

Taller online

La **RUTA** de los **GLACIARES**



GUÍA DE CAMPO

www.larutadelosglaciares.cl

Proyecto Proyección al Medio Externo
Núcleo Milenio Paleoclima | NCN17_079



Núcleo Milenio
Paleoclima





Introducción

Glaciaciones cuaternarias

Durante los últimos ~800.000 años, nuestro planeta ha experimentado ciclos glaciales consistentes en largos períodos de enfriamiento sostenido (glaciaciones: ~100.000 años), seguidos por períodos de calentamiento abrupto de corta duración. En este rango temporal la duración típica de los interglaciales varía entre 10.000 y 30.000 años.

Las **glaciaciones** se caracterizan por el crecimiento sostenido de enormes mantos de hielo que cubrieron amplias regiones continentales, enfriamiento global, importantes cambios en la circulación atmosférica y oceánica, disminución en el nivel del mar, cambios en la química atmosférica y modificaciones en la distribución de muchas especies terrestres y acuáticas, incluyendo la especie humana.

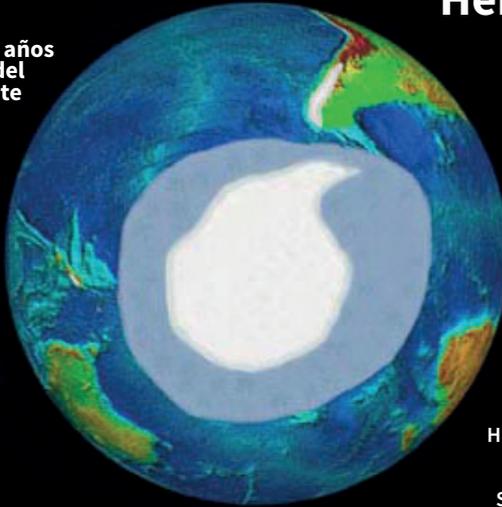
Los **interglaciales**, por otra parte, se caracterizan por un deshielo masivo y rápido a nivel global, aumento en el nivel mar, calentamiento atmosférico y oceánico, incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera y colonización de la biota en ambientes previamente cubiertos por glaciares.

En la actualidad vivimos en un interglacial llamado Holoceno que comenzó hace ~11.700 años y corresponde, geológicamente a una época del periodo Cuaternario. Las transiciones entre los períodos glaciales a interglaciales durante los últimos 800.000 años, conocidas como Terminaciones Glaciales, han sido particularmente abruptas y se consideran como los cambios climáticos de mayor magnitud y rapidez de los que se tenga conocimiento en el registro geológico.



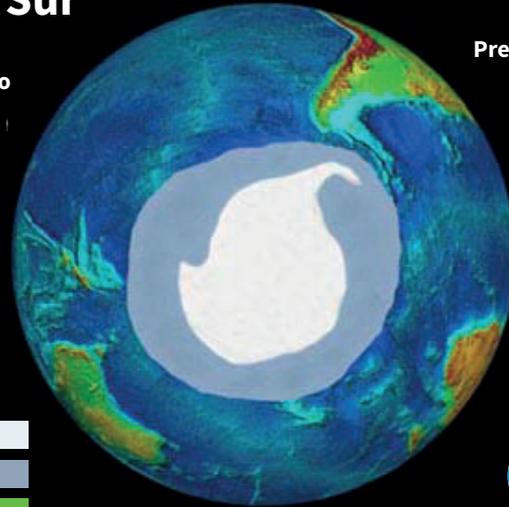
Hemisferio Sur

18.000 años
antes del
presente



Cubierta de hielo

Presente



Hielo continental



Hielo marino



Superficie sobre
el nivel del mar



Figura 1. Distribución global del hielo glacial durante el Último Máximo Glacial (Fuente: NOAA)

El **Último Máximo Glacial** es un intervalo entre ~33.600 y ~17.800 años calendario antes del presente (= años AP¹), durante el cual se alcanzó el máximo volumen de glaciares continentales a nivel global (Figura 1). El Último Máximo Glacial se extendió hasta el inicio de la **Última Terminación Glacial**, cuya extensión temporal abarca desde ~17.800 y 11.700 años AP, y constituye el más reciente de los cambios climáticos de mayor magnitud y rapidez conocidos.

Entre las mayores consecuencias de las glaciaciones sobre la superficie terrestre encontramos: modificación del paisaje producto de la erosión y depositación de sedimento y rocas en amplias áreas continentales, cambios en los sistemas fluviales, creación de lagos, variaciones en el nivel del mar, depresión (alzamiento) en la corteza continental producto de la adición (retiro) de grandes masas glaciales, vulcanismo y cambios en la circulación atmosférica y oceánica.

¹ Los cálculos de edades a partir de dataciones radiocarbónicas se suelen expresar como años radiocarbónicos antes del presente (año 1950 DC) o años antes de Cristo. Estudios han detectado que el reloj radiocarbónico es imperfecto y a veces se ha detenido, o ha avanzado muy rápido o muy lento. Afortunadamente estas imperfecciones son conocidas y se ha desarrollado correcciones a través de un método de calibración que permite estandarizar la edad de los resultados radiocarbónicos a una duración constante. A esta nueva unidad se le denomina años calendario, y equivalen a un año de 365 días, como los años que usamos regularmente en nuestra vida diaria. En esta guía, todas las edades son presentadas en años calendario antes del presente = años AP.

Las glaciaciones también tienen efectos sobre los océanos y el aumento de los mantos de hielo aumenta la reflectividad de la superficie terrestre (albedo) retroalimentando el enfriamiento climático.

Patagonia experimentó cambios ambientales y climáticos de gran magnitud durante la Última Terminación Glacial, entre los que se encuentran: desglaciación rápida, cambios en la distribución y composición de la biota terrestre, incluyendo la llegada de los primeros humanos a la región y la extinción de grandes mamíferos que habitaron durante la última edad de hielo.



Esta guía de terreno fue elaborada con el fin de apoyar el contenido de las charlas online del Taller **La Ruta de los Glaciares** versión 2020; incluye ejemplos fotográficos del paisaje y las evidencias glaciares registradas durante el Último Máximo Glacial y la Última Terminación Glacial en la Provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes y la Antártica Chilena.



Cueva del Milodón

8

6

Complejo Morrénico Dos Lagunas

7

Valle del Lago Sofía

5

Complejo Morrénico Arauco Norte

1

Puerto Natales

4

Llanuras de Diana

3

Complejo Morrénico Arauco Sur

2

Complejo Morrénico Río Turbio

SITIOS DE INTERÉS



Puerto Natales

Coordenadas: 51°43'S - 72°30'O

PARADA

1

Sector: Costanera de Puerto Natales

Durante el Último Máximo Glacial las masas de hielo presentes en los Andes de la zona Austral de Sudamérica crecieron y se unieron formando un manto de hielo continuo entre las latitudes 38° y 55°S, este cuerpo glacial de magnitud sub-continental se denomina Manto de Hielo Patagónico. Este manto glacial se restringió a la Cordillera de los Andes y planicies adyacentes entre 38° y 41°30'S, mientras que al sur de esta latitud, los glaciares cubrieron gran parte de las islas y archipiélagos, alcanzado la costa Pacífica de forma casi ininterrumpida hasta Cabo de Hornos.

Evidencia geomorfológica y estratigráfica en el sector de Última Esperanza (51°25' – 52°25'S), suroeste de Patagonia, sugieren que durante el Último Máximo Glacial se desarrolló un gran lóbulo glacial piedemonte, que avanzó desde la Cordillera de los Andes y habría alcanzado el límite con Argentina (al este de Llanuras de Diana), Sierra Dorotea, y el sector de Dos Lagunas. Edades cosmogénicas sugieren que este lóbulo alcanzó su máxima extensión, al menos en dos momentos datados: a los ~48.000 y ~34.000 años AP.

Estas extensiones máximas están marcadas por la presencia de las morrenas terminales de los complejos morrénicos Río Turbio y Arauco en el este, y el complejo morrénico Dos Lagunas en el norte. Edades radiocarbónicas indican que el lóbulo glacial Última Esperanza abandonó las morrenas más jóvenes en torno a los ~17.500 años AP.

Otro rasgo morfológico importante es la presencia de terrazas lacustres, evidencia de la formación de un lago proglacial represado por el lóbulo Última Esperanza (Lago Glacial Puerto Consuelo), formado durante el proceso de desglaciación, que alcanzó una cota máxima de alrededor de 150 msnm y cuyos niveles fueron controlados por la presencia de un canal de desagüe y el retroceso glacial. Puerto Natales está construido sobre varias de estas terrazas.

Este lago se formó por la represa formada por grandes cuerpos glaciales que impedían el drenaje de las aguas de deshielo hacia el Océano Pacífico, a través de la única vía de evacuación existente en el sector de los fiordos, el paso Morla Vicuña.

Reconstrucción de Lago Sofía, Provincia de Última Esperanza (Fuente: Rodrigo Villa-Martínez)





Complejo Morrénico Río Turbio

Coordenadas: 52°02'S - 71°57'O

PARADA

2

Sector: Intersección de la Ruta 9 con comienzo de la Provincia de Última Esperanza

En el sector donde la Ruta 9 se encuentra con el límite sur de la Provincia de Última Esperanza, nos encontramos con una amplia área de topografía plana que hacia el norte comienza a ascender suavemente en una serie de colinas alargadas que se orientan desde el este al oeste.

Esta zona marca el comienzo de la zona ocupada por el lóbulo glacial Última Esperanza durante la última glaciación. Al norte de este punto encontraremos una serie de geoformas que dan cuenta de la extensión y comportamiento del lóbulo Última Esperanza durante el último ciclo glacial.

La serie de colinas que se observa al norte de este punto corresponden al inicio del Complejo Morrénico Río Turbio en su cara distal sur. El Complejo Morrénico Río Turbio correspon-

de al cordón más externo de morrenas terminales asociado al lóbulo glacial Última Esperanza, las que describen un arco casi continuo de más de 100 km de longitud, cuya formación ocurrió en el período en que el glaciar se encontraba estabilizado en su máxima extensión, aproximadamente hace 48.000 años.

El área de topografía plana que se encuentra inmediatamente al sur y este de las morrenas Río Turbio, corresponde a una geoforma característica de ambientes proglaciales, denominada "planicie proglacial de lavado". Esta geoforma está asociada a la coalescencia de múltiples canales de aguas de deshielo que nacen en el glaciar y que depositan una cubierta de gravas y arenas sobre extensas superficies del paisaje.

Complejo Morrénico Río Turbio (Fotografía: L. Wäckerling)





Complejo Morrénico Arauco Sur

Coordenadas: 52°02'S - 71°57'O

PARADA

3

Sector: Límite sur de Llanuras de Diana, intersección sur con Ruta 9 sobre Complejo Morrénico Arauco

El límite sur de las Llanuras de Diana está marcado por una serie de colinas alargadas aproximadamente en dirección este-oeste. Estas colinas corresponden a morrenas terminales del Complejo Morrénico Arauco, que fue depositado por el lóbulo glacial Última Esperanza durante el último avance del Último Máximo Glacial (entre ~34.000 y ~17.500 años AP).

¿Cómo se determinó la edad en que fueron depositadas las morrenas del complejo morrénico Arauco?

El ^{10}Be es un isótopo producido por el bombardeo de partículas de alta energía sobre minerales de la superficie terrestre. Si se conoce la tasa de producción de estos isótopos, y se logra medir su concentración en la superficie de las rocas, es posible determinar el tiempo que estas rocas han estado expuestas a la radiación cósmica, y por ende, el momento en que estas rocas fueron depositadas por el glaciar.

El radiocarbono es un método de datación basado en el contenido de isótopo ^{14}C en materiales orgánicos. El ^{14}C es producido en la atmósfera por la interacción de átomos de Nitrógeno y rayos cósmicos, es incorporado a las plantas por fotosíntesis y posteriormente a animales por la ingesta de estas plantas.

Mientras el organismo está vivo intercambia sus átomos de carbono con el medio externo a través de la alimentación, respiración y excretas y, por lo tanto, su contenido de ^{14}C se mantiene en equilibrio con el medio externo. Al morir el organismo, su contenido de ^{14}C se inmoviliza en un sistema cerrado y comienza a disminuir por decaimiento radiactivo a una tasa constante. Midiendo el contenido de ^{14}C en la muestra fósil, es posible determinar el momento de muerte del organismo.

Complejo Morrénico Arauco Sur (Fotografía: M. Kaplan)



Cresta de la morrena



Llanuras de Diana

Coordenadas: 51°48'S- 72°09'O

PARADA

4

Sector: Intersección de la Ruta 9 con el límite norte del sector Llanuras de Diana

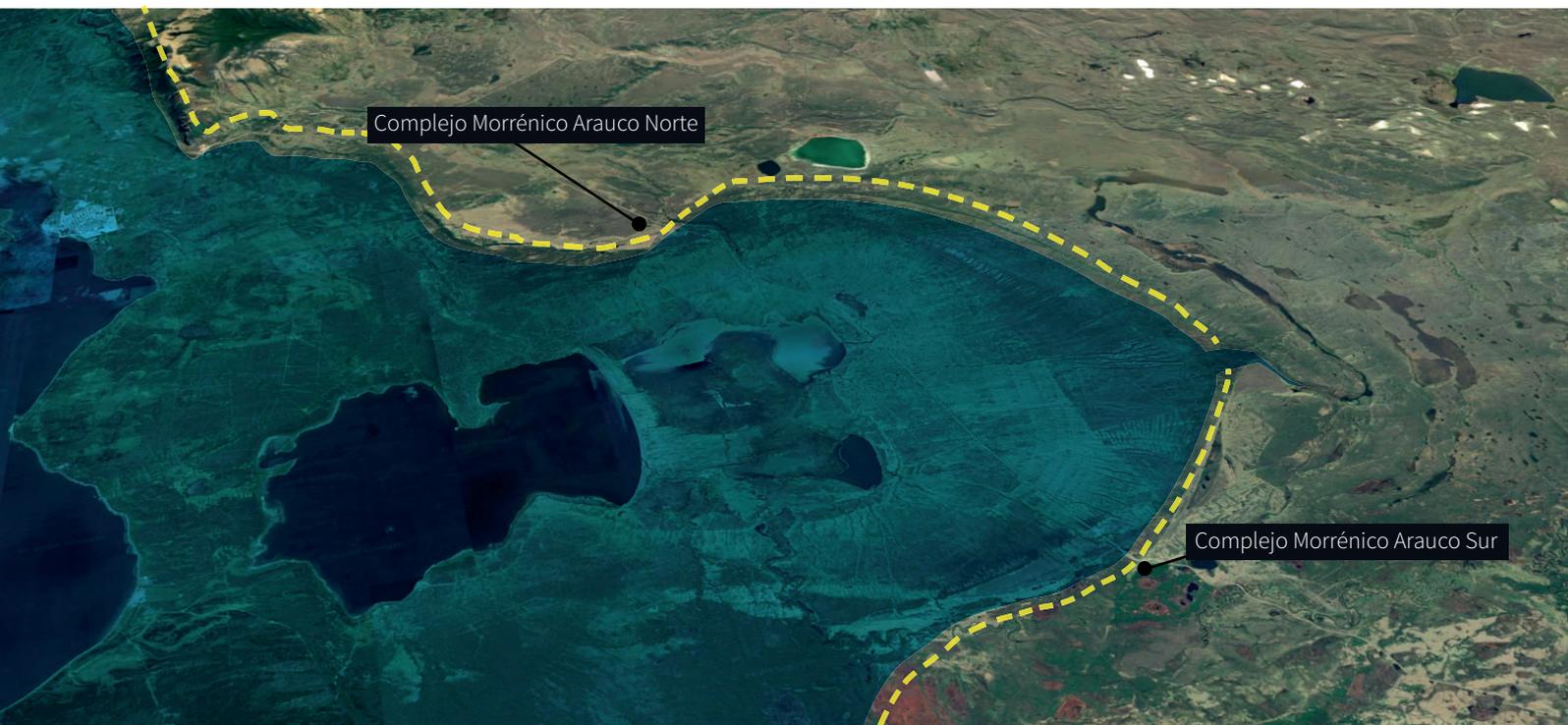
Las Llanuras de Diana corresponden a un amplio sector de topografía plana, rodeado por dos complejos morrénicos de gran envergadura y extensión que describen arcos aproximadamente concéntricos: los complejos morrénicos Río Turbio y Arauco. Desde las Llanuras de Diana es posible apreciar el Complejo Morrénico Arauco, el que se desarrolla de forma discontinua por aproximadamente 80 km.

Posterior a la formación de las morrenas del Complejo Morrénico Arauco, el glaciar retrocedió, junto con lo cual se desarrolló el Lago Glacial Puerto Consuelo, cuyo borde estuvo delimitado por el complejo morrénico Arauco (en el límite con Argentina). Este lago dejó como evidencias una serie de terrazas que fueron labradas en la cara proximal de las morrenas Arauco, cuyas cotas aproximadas son de 150, 130 y 125 msnm.

Los distintos niveles de terrazas que se encuentran en este y otros sectores ocupados por el lóbulo glacial Última Esperanza, permiten reconstruir la historia del lago marcada por etapas de estabilización a distintas alturas, controladas por el retroceso del hielo y un canal de desagüe. Hemos identificado niveles lacustres a ~150 msnm, ~125 msnm, entre 70-80 msnm y a ~30 msnm. Cada uno de estos niveles marcan estabilizaciones del lóbulo glacial Última Esperanza en su proceso retroceso posterior al Último Máximo Glacial.

El Lago Glacial Puerto Consuelo finalmente drenó al océano Pacífico una vez que el paso Morla Vicuña estuvo libre de cubierta glacial.

Llanuras de Diana (Google Earth)





Complejo Morrénico Arauco Norte

Coordenadas: 51°41'S - 72°20'O

PARADA

5

Sector: Intersección norte de la Ruta 9 con el Complejo Morrénico Arauco

Este punto se ubica en un sector conformado por colinas alargadas, las que corresponden a morrenas del complejo morrénico Arauco. Hacia el este se encuentra una zona de topografía plana que culmina en una nueva serie de morrenas pertenecientes al Complejo Morrénico Río Turbio.

El área de relieve plano que se encuentra entre los complejos morrénicos Arauco y Río Turbio corresponde a una planicie proglacial de lavado.

En esta parada, la Ruta 9 disecta la morrena, revelando la estructura y composición de esta geoforma. En su interior podemos apreciar que la morrena se encuentra formada por sedimentos dispuestos de manera caótica, no estratificados, de variada litología y con gran heterogeneidad en el tamaño de las partículas de sedimento y roca, que incluyen desde bloques de más de un metro a granos de arena.

Depósitos de till del Complejo Morrénico Arauco (Fotografía: L. Wäckerling)





Complejo Morrénico Dos Lagunas

Coordenadas: 51°29'S - 72°29'O

PARADA

6

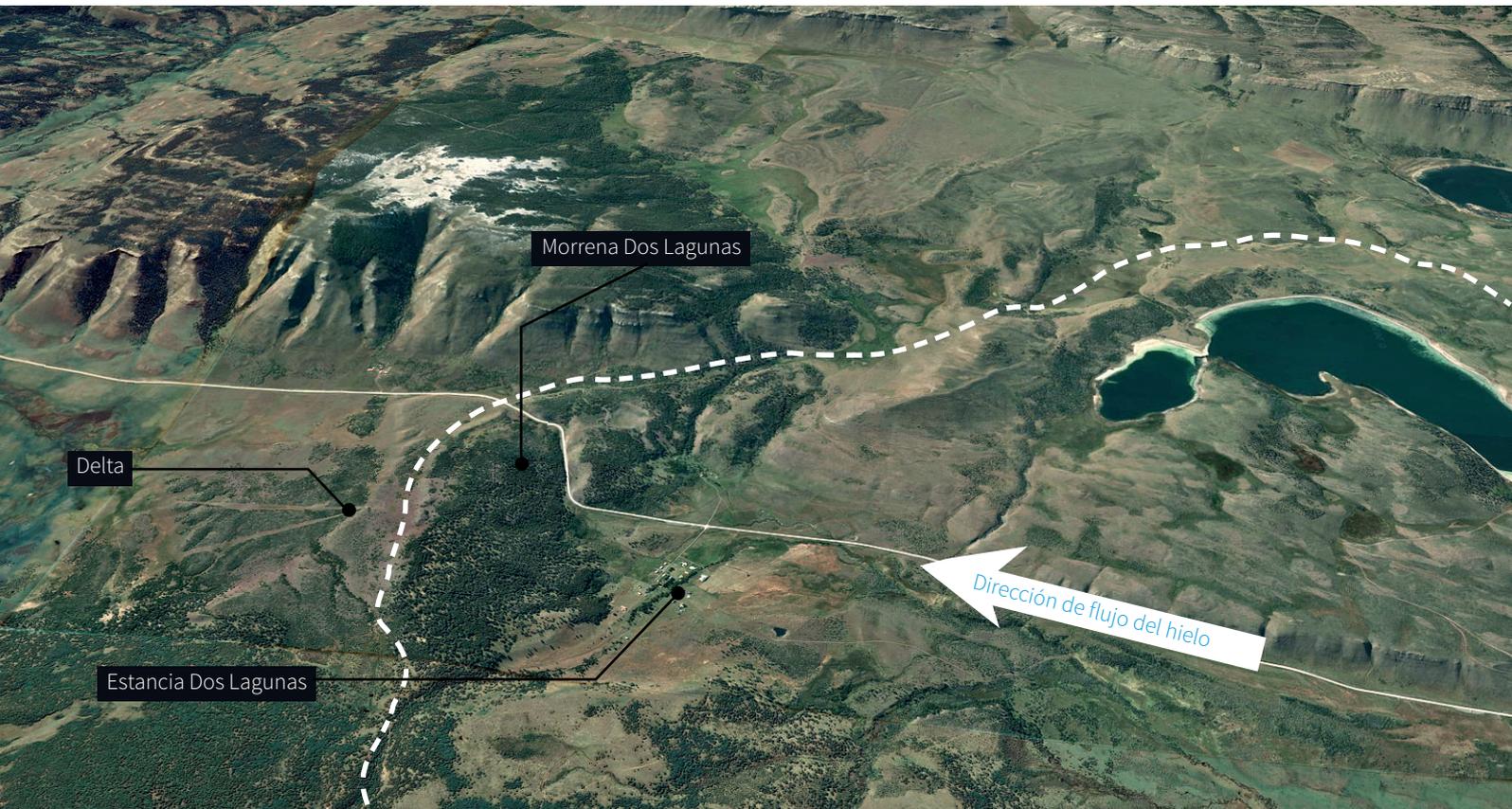
Sector: Intersección Ruta 9 con el Complejo Morrénico Dos Lagunas

Siguiendo la Ruta 9, inmediatamente al norte del valle del Lago Sofía, la topografía comienza a gradar a un terreno ondulado, considerablemente más elevado, y que alcanza una altitud de ~270 msnm. Este terreno ondulado corresponde al Complejo Morrénico Dos Lagunas.

El Complejo Morrénico Dos Lagunas corresponde a una serie de morrenas terminales del lóbulo glacial Última Esperanza en su zona norte. Estos depósitos se formaron cuando el hielo alcanzó esta área al menos en dos oportunidades: a los ~48.000 y a los ~34.000 años AP.

Al norte del Complejo Morrénico Dos Lagunas se desarrolló un lago proglacial pequeño, a mayor elevación y desconectado al Lago Glacial Puerto Consuelo, el que queda evidenciado por la presencia de un delta en la cara distal (aguas abajo) de las morrenas. Este paleo-delta está representado por un sector de topografía plana con suave basculación al norte. El quiebre en la inclinación, que presenta este delta, corresponde al punto donde el delta penetra en el lago proglacial y, por lo tanto, marca la altitud de la superficie de éste.

Complejo Morrénico Dos Lagunas (Google Earth)





Valle del Lago Sofía

Coordenadas: 51°32'S - 72°30'O

PARADA

7

Sector: Intersección Ruta 9 con extremo este del valle de Lago Sofía

El valle donde se encuentra Lago Sofía es un valle que, visto desde el Este, tiene forma de U, es decir, presenta una base amplia y laderas empinadas, casi verticales en su segmento más alto. La forma de U es vestigio de la acción erosiva del glaciar que ocupó todo el valle y que en su avance fue erosionando ampliamente el fondo y las paredes laterales, generando pendientes abruptas. La erosión a gran altura de las paredes del valle da cuenta del espesor alcanzado por el glaciar localmente.

A los costados del valle, adosadas a las laderas, se encuentran terrazas de sedimentos glaciales que se elevan por sobre la base del valle y que terminan en una superficie plana y horizontal. Estas terrazas son depósitos glaciales conocidos como *terrazas kame*, las cuales se forman a partir de sedimento depositado por aguas de deshielo del glaciar en períodos

de estabilización, y son indicio de la pérdida de volumen de este, ya que su formación se produce entre las paredes del valle y el margen del glaciar, una vez que éste se adelgaza y deja de abarcar todo el espacio del valle. Podemos pensar en las *terrazas kame* como un vestigio del molde o silueta del glaciar que les dieron origen.

En el valle de Lago Sofía encontramos evidencias de una terraza lacustre de cota aproximada de 150 msnm. Sobre esta terraza encontramos afloramientos de roca que presentan una curiosa y característica muesca en su porción basal. Esta muesca es producto de la acción erosiva del oleaje del Lago Glacial Puerto Consuelo. Sobre la terraza del Lago Sofía se encuentran las famosas cuevas de Lago Sofía, una serie de sitios con registro paleontológico y arqueológico cuya data corresponde a la Última Terminación Glacial en Última Esperanza.

Vista panorámica del valle en “U” de Lago Sofía (Fotografía: N. Tondreau)





Cueva del Milodón - Cerro Benítez

Coordenadas: 51°34'S - 72°36'O

PARADA

8

Sector: Cerro Benítez

El lóbulo glacial Última Esperanza cubrió gran parte del paisaje en torno a Puerto Natales durante su fase de máxima extensión y espesor, cubriendo incluso la cumbre de Cerro Benítez. Esto nos sugiere que el espesor del glaciar alcanzó al menos 330 msnm en esta ubicación; elevación a la cual hay que sumarle las profundidades del lecho submarino en los sectores de Seno y Fiordo Última Esperanza así, como Golfo Almirante Montt. A medida que el margen glacial fue retrocediendo y adelgazándose durante el proceso de desglaciación iniciado a los ~17.500 años AP, Cerro Benítez fue quedando libre de cubierta glacial y fue rodeado por el Lago Glacial Puerto Consuelo. Durante este período, Cerro Benítez se encontraba aislado, y constituía un cerro isla, completamente rodeado por agua.

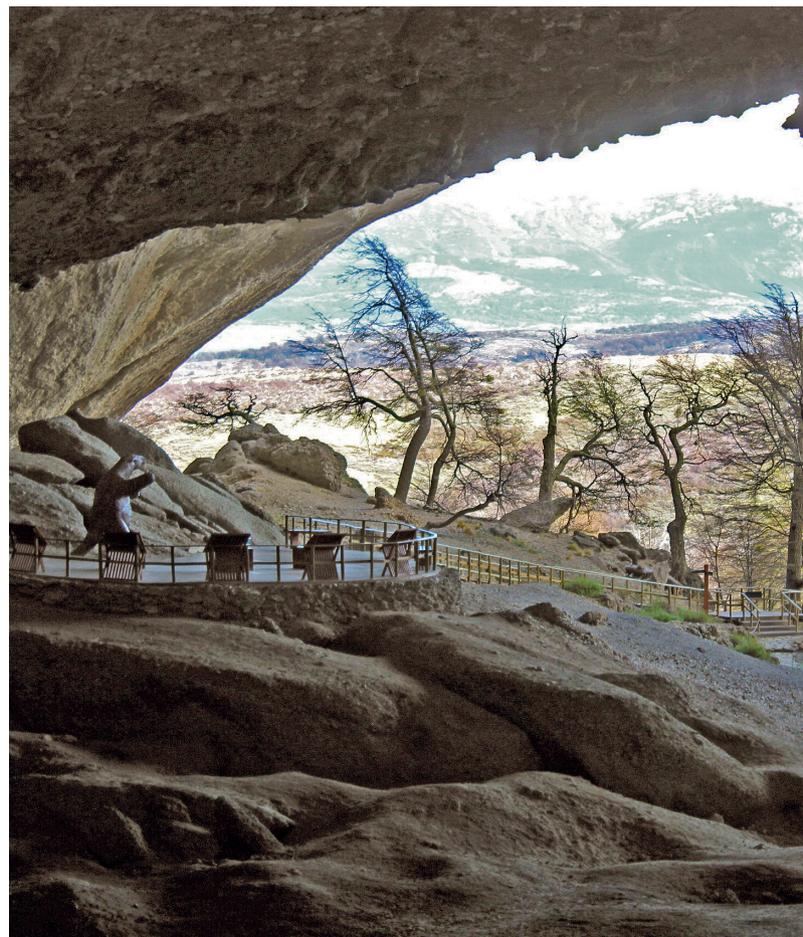
Posteriormente el lóbulo Última Esperanza continuó retrocediendo y adelgazándose, y en algún momento el nivel del lago proglacial bajó lo suficiente para que se formara un puente terrestre entre Cerro Benítez y el territorio a los pies de Sierra Dorotea. Se estima que este puente se formó poco después del retroceso del margen Dos Lagunas a juzgar por las edades radiocarbónicas de Vega Benítez y los mamíferos fósiles de Cueva del Milodón.

La fauna pleistocena en el sector de Última Esperanza incluye: milodón, puma, jaguar, zorro, guanaco, tigre dientes de sable, osos de cara corta, caballos, litopternos, un gran roedor y *Lama gracilis* (un camélido extinto muy parecido a la vicuña). De igual forma, se han encontrado indicios de actividad humana durante la Última Terminación Glacial, los que podrían ser indicativos de interacción entre el hombre y la megafauna pleistocena.

El registro de macrorrestos vegetales en fecas de milodón y polen fósil ha permitido reconstruir la dieta de estos mamíferos en el área de Cerro Benítez. Estas fecas indican una dieta de hierbas y arbustos entre ~14.500 y ~11.600 años AP. Estudios desarrollados a partir de sedimentos del fondo de lagos indican establecimiento de bosques de manera generalizada a nivel regional en torno a 11.500 años AP, lo cual es coetáneo con el retroceso profundo del glaciar permitiendo el drenaje del Lago Glacial Puerto Consuelo a través del paso Morla Vicuña.

La extinción de la megafauna terrestre pleistocénica durante la Última Terminación Glacial, datada mediante registros fósiles de Última Esperanza entre ~12.600 y ~10.100 años AP, coincide con el establecimiento generalizado del Bosque Magallánico en los sectores húmedos de la Provincia Última Esperanza, la disminución de precipitación e incremento de temperaturas y actividad de fuego. Dataciones recientemente publicadas con material proveniente de cuevas de Lago Sofía y Cueva del Medio, proveen edades coherentes con esa estimación para la extinción de megafauna a nivel regional.

Interior de la Cueva del Milodón (Fotografía: L. Wäckerling)





Mirador Cueva del Milodón

Coordenadas: 51°34'S - 72°36'O

PARADA

8

Sector: Mirador sobre Cueva del Milodón

El amplio sector que se observa desde el mirador ubicado sobre la Cueva del Milodón, da cuenta de la extensión del lóbulo glacial Última Esperanza, el cual ocupó toda la superficie entre la Cordillera de los Andes y Sierra Dorotea. La evolución de este cuerpo de hielo puede resumirse en 6 etapas: 1) extensión máxima a los ~48.000 años AP; 2) retroceso y avance glacial a una posición levemente menos extensa a los ~34.000 años AP; 3) inicio del colapso del glaciar a los ~17.500 años AP; 4) fase de estabilización glacial que concluyó previo a ~16.200 años AP; 5) fase de reactivación de la actividad glacial entre ~14.600 y ~12.800 años AP; 6) fase de retroceso profundo de los glaciares hasta sus cabeceras en algún momento previo a ~10.300 años AP.

Desde el mirador sobre la Cueva del Milodón se aprecian vestigios de esta actividad del glaciar en las rocas aborregadas de la península Jamón y el afloramiento rocoso Aleta de Tiburón. Las rocas aborregadas de la península Jamón adquirieron su forma debido a que fueron cubiertas por el lóbulo Última Esperanza que, producto de su gran peso y flujo constante a lo largo de su trayecto por miles de años, fue erosionando y moldeando la superficie dando a lugar su forma redondeada característica. En el caso del cerro Aleta de Tiburón, sus laderas abruptas dan cuenta de la acción erosiva del lóbulo Última Esperanza por ambas superficies a lo largo de su línea de flujo.

Vista desde el mirador sobre la Cueva del Milodón (Fotografía: L. Wäckerling)





Glosario

Complejo morrénico: Conjunto de morrenas depositadas durante un mismo evento glacial.

Cuaternario: Período de tiempo geológico que abarca aproximadamente los últimos 2,5 Ma (Millones de años).

Delta glacial: Depósito de sedimento glacial transportado por agua de deshielo que desemboca en un cuerpo de agua, depositando los sedimentos en forma de abanico.

Distal: Aguas abajo.

Glaciar: Gran acumulación perenne de hielo, nieve, agua y sedimentos que fluye debido su propio peso y la fuerza de gravedad. Los glaciares se clasifican según su tamaño, ubicación y régimen termal.

Glaciar piedemonte: Glaciar que al abandonar un enclaustramiento topográfico se expande en todas direcciones de manera radial generando una morfología semejante a un abanico.

Lago proglacial: Cuerpo de agua generado por la acumulación de aguas de deshielo en el frente del glaciar.

Morrena: Colina alargada y semiarqueada generada por acumulación de sedimentos y detritos a lo largo del margen del glaciar cuando éste alcanza una posición de estabilización.

Planicie proglacial de lavado: Planicie formada por sedimentos fluvioglaciales transportados y depositados por corrientes de agua en el frente del glaciar.

Pleistoceno: Período de tiempo geológico que abarca desde los 2,6 Ma hasta los 11.700 años.

Rocas aborregadas: Superficie de roca erosionada por el paso de un glaciar, generando un paisaje compuesto de montículos de roca suavizados.

Sedimento: Fragmentos sólidos que provienen de la desintegración física y química de las rocas.

Till: Acumulación de sedimentos de origen glacial caracterizado por una gran variedad de tamaño; partículas generalmente de forma angulosa y sin estructuras sedimentarias.





Taller online La **RUTA** de los **GLACIARES**

Guía de Campo La Ruta de los Glaciares

Producto financiado por el concurso Proyección al Medio Externo (PME)
del programa Iniciativa Científica Milenio de ANID

Material elaborado por el Núcleo Milenio Paleoclima, NCN17_079
www.paleoclima.cl

Octubre, 2020



Núcleo Milenio
Paleoclima



www.larutadelosglaciares.cl