, el estudio del glaciar Alerce indica un marcado retroceso entre 1942 y 1975, seguido por un avance menor hacia fines de la década del 70 (Rabassa y otros, 1984; Lliboutry, 1999). Durante las últimas décadas este glaciar ha sufrido un retroceso significativo. Miembros del IANIGLA han visitado ambos glaciares recientemente y se espera poder desarrollar cronologías detalladas de eventos glaciares durante el último milenio que complementen la informa-



Figura 6. Glaciar Castaño Overo, fotografías de los años 1936 y 2005. Nótese en la foto de la derecha la desaparición del cono regenerado.

ción existente para los otros glaciares del Tronador.

El glaciar Frías

Este glaciar ha sido visitado por exploradores, turistas y científicos por más de un siglo, y por ello existe una buena colección de registros históricos del frente de hielo. Además, gracias al excelente estado de conservación de las morenas terminales asociadas a los eventos glaciares ocurridos durante el último milenio, la cronología de variaciones de este glaciar es una de las más detalladas de los Andes Patagónicos.

El análisis de la documentación existente -dibujos antiguos, fotografías panorámicas (figura 7) y aéreas e imágenes satelitales- sumados a los relevamientos llevados a cabo por el IANIGLA, demuestran que, durante la Pequeña Edad de Hielo, el glaciar Frías tuvo la máxima extensión a principios del siglo XVII, aproximadamente en 1638-39 (Villalba y otros, 1990).

Estimaciones realizadas a partir de fotografías aéreas tomadas en 1942, 1953 y 1970, junto a las mediciones anuales del frente de hielo realizadas durante las décadas del 70 y del 80, permitieron establecer que entre 1942 y 1970 el frente había retrocedido aproximadamente 352 metros, mientras que a partir de 1970 y hasta 1977 avanzó unos 316 metros. En 1978 el glaciar tenía una superficie aproximada de 14,4 kilómetros cuadrados y una extensión de 7,4 kilómetros (Rabassa y otros, 1978).

Las edades de los árboles creciendo sobre las morenas, más las evidencias observadas en los patrones de los anillos de árboles afectados por el empuje del hielo, permitieron identificar al menos ocho avances del frente de hielo, de los cuales el más importante tuvo lugar entre 1640 y 1660. Entre mediados del siglo XVII y hasta aproximadamente el año 1850, el frente del glaciar retrocedió a un promedio de 2,5 metros por año. A partir de esa fecha y hasta principios del siglo XX, la tasa de retroceso se incrementó notablemente, alcan-

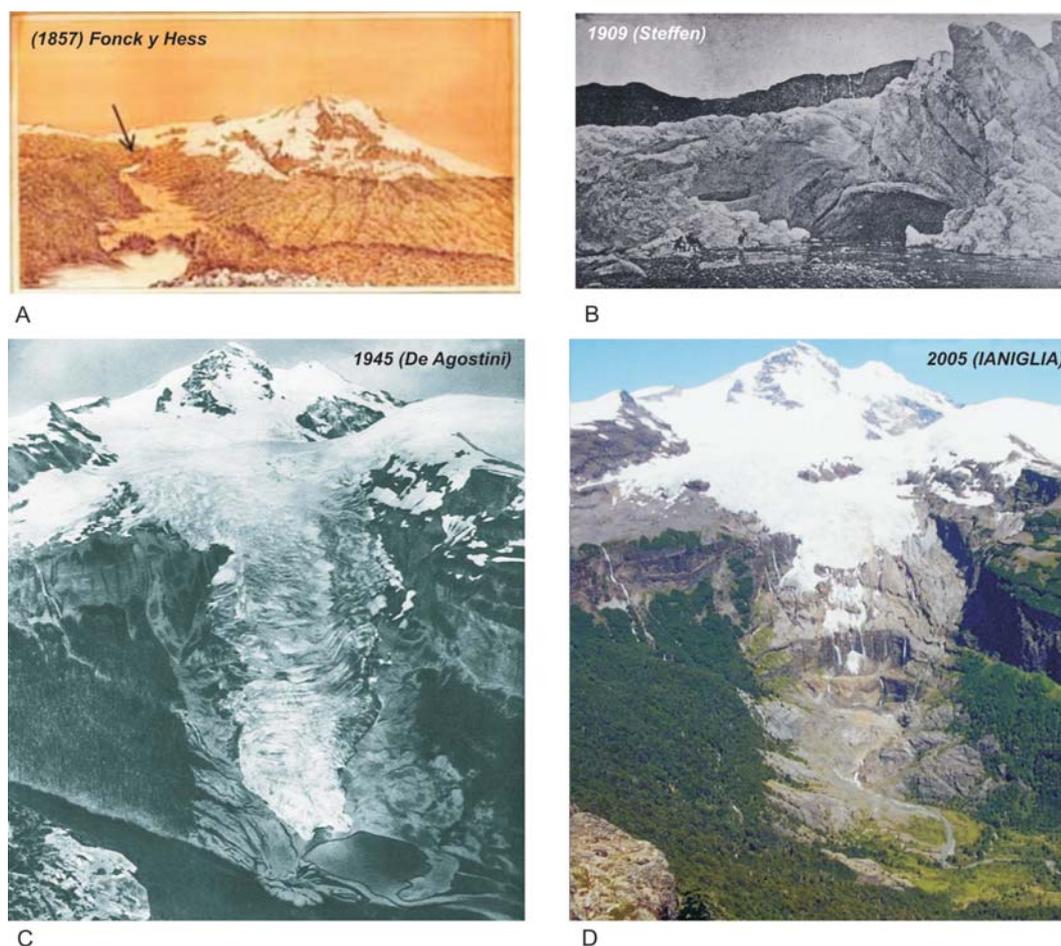


Figura 7. A: Dibujo realizado por Fonck y Hess (1857) (www3.cricyt.edu.ar/dendro/proyecto/patagonia.htm). En él se muestra con mucha precisión el monte Tronador y el nacimiento del río Frío (hoy Frías). En la actualidad el glaciar no baja hasta el valle del río Frías, pues en el transcurso de los últimos 150 años ha sufrido un retroceso importante. La flecha indica que el extremo inferior del glaciar Frías se podía observar desde la cima del cerro 12 de Febrero. B: Ventisquero que da nacimiento al río Frías (Steffen, 1909). C y D: Comparación de las posiciones del frente del glaciar Frías en la década del 40, cuando llegaba muy cerca de la hoy extinta laguna de los Témpanos y, en 2005 que evidencia el marcado retroceso ocurrido durante los últimos años.

zando los 7 metros anuales. Durante la primera parte del siglo pasado la velocidad de retracción aumentó a 10 metros por año, mientras que entre 1976 y 1985, la tasa promedio alcanzó los 36 metros anuales (Villalba y otros, 1990).

Las variaciones de los glaciares del Tronador durante el siglo XX

Los glaciares de la zona del Tronador han experimentado un marcado retroceso durante el siglo XX. Este comportamiento coincide con observaciones realizadas en otras regiones montañosas del mundo y ha sido considerado por los expertos como una de las evidencias naturales más claras del marcado calentamiento del planeta durante las últimas décadas (IPCC, 2001). El retroceso de los glaciares en la zona del Tronador sólo ha sido interrumpido por pequeños avances que no han logrado revertir la tendencia negativa generalizada (Masiokas y otros, 2007).

Hasta el momento, las evidencias existentes indican que los glaciares del monte Tronador han sufrido fluctuaciones significativas y aproximadamente sincronizadas durante el último milenio, lo que lleva a pensar que estarían respondiendo principalmente a un patrón climático común. A partir de 1976-1977 y hasta la actualidad, el clima en la región norpatagónica se ha caracterizado por ser mayormente seco y cálido (Villalba y otros, 2005 y Masiokas y otros, 2007). Esta característica coincide con el acelerado retroceso de los frentes de hielo, no sólo en el área del Tronador, sino también a lo largo de los Andes Patagónicos. A pesar de las marcadas diferencias topográficas y morfológicas de los cuatro glaciares del lado argentino, el hecho de que estén respondiendo en forma similar a las variaciones climáticas regionales indica que podrían ser usados de forma confiable como indicadores naturales para el estudio de los cambios climáticos ocurridos en la zona durante los últimos siglos.

TURISMO, HISTORIA E IMPORTANCIA COMO ÁREA PROTEGIDA

Tronador, con sus glaciares, nieves eternas, bosques, ríos y cascadas, es una de las montañas más altas de la Patagonia. La colosal mole de roca y hielo con sus tres desafiantes picos, Internacional o Anón (3.478 metros), Argentino (3.250 metros) y Chileno (3.350 metros), tentó siempre a los escaladores (Figura 8, A y B), pero

el cerro, en defensa de su cima, cuenta con un poderoso aliado: el mal tiempo, que a esas alturas se desencadena muy a menudo en forma rápida y con inusitada violencia.

A comienzos de 1934, Germán Claussen conquistó la cumbre en solitario y pasó la noche en ella. El 6 de marzo de 1937 y a través del ventisquero Río Blanco, Otto Meiling realizó la segunda ascensión al pico Internacional.

El 28 de febrero de 1938, el Club Andino Bariloche inauguró el refugio Tronador ubicado a 2.270 metros de altura, en el límite mismo con Chile (Figura 8, C) en el filo que separa las cuencas hidrográficas de los ríos Manso y Blanco. Si bien por un error de cálculo este refugio se construyó en territorio chileno, a pocos metros de la línea fronteriza, el conflicto se solucionó con la compra, a precio de costo, por parte del gobierno de Chile. En el año 1972, la misma entidad construyó el refugio Otto Meiling, ubicado a 2.000 metros sobre el nivel del mar, entre los glaciares Castaño Overo y Alerce.

El área posee una importante infraestructura de servicios, bellos paisajes y variados atractivos que todavía esperan ser descubiertos. De las actividades económicas desarrolladas, el turismo es la más compatible con la conservación, a la vez que genera alternativas para la educación ambiental. Numerosos senderos, zonas de especial encanto con lugares para acampar y refugios para la práctica de montañismo, junto con los deportes náuticos y la pesca deportiva de especies introducidas, como las truchas de arroyo, marrón y arco iris, son algunas de las alternativas que ofrece la región.

Además, durante los meses de verano se pueden realizar actividades propias del invierno. El esquí, el snowboard y la escalada en hielo forman parte de este abanico.

Desde el refugio Otto Meiling es posible apreciar uno de los panoramas más hermosos y vastos que se conocen. Se pueden realizar excursiones al filo de La Motte, travesías al refugio Viejo o Tronador y al paso de las Nubes, así como ascender a los picos del cerro.

El monte Tronador, por estar dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, es un área protegida. Es claro, después de la lectura de esta síntesis, que la zona es un sitio privilegiado para el desarrollo de estudios paleoclimáticos.

Es importante tener en cuenta que, en general, los glaciares contribuyen a la alimentación de importantes sistemas hídricos y, además, constituyen apreciados reservorios de agua dulce que, día a día, cobran mayor importancia en función

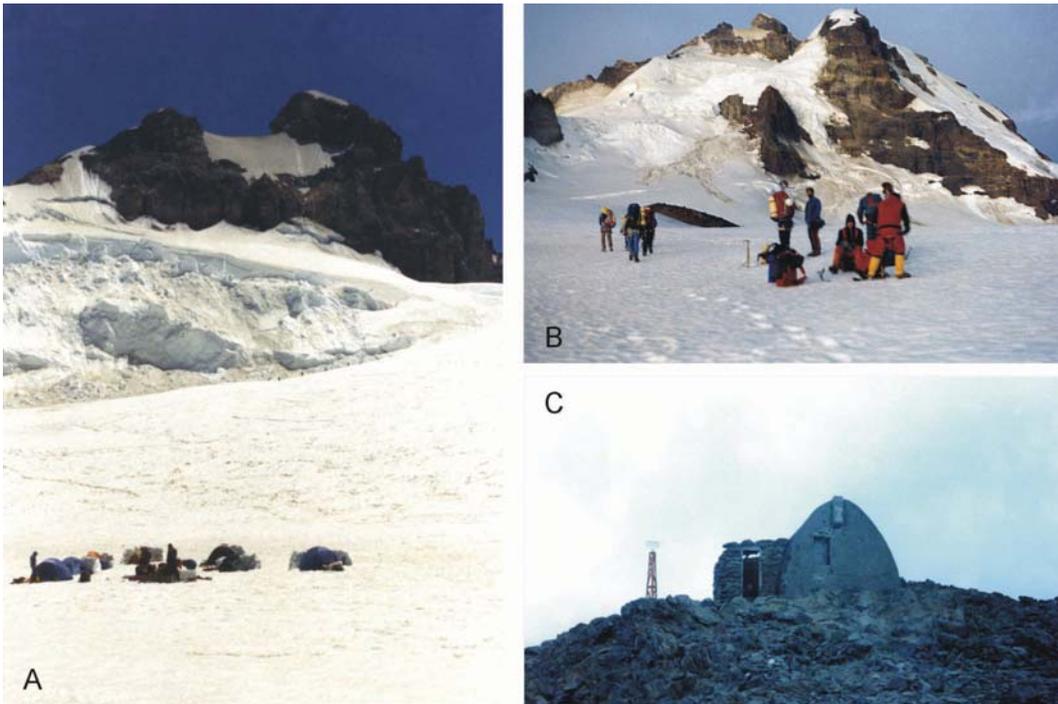


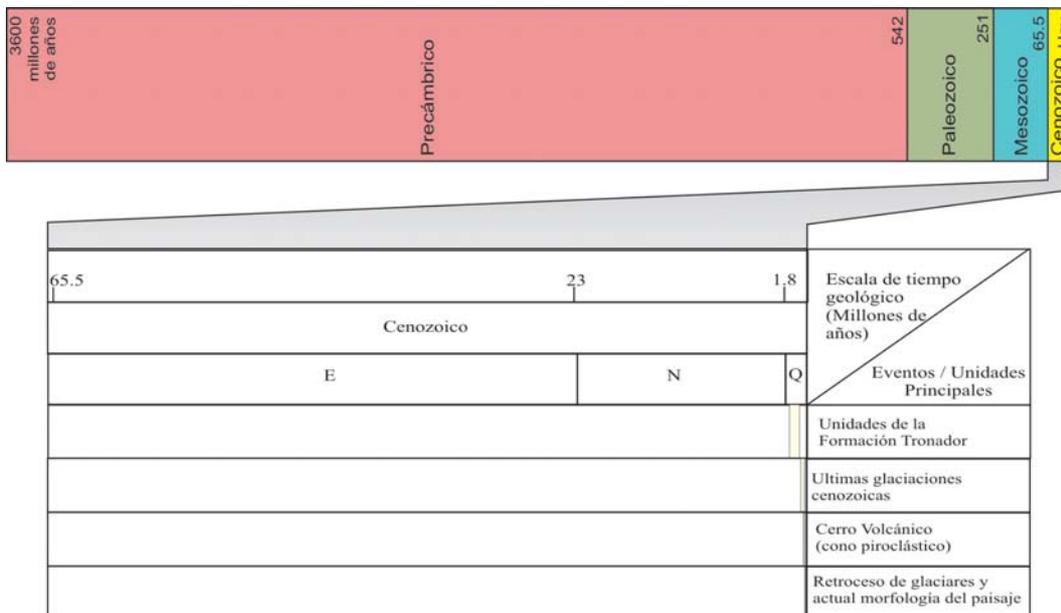
Figura 8. A. Campamento de altura en «La Depresión», entre el pico Internacional (al fondo) y el pico Argentino. B. Preparativos para el ascenso al monte Tronador en el filo La Motte. Al fondo el pico Argentino y el pico Internacional o Anón (Fotografías por Enrique y Fernando Miranda). C. Refugio Viejo o Tronador. Hacia la izquierda del refugio se aprecia el hito que señala el límite entre Argentina y Chile (Fotografía por Fernando Miranda).

de la creciente demanda del recurso. Los glaciares del Tronador se encuentran en un ambiente prístino ubicado en las cabeceras de cuencas hídricas sumamente importantes, como la del río Manso y la del río Limay (con numerosos aprovechamientos hidroeléctricos y sistemas de riego). De este modo, un mejor entendimiento de la dinámica presente y pasada de estas sorprendentes masas de hielo y de su

interrelación con los factores ambientales, tiene no sólo un justificativo teórico-académico, sino también un importante significado práctico y socioeconómico.

La implementación de circuitos interpretativos donde los visitantes puedan reconocer las geoformas glaciares y el funcionamiento de los glaciares, como así también comprender las evidencias de la actividad volcánica, le otorgaría a este sitio un valor agregado muy interesante.

UBICÁNDOSE EN EL TIEMPO



E: Paleógeno, N: Neógeno y Q: Cuaternario

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Sra. Aida Noya, estudiante para Guía de Turismo y cono- cedora de la montaña, por haber compartido con nosotros su colección de fotografías, y al Servi- cio Geológico Minero Argentino por esta intere- sante iniciativa.

TRABAJOS CITADOS

- Auer, 1950. Las capas volcánicas como base de la cronología postglacial de Fuegotpatagonia. *Revista de Investigaciones Agric.*, III (2): 49-208.
- Caldenius, C., 1932. Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fue- go. Dirección General de Minas y Geología. Pu- blicación N° 95: 1-152.
- Delgado, S., Masiokas, M., Villalba, R., Trombotto, D., Ripalta, A., Hernández, J. y Calí, S., 2002. Evidencias históricas y dendrocronológicas de las variaciones climá- ticas en la Patagonia durante los últimos 1000 años (PATAGON 1000). En: Trombotto, D. y Villalba, R. (editores) IANIGLA, 30 Años de In- vestigación Básica y Aplicada en Ciencias Am- bientales. Zeta Editores, Mendoza, Argentina, p. 47-51.
- Flint, R. y Fidalgo, F., 1968. Drift Glacial al este de los Andes, entre Bariloche y Esquel. Insti- tuto Nacional Geología y Minería. Boletín 119. Buenos Aires.
- Giacosa, R. y Heredia, N., 2001. Hoja Geológica 4172-IV San Carlos de Bariloche, provincias de Río Negro y Neuquén. SEGEMAR, Boletín N° 279: 1-85. Buenos Aires.
- González Bonorino, F., 1976. Geología del Río Manso. Fundación Bariloche. Inédito.
- Greco, R., 1975. Descripción geológica de la Hoja 40a, Monte Tronador, provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional (inédito). Buenos Aires.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.
- Lawrence, D.B. y Lawrence, E.G., 1959. Recent glacier variations in southern South America. *American Geographical Society Southern Chi- le Expedition Technical Report*, Office of Na- val Research Contract 641 (04): 1 - 39, New York, USA.
- Ljungner, E., 1931. Geologische Aufnahmen in der Patagonischer Cordillera. *Bulletin of the Geological Institution of the University Upsala*, 23:203.
- Lliboutry, L., 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America. *Glaciers of the Wet Andes*. En: Williams, R.S., Ferrigno, J.G. (eds.) U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I. US Government Printing Office, Washington.
- Masiokas, M., Villalba, R., Luckman, B. H., Lascano, M. E., Delgado S. y Stepanek, P., 2007. 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Pata- gonia. *Global and Planetary Change* (en pres- sa).
- Mella, M., Muñoz, J., Vergara, M., Klohn, E., Farmer, L.G. y Stern, Ch. R., 2005. Petro- génesis del Grupo Volcánico Pleistoceno Tronador, Zona Volcánica Sur de los Andes. *Re- vista Geológica de Chile*. 32 (1): 131-154.
- Rabassa, J. y Clapperton, C.M., 1990. Quaternary Glaciation of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9: 153-174.
- Rabassa, J., Rubulis, S. y Suarez, J., 1978. Los Glaciares del Monte Tronador, Parque Nacio- nal Nahuel Huapi (Río Negro-Argentina). *Ana- les de Parques Nacionales*, XIV: 259-318. Bue- nos Aires.
- Rabassa, J., Brandani, A., Boninsegna, J.A. y Cobos, D.R., 1984. Cronología de la «Pequeña Edad del Hielo» en los glaciares Río Manso y Castaño Overo, Cerro Tronador, Provincia de Río Negro. 9° Congreso Geológico Argentino. *Actas 3*: 624-639.
- Steffen, F.E., 1909. Viajes de exploración y es- tudio en la Patagonia Occidental (1892-1902). Volumen 1. *Anales de la Universidad de Chile*, Imprenta Cervantes, Santiago de Chile. 409 páginas.
- Villalba, R., Leiva, J.C., Rubulis, S. y Suarez, J.A., 1990. Climate, tree rings and glacier fluctuations in the Río Frias Valley, Río Negro, Argentina. *Arctic and Alpine Research* 22 (3): 215-232.
- Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J.A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J.C., Roig, F.A., Schmelter, A., Wolodarsky, A. y Ripalta, A., 2003. Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change*, 59: 177-232.

- Villalba, R., Masiokas, M.H., Kitzberger, T. y Boninsegna, J.A., 2005. Biogeographical Consequences of Recent Climate Changes in the Southern Andes of Argentina. En: *Global Changes and Mountain Regions*. U. Huber and M. Reasoner (eds.). Mountain Research Initiative, Switzerland. pags. 157-168.
- Villarosa, G., Outes, V., Ostera, H. y Ariztegui, D., 2002. Tefrocronología de la Transición Tardío Glacial-Holoceno en el Lago Mascardi, Parque Nacional Nahuel Huapi, Argentina. XV Congreso Geológico Argentino. Actas: II: 699-704.
- Villarosa, G., Outes, V., Hajduk, A., Sellés, D., Fernández, M., Crivelli Montero, E. and Crivelli, E., 2006. Explosive volcanism during the Holocene in the upper Limay river basin: The effects of ashfalls on human societies. Northern Patagonia, Argentina. *Quaternary International* 158 (1): 41-57.