© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

10 Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael

Frente del glaciar San Rafael, Campo de Hielo Norte. *Fotografía de Nicole Saffie*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael: sitio de importancia global para la investigación del cambio climático

Andrés Moreira-Muñoz [1]*, Juan Luis García [1] & Esteban Sagredo [1]

[1] Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago
* asmoreir@uc.cl

Resumen

El Campo de Hielo Norte es el tercer cuerpo de hielo más extenso del hemisferio sur, después de la Antártica y el Campo de Hielo Sur. Incluye más de 70 glaciares activos, de los cuales la mayoría está actualmente en evidente retroceso. Ello tiene implicancias globales como el aporte del agua de fusión glacial al aumento del nivel global del mar, así como implicancias regionales en cuanto a la mantención en el largo plazo de los sistemas glaciales, ambientales y sociales de la región de Aysén. El Parque Nacional y Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael, que protege actualmente el Campo de Hielo Norte en toda su extensión, es por lo tanto un sitio estratégico para la investigación de frontera en ambientes extremos.

Zusammenfassung

Das Nördliche Patagonische Eisfeld ist nach der Antarktis und dem Südlichen Patagonischen Eisfeld das drittgrößte in der Südhemisphäre. Es umfasst mehr als 70 aktive Gletscher, von denen sich die meisten derzeit im Rückzug befinden. Dies bedeutet sowohl globale Wirkungen wie den weltweiten Meeresspiegelanstieg als auch regionale Herausforderungen wie die langfristige Bewahrung glazialer, ökologischer und sozialer Systeme in der Region von Aysén. Der Nationalpark und der Biosphärenpark Laguna San Rafael, der das gesamte Nördliche Eisfeld einschließt, ist daher ein strategische Gebiet für die Forschungsfront in extremen Umweltbedingungen.

Abstract

The Northern Patagonian Icefield is the third largest in the southern hemisphere, after Antarctica and the Southern Patagonian Icefield. The Northern Patagonian Icefield includes more than 70 active glaciers, of which most are currently in retreat. This has global implications, such as the contribution of glacial melt water in the increase in global sea level, as well as regional implications, including the long-term maintenance of glacial, environmental and social systems in the Aysén Fegion. The Laguna San Rafael National Park and Biosphere , which currently protects the whole Northern Patagonian Icefield, is therefore a strategic site for frontier research in extreme environments.

Keywords: Northern Patagonian Icefield, deglaciation, Holocene glacial variations, calving glaciers, geographic isolation

Moreira-Muñoz A, García JL, Sagredo E (2014) Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael: sitio de importancia global para la investigación del cambio climático. En: A Moreira-Muñoz & A Borsdorf (eds) *Reservas de la Biosfera de Chile: Laboratorios para la Sustentabilidad*. Academia de Ciencias Austriaca, Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Geografía, Santiago, serie Geolibros 17: 210–227

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

10.1 Introducción

La Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael fue declarada como tal en el año 1979 y está conformada únicamente por el Parque Nacional Laguna San Rafael. Se ubica en el centro-oeste de la Región de Aysén, entre los 46° 12' S y 47° 45' S. Con una superficie de 1.742.000 hectáreas, abarca en su totalidad el Campo de Hielo Norte (CHN). Si bien la RB no cuenta aún con una zonificación (núcleo, amortiguación y transición), el núcleo es de por sí uno de los de mayor superficie dentro de las Reservas de la Biosfera (RB) de Chile; abarca más de un tercio de todas las unidades núcleo del territorio nacional (Capítulo 2).

La RB Laguna San Rafael ocupa un lugar central en la red de áreas protegidas de la región de Aysén. Inmediatamente al norte se encuentra la Reserva Nacional Las Guaitecas, mientras que hacia el sur está la Reserva Nacional Katalalixar. Otras unidades un poco más distanciadas son las Reservas Nacionales Cerro Castillo y Jeinimeni hacia el sector andino (Figura 10.1). Estas unidades o espacios de conservación en su conjunto abarcan casi el 50% de la superficie regional (cerca de 5,2 millones de hectáreas); de esta forma es la segunda región administrativa con más superficie protegida del país, sólo superada por la región de Magallanes.

Aun así, no todos los ecosistemas de la región se encuentran adecuadamente protegidos, como es el caso de los bosques, estepas y herbazales del oriente de la región. Los ecosistemas que protege el Parque Nacional Laguna San Rafael son principalmente bosques y matorrales caducifolios y siempreverdes con coníferas, y las turberas. De estos, el piso de vegetación mejor representado es el matorral siempreverde templado costero de ciprés de las Guaitecas y coigüe de Chiloé (Capítulo 2).

Si bien el Parque Nacional cumple un rol fundamental en la protección de los bosques templados subantárticos, la protección del territorio que comprende el Campo de Hielo Norte (CHN), una de las reservas de agua continental más importantes del mundo, le da un carácter de importancia global, acorde con su estatus de Reserva de la Biosfera. Las fluctuaciones de los glaciares del CHN están íntimamente ligados con la evolución de la biosfera de la región y comprende uno de los aspectos de mayor interés de investigación científica en el sur de Sudamérica.

10.2 La importancia del Campo de Hielo Norte

El Campo de Hielo Norte se localiza en los Andes Patagónicos, entre las latitudes 46° 28' y 47° 30' S, manteniendo un eje longitudinal medio en los 73° 30' W. La mayor parte del CHN cubre los Andes entre los 700 y 2.500 msnm, aunque incluye glaciares de desagüe que alcanzan el nivel del mar (por ejemplo el Glaciar San Rafael). Con una longitud aproximada de 120 km y un ancho promedio de entre 30 y 60 km (Harrison et al. 2007), el CHN cuenta con un área estimada de 4.197 km^2 (Rivera et al. 2007). Esto lo convierte en el tercer cuerpo de hielo más extenso del hemisferio sur, después de Antártica y Campo de Hielo Sur. Se han identificado 70 glaciares con una superficie mayor a 0,5 km^2 en el CHN. De estos, 28 poseen una superficie mayor a 5 km^2. Los glaciares más importantes en términos de área corresponden al glaciar San Quintín (790 km^2) y glaciar San Rafael (722 km^2), que en total drenan un 38% del área total del CHN (Rivera et al. 2007).

El Campo de Hielo Norte se encuentra alimentado por abundantes precipitaciones, con montos anuales que van desde los 3.700 mm en la costa, hasta máximos estimados de 6.700 mm en la ladera occidental a 700 msnm (Escobar et al. 1992). En la vertiente andina oriental, a sotavento de los vientos del Oeste, estos montos decrecen sustancialmente. Debido a su posición latitudinal y su distribución altitudinal, el CHN presenta altas tasas de ablación, elevados gradientes de balance de masa y altas velocidades de flujo de hielo (Matsuoka & Naruse 1999). La topografía abrupta propia de los Andes Patagónicos, y los contrastes climáticos observados entre las vertientes orientales y occidentales del CHN, generan las condiciones para crear un sistema glacial muy dinámico y sensible a los cambios climáticos (Hulton & Sugden 1997). Existe evidencia geomor-

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

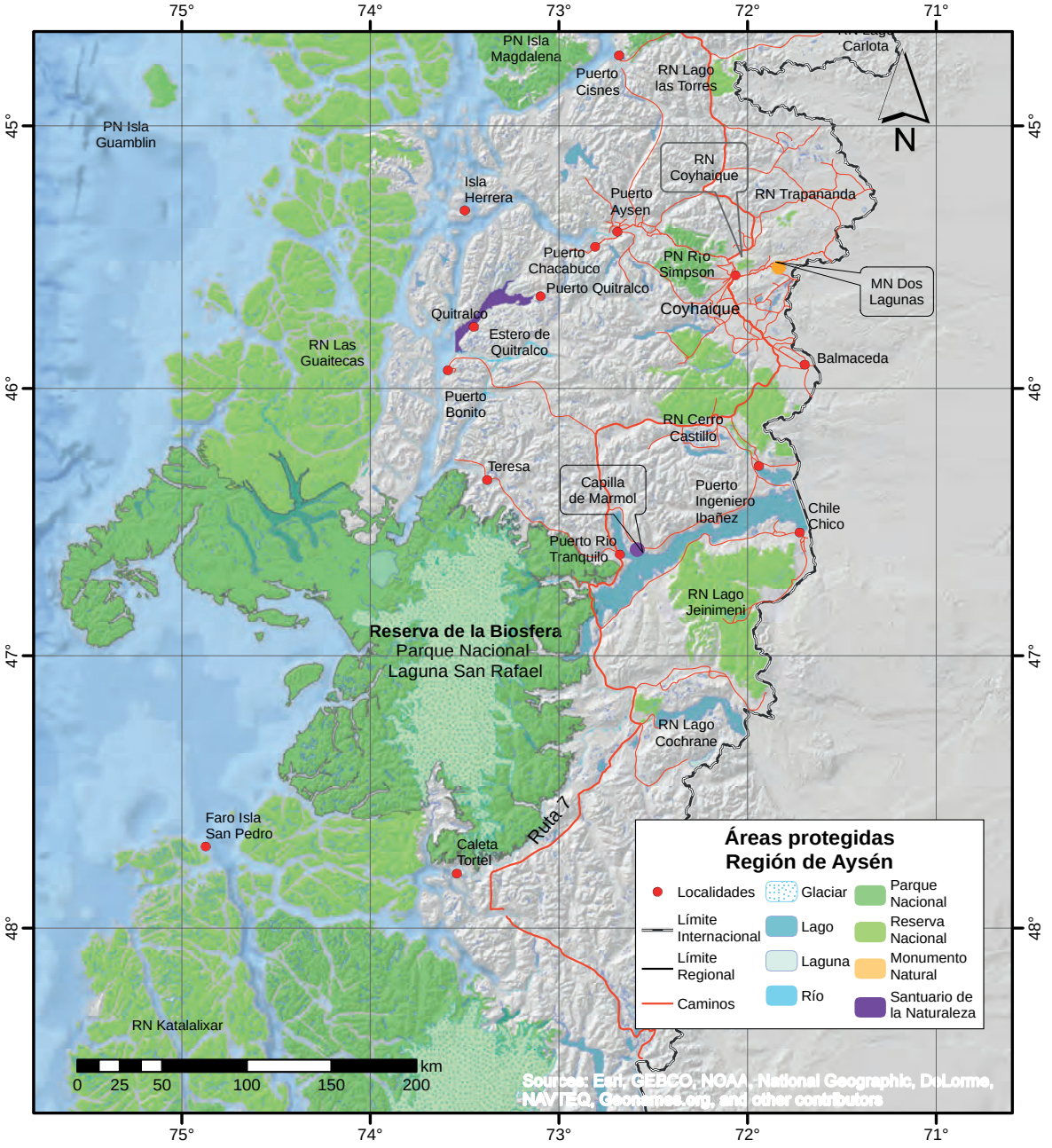

Figura 10.1 El Parque Nacional y Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael en el contexto de conservación de la región de Aysén.
Cartografía: Juan Troncoso

fológica y estratigráfica de importantes fluctuaciones de los hielos, desde antes de la última glaciación (Glasser et al. 2004) y que continúan hasta el presente. Actualmente existe evidencia que la mayoría de los glaciares de CHN se encuentran en retroceso (Rivera et al. 2007).

Los glaciares representan sistemas muy sensibles a cambios climáticos, y han sido ampliamente usados para reconstruir condiciones paleoclimáticas a diferentes escalas temporales y espaciales. Muchas de las hipótesis referentes a las causas asociadas a cambios climáticos de

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

gran escala se basan en la sincronía o asincronía de eventos climáticos ocurridos en regiones distantes (en ambos hemisferios). Lamentablemente, el hemisferio sur presenta una gran carencia de registros paleoclimáticos que permita realizar comparaciones con su contraparte septentrional (Denton & Broecker 2008). En este sentido, establecer una cronología de avances y retrocesos glaciales ocurridos en el pasado, es crucial para descifrar las causas y mecanismos responsables de los cambios climáticos (Lowell et al. 1995, Denton et al. 1999a, Moreno et al. 2001, Glasser et al. 2004, García et al. 2012). Por todo lo anteriormente mencionado, los campos de hielo en el sur de Sudamérica, representan laboratorios naturales idóneos para poner a prueba y generar nuevas hipótesis referentes a los cambios climáticos.

10.2.1 Métodos para reconstruir fluctuaciones glaciales ocurridas en el pasado

Existe una gran diversidad de métodos para reconstruir fluctuaciones glaciales pasadas. Todos estos métodos comparten como base la identificación de geoformas glaciales para entender los avances y retrocesos del hielo en el pasado. Para cumplir este objetivo, es necesaria la elaboración de una cartografía geomorfológica glacial, donde se identifiquen unidades geomorfológicas asociadas a la acción del hielo, tales como crestas morrénicas, planicies de lavado fluvioglacial, canales de aguas de deshielo, deltas glaciofluviales, rocas aborregadas, entre otras (Glasser & Hambrey 2002, Glasser et al. 2005, Mardones et al. 2011, García 2012). Para construir estas cartas geomorfológicas, generalmente se utiliza fotografías aéreas e imágenes satelitales; en estrecha relación con lo anterior, se encuentra el análisis de secciones estratigráficas. A través del estudio de secuencias y estructuras sedimentarias, es posible identificar los procesos y ambientes deposicionales existentes en el área durante los eventos glaciales (Turbek & Lowell 1999, Sagredo et al. 2011). Una vez identificados los antiguos límites del hielo, es crucial poder establecer la edad de estas posiciones glaciales. Para ello existen numerosos métodos geocronológicos, entre los que destacan las dataciones radiocarbónicas (^{14}C) y de isótopos cosmogénicos (como el berilio-10; ^{10}Be). El primero de estos métodos permite datar material orgánico incorporado en depósitos glaciales o en cuencas sedimentarias asociados a geoformas de origen glacial (Heusser 2003). Este método permite datar eventos glaciales de hasta ~35.000 años antes del presente (AP).

Por otro lado, el método de datación por exposición a la radiación cosmogénica permite datar superficies de rocas que han estado expuestas al cosmos durante un período de tiempo. Cascadas de partículas cósmicas colisionan y reaccionan con los materiales líticos de la superficie de la Tierra lo que resulta en la producción de nucleidos cosmogénicos terrestres (NCT). La producción de NCT en superficies de rocas es entonces directamente proporcional al tiempo de exposición a la radiación cosmogénica y por ende su uso como cronómetro tiene una inmensidad de aplicaciones geomorfológicas. Para la datación de avances glaciales, por ejemplo, se obtienen múltiples muestras de bloques en la superficie de crestas morrénicas para su análisis (Figura 10.2), obteniendo así la edad de la culminación de un avance glacial, representado por la cresta morrénica fechada de esta forma. La datación de un sistema compuesto de arcos morrénicos entrega por ende información única sobre las fluctuaciones glaciales / climáticas de una región en el tiempo. Este método tiene el potencial de datar avances glaciales de cientos, miles e incluso millones de años (Gosse & Phillips 2001).

De igual manera, la liquenometría y dendrocronología son otros dos métodos geocronológicos utilizados para datar avances glaciales ocurridos durante los últimos cientos a miles de años. La liquenometría estudia el tamaño de ciertas especies de líquenes considerados como indicadores (e. g. *Placopsis perrugosa* y *Placopsis patagonica)* que crecen en superficies recientemente deglaciadas. Por ejemplo, se ha estimado que estos líquenes crecen a una tasa de 4,7 mm / año en las zonas expuestas luego del retroceso del glaciar San Rafael (Harrison et al. 2007). La dendrocronología, por otra parte, se basa en la cuantificación de los anillos de ciertas especies de árboles encontrados en áreas deglaciadas y morrenas.

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Figura 10.2 Investigador colectando muestras de roca para datación, utilizando el método de exposición cosmogénica. Monte San Lorenzo, región de Aysén, marzo 2013. *Fotografía de José Araos*

Algunas de las especies analizadas han sido el coigüe de Chiloé, el coigüe de Magallanes, la lenga y el ñirre, abundantes en la región de la RB San Rafael. Crítico, tanto para el análisis de los resultados de liquenometría como para la dendrocronología, resulta el cálculo del desfase temporal entre el retroceso del frente del hielo y la colonización del terreno deglaciado por las especies vegetales. Se ha estimado que este proceso puede tardar entre 22 y 93 años (Winchester & Harrison 2000).

Para el estudio de fluctuaciones glaciales más recientes se utilizan fotografías aéreas (cuya antigüedad se remonta a 1945 en el área de interés), imágenes satelitales, registros históricos (mapas, fotografías, crónicas de exploradores, etc.) y más recientemente altimetría laser ("airborne laser altimetry") que busca determinar cambios a nivel centimétrico de la topografía superficial y adelgazamiento del hielo (Keller et al. 2007).

10.2.2 Cronología de fluctuaciones glaciales del Campo de Hielo Norte

Durante el Último Máximo Glacial global (UGM), entre ~23.000–18.000 años AP (Mix et al. 2001), en las zonas cordilleranas del sur de Sudamérica, grandes cuerpos glaciales expandieron y coalescieron, formando un gran manto de hielo continuo al sur de los 38°S (Holling & Schilling 1981). Cronologías de fluctuaciones de los glaciares que hoy conforman el Campo de Hielo Norte para este período son escasas, pero las evidencias muestran que el manto de hielo que cubrió los Andes del sur se restringió principalmente a la cordillera y sectores adyacentes entre 38°–43° S (Denton et al. 1999b, García 2012). Hacia el sur los glaciares habrían alcanzado casi ininterrumpidamente la costa Pacífica en el oeste y las planicies patagónicas en el este (Clapperton 1993).

Según Kaplan et al. (2004) y Douglass et al. (2006) el hielo habría alcanzado la máxima extensión durante la última glaciación hace – 28.000 AP (edades recalculadas por M. Kaplan, comunicación personal) en el área del Lago General Carrera (46° 30' S). Por otra parte, Hein et al. (2010) proponen que el hielo habría alcanzado su máxima extensión en el área de Lago Cochrane (47° 15' S) hace – 30.000 años AP. Los tres estudios fueron elaborados sobre la base de dataciones cosmogénicas. Después que el hielo logró su máxima extensión, ambos lóbulos (General Carrera y Cochrane) permanecieron en las cercanías de esta posición más extensa hasta ~18.000 años AP, cuando se inicia la deglaciación.

A partir de 18.000 años AP existe evidencia de un proceso inicial de deglaciación rápido y profundo (Turner et al. 2005, Hein et al. 2010). Villa-Martínez et al. (2012) encontraron que el hielo en el sector de valle Chacabuco (47° 05' S) habría retrocedido ~90 km durante los primeros 2.000 años de deglaciación. Similares resultados fueron obtenidos por Hein et al. (2010) en el vecino valle Cochrane.

Una vez iniciada la deglaciación, grandes lagos proglaciales represados por hielo se formaron al este de los lóbulos Lago General Carrera, valle Chacabuco y Lago Cochrane (Turner et al. 2005, Bell et al. 2007, Hein

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

et al. 2010, Villa-Martínez et al. 2012). Evidencias de los diferentes niveles lacustres alcanzados por estos lagos sugieren potencialmente que la deglaciación se vio interrumpida por fases de estabilización y reavances glaciales (Villa-Martínez et al. 2012).

Un aspecto interesante es la aparente diferencia en la estructura de la deglaciación que existe entre las vertientes occidentales y orientales de los Campos de Hielo Sur y Norte. Mercer (1976) propuso que los glaciares de la cuenca Pacífica de Patagonia Occidental (glaciares Témpanos, San Rafael, Bernardo, entre otros) se encontraban entre 15.000 y 11.500 AP en una posición más retraída que la del presente. En cambio, los glaciares de la vertiente oriental respondieron a la Reversión Fría Antártica (14.600–13.000 AP) y reavanzaron producto de condiciones frías regionales (Strelin et al. 2011, García et al. 2012).

La última terminación glacial entonces, parece haber tenido un carácter asimétrico en ambas laderas de los Andes Patagónicos, aunque aún no se entienden bien las causas de ello y los registros paleoglaciales son escasos.

Cabe destacar que durante el UMG los Campos de Hielo no existían como cuerpos individuales, tal como los conocemos hoy en día, sino más bien formaban una masa de hielo continua. La primera evidencia de la separación del Campo de Hielo Norte y Sur durante la última terminación fue provista por Mercer (1976), quien identificó notables reversiones del drenaje de paleolagos primero drenando hacia la cuenca del océano Atlántico y luego al Pacífico hacia los 13.500 años AP. Esta observación tiene como implicancia directa la apertura de un canal de desagüe hacia el océano Pacífico, indicando que los Campos de Hielo se habrían separado en esas fechas.

Ya en el Holoceno (últimos 11.500 años), diferentes glaciares del CHN experimentaron actividad glacial renovada (Neoglaciaciones). Sin embargo, la cronología de estos avances glaciales está aún en discusión. En el Recuadro 10.1 se expone una breve síntesis de la reconstrucción de las fluctuaciones del glaciar San Rafael.

10.3 Implicancias de la deglaciación actual

La deglaciación actual en Patagonia, que se viene desarrollando desde aproximadamente mediados del siglo XIX, no solo tiene implicancias locales sino también tiene repercusiones globales. Una de ellas es el aporte del agua de fusión glacial al aumento del nivel global del mar. Por ejemplo, Rignot et al. (2003) demostraron, sobre la base de un análisis comparativo de modelos de elevación digitales y cartografía topográfica, que en las últimas décadas el aporte de glaciares de los campos de hielo Norte y Sur al aumento del nivel del mar alcanzaba 0.105 ± 0.011 mm año^{-1}, una tasa que está por sobre los glaciares de Alaska, si se compara por unidad de superficie. Luego Glasser et al. (2011), sobre la base de métodos aplicados con sensores remotos y de terreno, cuantificaron la disminución del volumen de hielo del CHN en 103 ± 20.7 km^3 durante los últimos ~150 años. Esto se traduce en un aumento del nivel del mar equivalente a 0.0018 ± 0.0004 mm año^{-1} desde 1870, con un claro aumento en este valor para los últimos 50 años.

A partir del siglo XX, los glaciares tanto en el Campo de Hielo Norte como Sur, han experimentado una tendencia muy marcada al retroceso frontal, adelgazamiento y pérdida de superficie. Se estima que el CHN ha perdido un volumen de cerca de 100 km^3 de hielo desde 1870, mientras que el Campo de Hielo Sur ha perdido cerca de 500 km^3 desde 1650 (Glasser et al. 2011).

Se ha sugerido que este proceso ha respondido al calentamiento de la atmósfera (Rosenbluth et al. 1997) y quizás a un cambio en las precipitaciones en la zona de acumulación de los glaciares. Por ende, el estudio de la dinámica glacial actual es de gran relevancia para el entendimiento de las tasas de cambio locales y regionales de la criósfera en la Patagonia, así como los cambios en el nivel del mar. Además, desde una perspectiva aplicada, el estudio de la dinámica glacial es clave para la planificación del uso sustentable de los recursos hídricos de la región (Recuadro 10.2).

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Recuadro 10.1 El glaciar San Rafael y sus fluctuaciones durante el Holoceno

El glaciar San Rafael es una glaciar templado, ubicado en la vertiente occidental del CHN (46° 41' S; 73° 54' W). Con sus 722 km^2 es el segundo cuerpo de hielo más extenso del CHN, ocupando un 17% de su superficie. Los 3 km de frente del glaciar San Rafael están en contacto directo con el Océano Pacífico; esto convierte a San Rafael en el ventisquero que desemboca en el mar, de menor latitud en el planeta (Warren & Sugden 1993; Figura 10.3).

Numerosos estudios han intentado establecer la cronología de fluctuaciones del glaciar San Rafael durante los últimos siglos (Mercer 1982, Casassa & Marangunic 1987, Harrison et al. 2007, Rivera et al. 2007). Estos estudios incluyen evidencia dendrocronológica, radiocarbónica / estratigráfica e histórica a partir de relatos de viajes, fotografías aéreas e imágenes satelitales.

A 10 km del margen de hielo actual, tres sistemas de morrenas encierran la Laguna San Rafael, marcando la posición más extendida del glaciar durante el Holoceno, cuando éste avanzó y formó un gran glaciar de piedemonte (Figura 10.4). Estos sistemas morrénicos han sido denominados Témpanos I, II y III, desde el más antiguo al más joven (Muller 1960, Heusser 1960).

Harrison et al. (2012) proponen que el glaciar San Rafael avanzó hasta los márgenes de la Laguna San Rafael entre 9.300 y 9.700 años AP. Luego habría retrocedido para volver a avanzar nuevamente a los 7.700 años AP. Además, sus datos sugieren que el glaciar San Rafael habría avanzado hace 5.700 años AP (Figura 10.4). Estas edades fueron calculadas usando el método de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL por su sigla en inglés). Este método permite datar el tiempo por el cual sedimentos arenosos han estado enterrados.

Los registros más antiguos para el período histórico corresponden a 1675, cuando el piloto español Antonio de Vea visitó el área y describió la posición del glaciar San Rafael. Estas observaciones pioneras sitúan el frente del glaciar en una posición similar a la actual. De acuerdo a la evidencia existente, al parecer el glaciar San Rafael alcanzó su máxima extensión histórica en el año 1875, cuando el margen glacial ocupaba gran parte de la Laguna San Rafael (Steffen 1947, Winchester & Harrison 1996, Araneda et al. 2007, Harrison et al. 2007; Figura 10.4e). Existe evidencia que, desde mediados del siglo XX, con la excepción de algunos años, el glaciar San Rafael ha estado experimentando un constante retroceso (Aniya 1988, Rivera et al. 2007; Figura 10.4f).

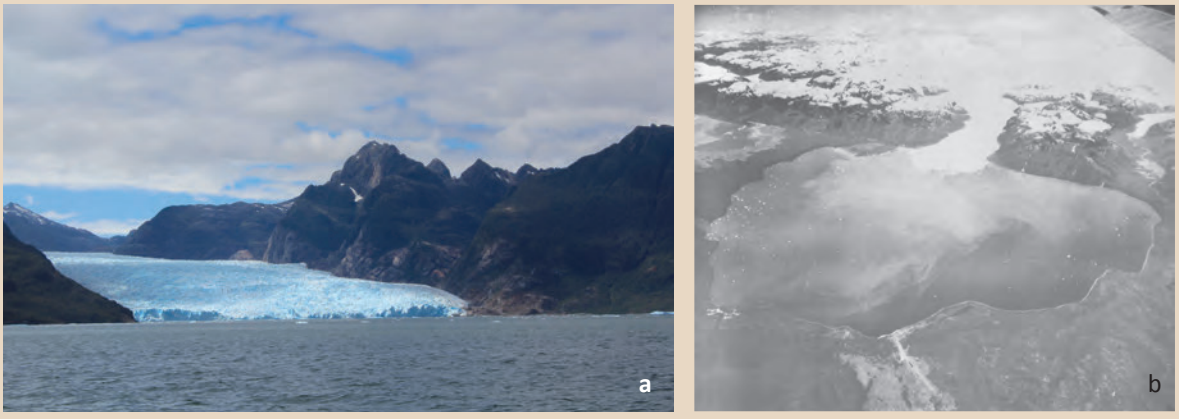

Figura 10.3 Laguna San Rafael: **a** Posición actual del frente glacial; **b** fotografía aérea del año 1944. *Fotografías de: Nicole Saffie (a); vuelo Trimetrogon 555 L.91, en Paskoff (1996) (b)*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

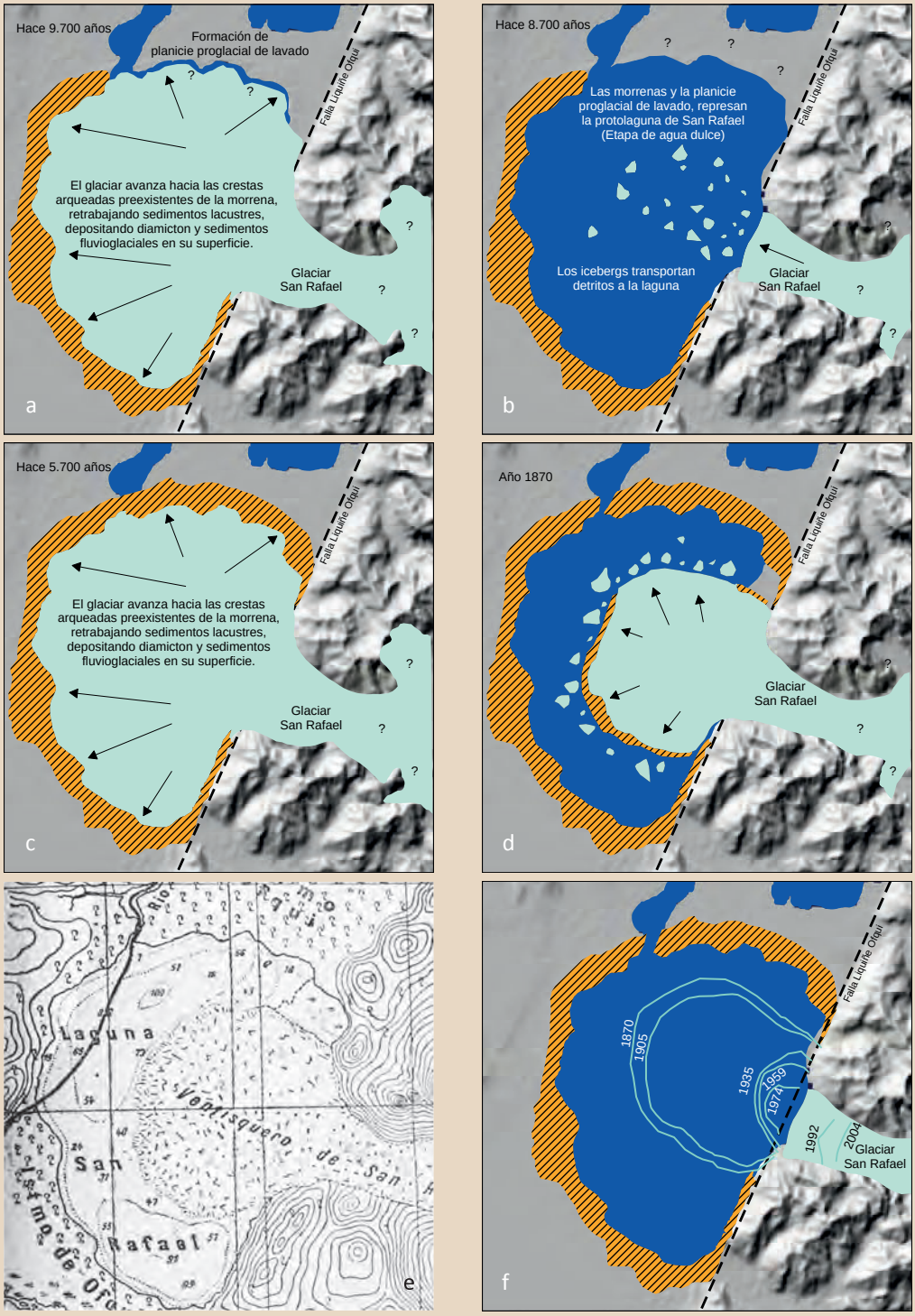

Figura 10.4 Posible posición del glaciar San Rafael en distintos períodos de los últimos 10.000 años: **a** hace 9.700 años AP; **b** 8.700 años AP; **c** 5.700 años AP; **d e** en el año 1870; **f** posición actual. *Cartografía: Juan Troncoso. Fuentes: Harrison et al. (2012) (a, b, c, d); Steffen (1947) (e); Glasser et al. (2006) (f)*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

10.4 Potencial para la investigación en ambientes extremos

Dados los antecedentes de siglos de exploración en la zona de interés anteriormente descrita, con la presencia constante de investigación más sistemática y moderna desde hace algunas décadas, es posible plantear varias líneas de investigación en el corto plazo en el Campo de Hielo Norte y la RB Laguna San Rafael, dentro de cuya zona de amortiguación se sitúa la concesión UC Bahía Exploradores. Dentro de las temáticas de investigación pertinentes al área se pueden destacar:

- Fluctuaciones glaciales y balance de masa; proyecciones de avances / retrocesos del hielo, en relación con variables climáticas asociadas a cambios locales y globales; aportes al nivel glacioeustático del mar.
- Recolonización vegetacional de ambientes deglaciados (Figura 10.5).
- Sucesión vegetacional y cambios de vegetación en gradientes altitudinales; gradientes de diversidad en diversos hábitat.
- Riqueza florística y diversidad de especies en los diferentes ambientes asociados al Campo de Hielo, capturando especialmente las diferencias en el gradiente W-E.
- Historia y prehistoria de la ocupación del territorio austral.
- Historia ambiental y colonización de la región de Aysén.
- Capacidades de carga turística para distintos ambientes.
- Instrumentos de gestión de Reservas de la Biosfera.
- Incentivos para la promoción del desarrollo sustentable.
- Arquitectura sustentable en ambientes extremos (Recuadro 10.3).

Figura 10.5 Recolonización vegetacional por plantas vasculares y líquenes en la morrena frontal del glaciar Exploradores. *Fotografía de A. Moreira-Muñoz*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Recuadro 10.2 Bahía Exploradores UC: investigación interdisciplinaria en el Campo de Hielo Norte

Alejandro Salazar* & Pablo Osses, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile
*asalazab@uc.cl

Dentro del área de influencia de la Reserva de la Biosfera, que podría ser parte de la futura zona de amortiguación, se localiza el proyecto Bahía Exploradores UC (Figura 10.6). Este proyecto surgió a fines del año 2009 con la entrega en concesión de un predio fiscal por parte del Ministerio de Bienes Nacionales a la Pontificia Universidad Católica de Chile, y se encuentra bajo la gestión del Instituto de Geografía UC, en conjunto con las Facultades de Agronomía, Ciencias Biológicas y Arquitectura & Diseño.

El desarrollo de este proyecto posibilita la integración de una red de sitios de investigación y educación UC a lo largo del país, para el estudio del cambio climático, desde una perspectiva interdisciplinaria y latitudinalmente amplia, en cooperación con otras instituciones de investigación tanto internacional como nacional y regional que se encuentran en Patagonia, como el Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) [http://www.ciep.cl/].

Bahía Exploradores se ubica a unos 350 km al sur de Coyhaique, en la confluencia del Río Exploradores con el Estero San Francisco o Cupquelán, a 80 km al oeste de la localidad de Puerto Río Tranquilo en el Lago General Carrera, a través de los valles de los ríos Tranquilo y Exploradores (Figura 10.6).

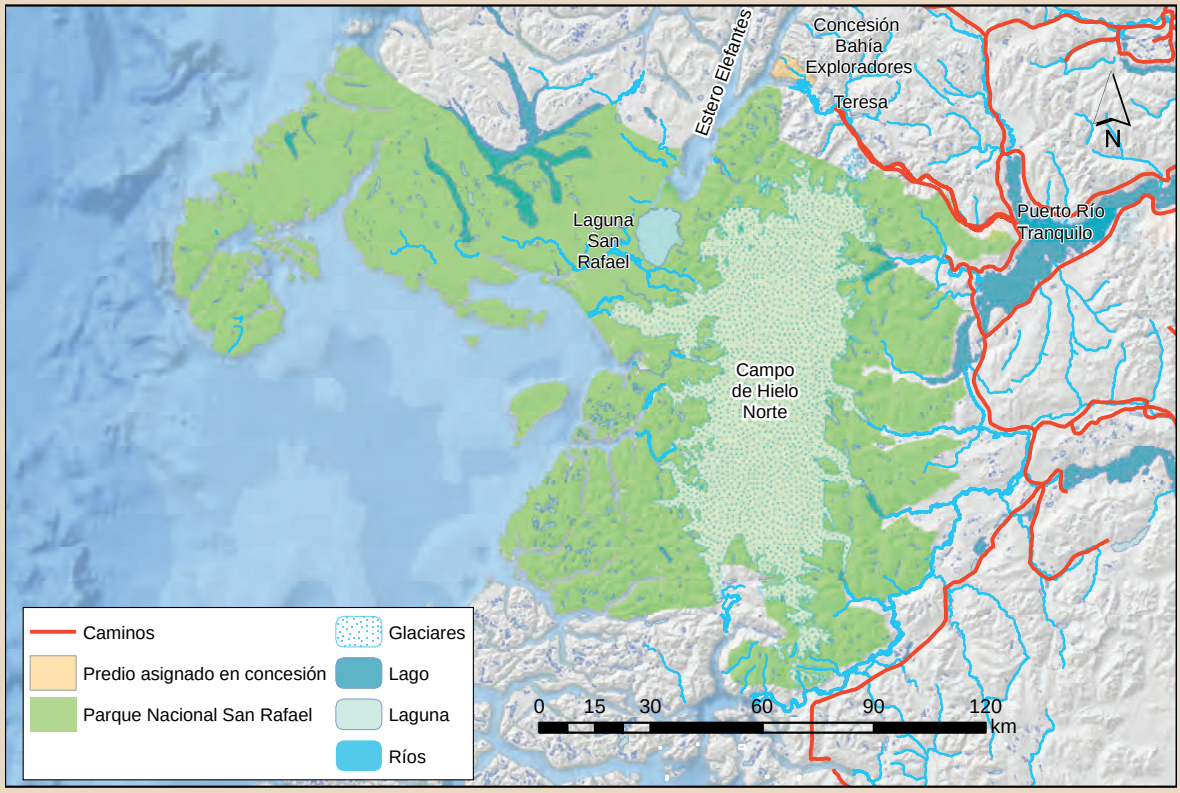

Figura 10.6 Localización de la Concesión Bahía Exploradores UC en el límite norte del Parque Nacional y Reserva de Biosfera Laguna San Rafael. *Cartografía: Juan Troncoso*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

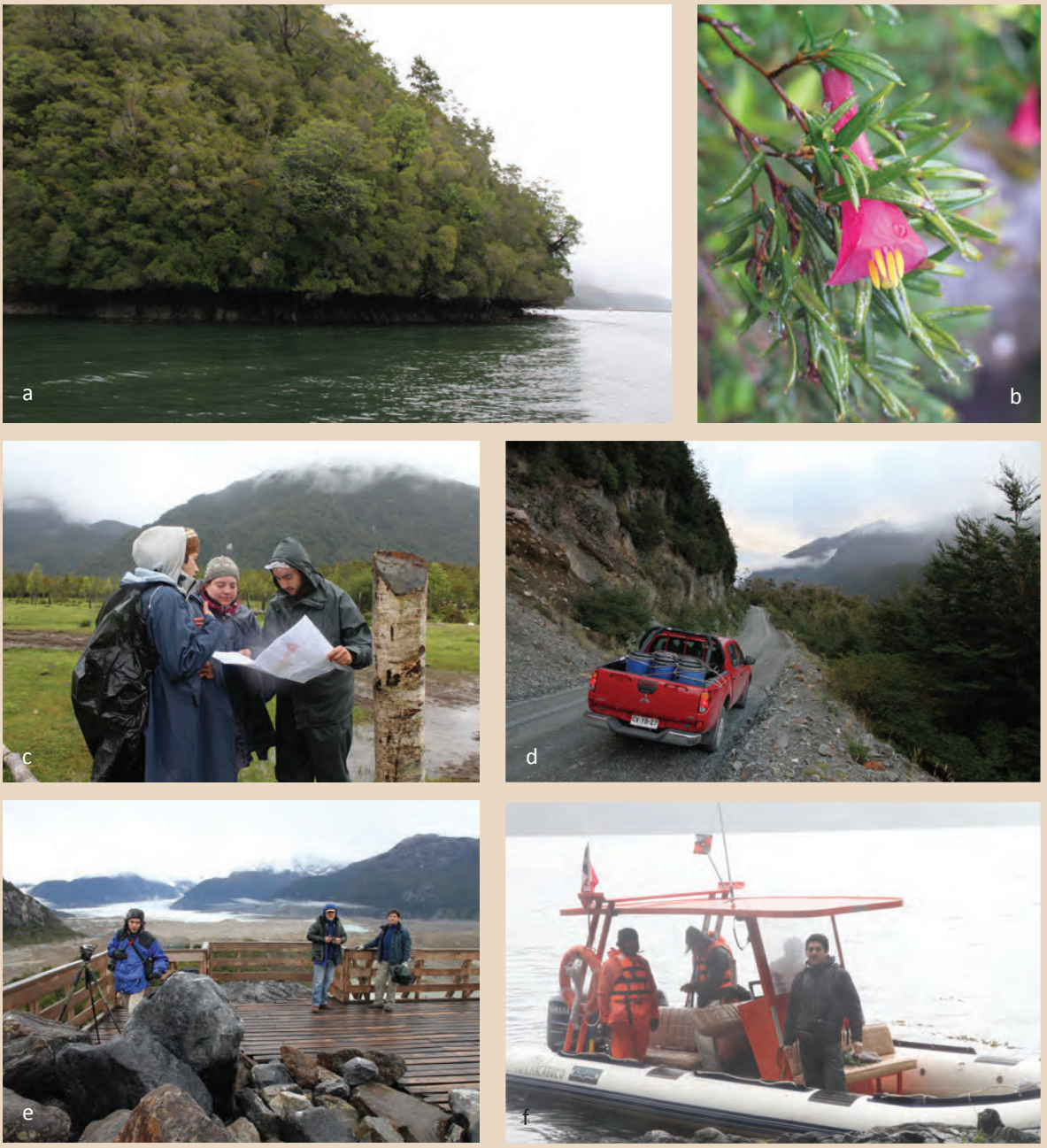

Figura 10.7 Aspectos de la Concesión Bahía Exploradores UC: **a** bosques subantárticos en el Estero Cupquelán; **b** coicopihue (*Philesia magellanica*); **c** estudiantes de geografía UC en terreno; **d** Ruta 7: Río Tranquilo - Bahía Exploradores; **e** equipo de investigadores en mirador del glaciar Exploradores; **f** reconocimiento de los límites del predio en zodiac. *Fotografías de Nicole Saffie (c), y A. Moreira-Muñoz (a, b, d, e, f)*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

La concesión comprende más de 5.000 hectáreas de bosques patagónicos, esteros, cuerpos de agua y paisajes prístinos que destacan por su localización estratégica al interior de la Patagonia chilena. Se encuentra próxima a diversas reservas y parques nacionales de gran valor ambiental y biogeográfico y a circuitos turísticos de nivel internacional, en especial al Parque Nacional Laguna San Rafael, el que constituye un lugar privilegiado para el desarrollo del turismo de intereses especiales.

El descubrimiento del Valle Exploradores se remonta a las expediciones del destacado explorador Juan Augusto Grosse, en la década del '40. En la búsqueda de las mejores rutas para integrar y conectar la Patagonia chilena, Grosse se transformó en un colonizador de estas remotas tierras. El reconocimiento de esta zona representó la respuesta a su preocupación desde el año 1932, a propósito de la búsqueda de una salida al Océano Pacífico desde el Lago General Carrera (Borsdorf 1987, Borsdorf 2011). Por muchas décadas, esta misión no tuvo mayor progreso, ya que las características geográficas del territorio hacían difícil el acceso a la zona y su integración al contexto regional. La factibilidad de conexión terrestre se logró recién en 1944 (Grosse 1955, Salazar et al. 2011). A partir del año 2009, se ha avanzado en la construcción de la Ruta 7: Río Tranquilo – Bahía Exploradores (Figura 10.7). Este hecho ha significado una superación del aislamiento histórico del territorio.

El aumento de la conectividad y accesibilidad genera una serie de transformaciones territoriales. El camino podría convertirse en un importante factor de desarrollo económico al impulsar el turismo, pero al mismo tiempo ha sido un "expulsor"de los habitantes locales, quienes han optado por vender sus tierras para emigrar hacia otros lugares. De esta manera, las perspectivas y los avances recientes en las condiciones de accesibilidad terrestre del sector, respecto de la Laguna de San Rafael y la carretera austral, hacen prever una mayor presión sobre los usos del suelo en los próximos años, ligada tanto al desarrollo de actividades e infraestructura turísticas, de conservación ambiental, como a la actividad acuícola.

El Valle Exploradores se posiciona así como parte de un circuito (por vía terrestre) para los turistas que quieran visitar la Laguna San Rafael, por lo que se debe articular dentro de la planificación del parque. Esta situación abre las puertas a una serie de iniciativas turísticas, científicas, educativas y ambientales. Es importante destacar que este lugar tiene condiciones privilegiadas para el estudio del cambio climático, ya que presenta muy bajos niveles de intervención en su biodiversidad terrestre y marina, además de los modos de vida de las comunidades que históricamente han sido parte de este territorio.

Se debe destacar que esta situación fuerza a preparar, como perspectivas de investigación, las bases del conocimiento científico del área y su zona de influencia, de manera de contribuir a la conservación y a una utilización sustentable en el mediano y largo plazo, tanto para los elementos del medio natural como social. Esta iniciativa científica debiera permitir generar proyectos de conservación, turismo y desarrollo sustentable, en el marco de un modelo de uso del territorio integrado, incorporando sus particularidades ambientales y sociales.

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Recuadro 10.3 Proyecto Centro de Investigación Multidisciplinario en Bahía Exploradores

Catalina Pérez* & Rosanna Cáceres, Escuela de Arquitectura UC, Taller de Ejercitación 2012, profesor Alex Moreno, * cfperez4@uc.cl

La idea estructurante del proyecto comprende una red de senderos para que la concesión pueda ser explorada a cabalidad. Para esto se plantea un sendero principal que una los dos puntos de acceso por vía marítima: desde la desembocadura del Río Exploradores y desde la desembocadura del Río Las Mentas, en los cuales se proyectan refugios de investigación. A partir de este sendero nacerían otros tres senderos que se dirigen a las cumbres, con el objetivo de observar la totalidad del territorio (Figura 10.8).

Proyecto Refugio-Acceso: "Centro de Investigación Científica Exploradores"

El proyecto es el primer refugio a construirse dentro del terreno en concesión, de modo que es la primera conquista del territorio. Se presenta como un sector de paso, como el hito que marca la llegada del hombre al terreno. Este refugio

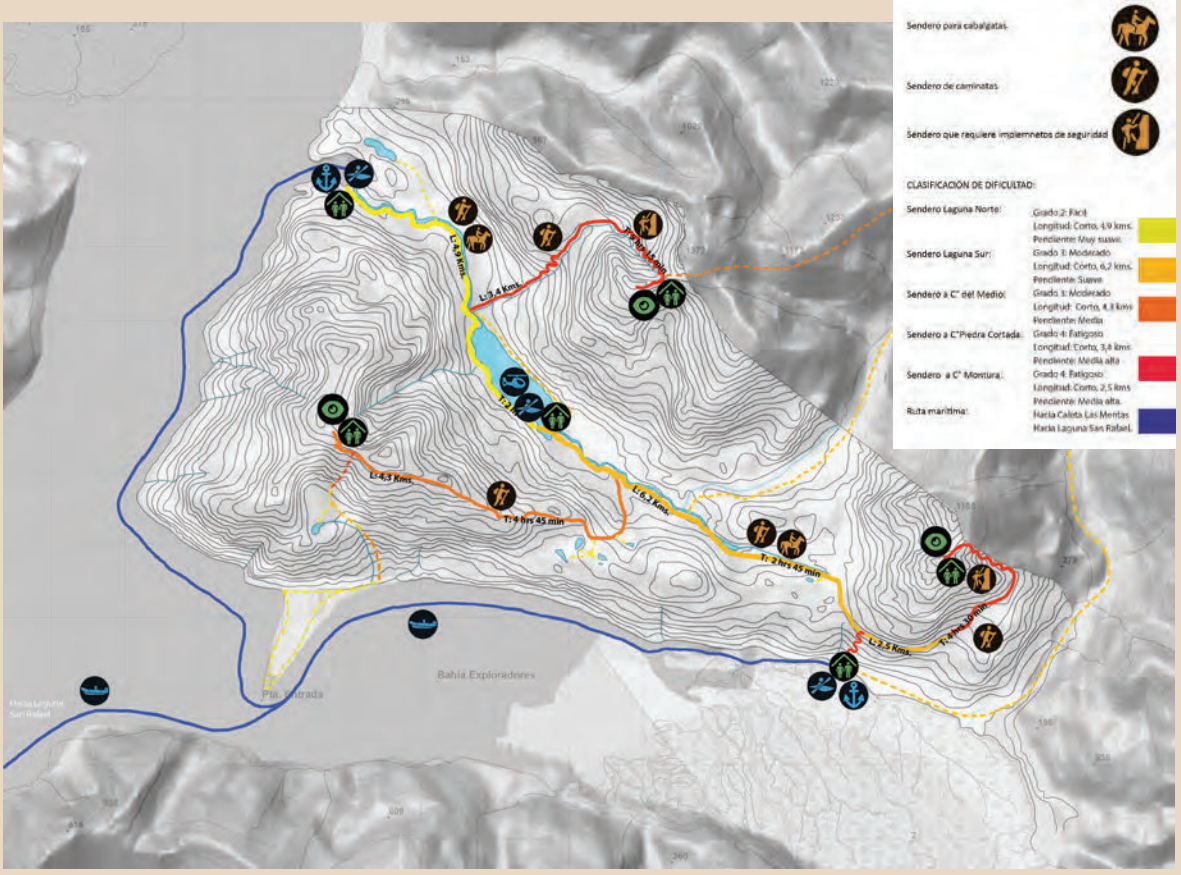

Figura 10.8 Ejercicio de Plan Maestro del proyecto, incluyendo red de senderos, huellas y rutas marítimas. *Cartografía: Catalina Pérez y Rosanna Cáceres*

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Figura 10.9 Corte del Proyecto: acceso al territorio. *Diseño de Catalina Pérez y Rosanna Cáceres*

es el punto de acceso al territorio, por lo que representa la conexión entre el mar y el bosque, y la internación en este mismo. Este proceso de internación se refleja en la forma del refugio: un puerto formado por una estructura flotante que continúa como un sendero de madera que se eleva sobre el desnivel del terreno a través de palafitos. Sobre esta plataforma se construye el edificio: en forma de umbral para generar un techo que albergue a los transeúntes del lluvioso clima de la zona (Figura 10.9).

El proyecto conforma una pequeña estación intermodal: es un área donde confluyen, se relacionan, y se distribuyen distintos tipos de flujos: peatones, kayacks, zodiacs, personas a caballo, etc.

Debido a la diversidad de flujos y a sus diversos tiempos de permanencia el refugio se plantea como un lugar de paso, brindando las comodidades básicas para la estadía (2–3 días) tanto de turistas como de investigadores: comida, calefacción, literas para pernoctar, baños, duchas, etc. Paralelamente, considera la permanencia de un grupo menor de investigación. Para esto consta con un laboratorio de investigación orientado a la exploración de la flora y fauna de los canales.

Los materiales del proyecto se relacionan directamente con el territorio: madera y materiales de alta tecnología para impermeabilizar, aislarse del frío y del viento, y para conservar el calor, constituyen las diversas partes del refugio.

El proyecto se construye en dos niveles de modo de maximizar el uso del calor generado por la calefacción a leña: en un primer nivel se encuentran el estar, la cocina, baños y laboratorios. En el segundo nivel se disponen los dormitorios.

Refugio Cumbres

Los exploradores de estos vastos territorios suelen llegar a las cumbres, ya que desde el punto más alto aparece la noción de conquista del territorio y de haber superado las dificultades. Desde la altura es posible abarcar

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Figura 10.10 Imagen nocturna del Refugio Cumbres. *Diseño de Catalina Pérez y Rosanna* Cáceres

con la vista referencias geográficas y la extensión del territorio que ha sido recorrido. Para esto se concibe un refugio cercano a cada una de las cumbres como punto clave de estudio.

La intención es generar un lugar enfocado paralelamente al estudio geográfico y al turismo, generando senderos hasta las cumbres que culminen en miradores informativos, y antecedidos por pequeños refugios ubicados bajo las cumbres, para quienes deban o deseen pasar la noche en estos lugares. Estos refugios están pensados como lugares de sobrevivencia, por lo que entregan lo necesario para pasar unas cuantas noches, alimentos no perecibles, fuego y un lugar donde dormir (Figura 10.10).

El proyecto se genera a través de dos niveles de materiales opuestos, uno relacionado con el lugar: aprovecha la piedra de las cumbres y otro relacionado con los nuevos materiales: las telas de alta tecnología que se utilizan como protección de las duras condiciones climáticas del lugar.

Este refugio está pensado para un máximo de seis personas. El primer nivel está diseñado como un solo espacio donde estarían almacenados los víveres, las herramientas y desde donde se generaría el calor. Como el calor sube, en un segundo nivel está el espacio para que seis personas con sacos de dormir, puedan descansar.

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

10.5 Referencias

Aniya M (1988) Glacier inventory for the Northern Patagonia Icefield, Chile, and variations 1944/45 to 1985/86. *Arctic and Alpine Research* 20: 179–187

Araneda A, Torrejón F, Aguayo M, Torres L, Cruces F, Cisterna M, Urrutia R (2007) Historical records of the San Rafael glacier advances (North Patagonian Ice Field): another clue to Little Ice Age timing in southern Chile. *The Holocene* 17 (7): 987–998

Bell RE, Studinger M, Shuman CA, Fahnestock MA, Joughin I (2007) Large subglacial lakes in East Antarctica at the onset of fast-flowing ice streams. *Nature* 445 (22): 904–907

Borsdorf A (1987) *Grenzen und Möglichkeiten der räumlichen Entwicklung in Westpatagonien am Beispiel der Region Aisén. Natürliches Potential, Entwicklungshemmnisse und regionalplanungsstrategien in einem lateinamerikanischen Peripherieraum.* In: Deutsche Ibero-Amerika-Stiftung (ed.), Acta Humboldtiana 11. Steiner Wiesbaden Stuttgart.

Borsdorf A (2001) Lugares aislados en Aysén: Impresiones de una visita en 1979. In: Arenas F, Salazar A, Nuñez A (eds) *El aislamiento geográfico: ¿Problema u oportunidad? Experiencias, interpretaciones y políticas públicas.* Geolibros 15. Santiago de Chile:9 4–102

Casassa G, Marangunic C (1987) Exploration history of the Northern Patagonia Icefield. *Bulletin of Glacier Research* 4: 163–175

Clapperton CM (1993) *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam Denton GH, Broecker WS (2008) Wobbly ocean conveyor circulation during the Holocene? *Quaternary Science Reviews* 27: 1939–1950

Denton GH, Heusser CJ, Lowell TV, Moreno PI, Andersen BG, Heusser LE, Schlüchter C, Marchant DR (1999a) Interhemispheric linkage of paleoclimate during the last glaciation. *Geografiska Annaler, Series A – Physical Geography* 81A (2): 107–153

Denton GH, Lowell TV, Moreno PI, Andersen, BG, Schlüchter C (1999b) Geomorphology, stratigraphy, and radiocarbon chronology of Llanquihue Drift in the area of the Southern Lake District, Seno de Reloncaví and Isla Grande de Chiloé. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 81A (2): 167–229

Douglass DC, Singer BS, Kaplan MR, Mickelson DM, Caffee MW (2006) Cosmogenic nuclide surface exposure dating of boulders on last-glacial and late-glacial moraines, Lago Buenos Aires, Argentina: Interpretive strategies and paleoclimate implications. *Quaternary Geochronology* 1: 43–58

Escobar F, Vidal F, Garín C (1992) Water balance in the Patagonia icefield. En: R Naruse & M Aniya (eds) *Glaciological Researches in Patagonia*. Japanese Society of Snow and Ice: 109–119

García JL (2012) Late Pleistocene ice fluctuations and glacial geomorphology of the Archipiélago de Chiloé, southern Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 94: 459–479

García JL, Kaplan MR, Hall BL, Schaefer JM, Vega RM, Schwartz R, Finkel R (2012) Glacier expansion in southern Patagonia throughout the Antarctic cold reversal. *Geology* 40 (9): 859–862

Glasser NF, Hambrey MJ (2002) Sedimentary facies and landform genesis at a temperate outlet glacier: Soler Glacier, North Patagonian Icefield. Sedimentology 49 (1): 43–64

Glasser NF, Harrison S, Winchester V, Aniya M (2004) Late Pleistocene and Holocene palaeoclimate and glacier fluctuation in Patagonia. *Global and Planetary Change* 43: 79–101

Glasser NF, Jansson KN, Harrison S, Rivera A (2005) Geomorphological evidence for variations of the North Patagonian Icefield during the Holocene. *Geomorphology* 71 (3-4): 263–277

Glasser NF, Jansson KN, Mitchell WA, Harrison S (2006) The geomorphology and sedimentology of the 'Témpanos' moraine at Laguna San Rafael, Chile.*Journal of Quaternary Science* 21 (6): 629–643

Glasser NF, Harrison S, Jansson KN, Anderson K, Cowley A (2011) Global sea-level contribution from the Patagonian Icefields since the Little Ice Age maximum. *Nature Geoscience* 4: 303–307

Gosse JC, Phillips FM (2001) Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. *Quaternary Science Reviews* 20: 1475–1560

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Grosse A (1955) *Visión de Aisén: Expediciones del Explorador don Juan Augusto Grosse.* Santiago

Harrison S, Winchester V, Glasser N (2007) The timing and nature of recession of outlet glaciers of Hielo Patagónico Norte, Chile, from their Neoglacial IV (Little Ice Age) maximum positions. *Global and Planetary Change* 59 (1): 67–78

Harrison S, Glasser NF, Duller GAT, Jansson KN (2012) Early and mid-Holocene age for the Tempanos moraines, Laguna San Rafael, Patagonian Chile. *Quaternary Science Reviews* 31: 82–92

Hein AS, Hulton NRJ, Dunai TJ, Sugden DE, Kaplan MR, Xu S (2010) The chronology of the Last Glacial Maximum and deglacial events in central Argentine Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 29 (9-10): 1212–1227

Heusser CJ (1960) Late-Pleistocene Environments of the Laguna San Rafael area, Chile. *Geographical Review* 50 (4): 555–577

Heusser CJ (2003) *Ice Age Southern Andes: A Chronicle of Paleoecological Events.* Developments in Quaternary Sciences. Elsevier, Amsterdam

Holling JT, Schilling DH (1981) Late Wisconsin-Weichselian mountain glaciers and small ice caps. En: G Denton, TH Hughes (eds) *The last great ice sheets*. Wiley, New York: 179–206

Hulton N, Sugden D (1997) Dynamics of mountain ice caps during glacial cycles: the case of Patagonia. *Annals of Glaciology* 24: 81–89

Kaplan M, Ackert R, Singer B, Douglass D, Kurz M (2004) Cosmogenic nuclide chronology of millennial-scale glacial advances during O-isotope stage 2 in Patagonia. *GSA Bulletin* 116 (3/4): 308–321

Keller K, Casassa G, Rivera A, Forsberg R, Gundestrup N (2007) Airborne laser altimetry survey of Glaciar Tyndall, Patagonia. *Global and Planetary Change* 59 (1-4): 101–109

Lowell TV, Heusser CJ, Andersen BG, Moreno PI, Hauser A, Heusser LE, Schlüchter C, Marchant DR, Denton GH (1995) Interhemispheric correlation of the late Pleistocene glacial event. *Science* 269 (5230): 1541–1549

Mardones M, González L, King R, Campos E (2011) Holocene glacial variations in Central Patagonia, Aisen, Chile: geomorphological evidences. *Andean Geology* 38 (2): 371–392

Matsuoka K, Naruse R (1999) Mass balance features derived from a firn core at Hielo Patagónico Norte, South America. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 31(4): 333–340

Mercer JH (1976) Glacial history of southernmost South America. *Quaternary Research* 6: 125–166

Mercer JH (1982) Holocene Glacial Variations in Southern South America. *Striae* 18: 35–40

Mix AC, Bard E, Schneider R (2001) Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers. *Quaternary Science Reviews* 20: 627–657

Moreno PI, Jacobson Jr. GL, Lowell TV, Denton GH (2001) Interhemispheric climate links revealed by a late-glacial cooling episode in southern Chile. *Nature* 409: 804–808

Muller EH (1960) Glacial chronology of the Laguna San Rafael area, southern Chile. *Geological Society of America Bulletin* 71 (12): 2106

Paskoff R (1996) *Atlas de las Formas de Relieve de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago

Rignot E, Rivera A, Casassa G (2003) Contribution of the Patagonia Icefields of South America to sea level rise. *Science* 302 (5644): 434–437

Rivera A, Benham T, Casassa G, Bamber J, Dowdeswell J (2007) Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia icefield, Chile. *Global and Planetary Change* 58: 126–137

Rosenbluth B, Fuenzalida H, Aceituno P (1997) Recent temperature variations in Southern South America. *International Journal of Climatology* 17: 67–85

Sagredo EA, Moreno PI, Villa-Martínez RP, Kaplan MR, Kubik PW, Stern CR (2011) Fluctuations of the Última Esperanza Ice Lobe (52° S), Chilean Patagonia, during the Last Glacial Maximum and Termination 1. *Geomorphology* 125 (1): 92–108

Salazar A, Moreira-Muñoz A, Arenas F, Osses P (2011) *Bitácora de una expedición Geografía UC: Río y Bahía Exploradores, Región de Aysén, 2011*. En: F Arenas, A Salazar, A Núñez (eds) El aislamiento geográfico: ¿problema u oportunidad? Serie Geolibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, 103–120

© Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountaun Research)

Steffen H (1947) *Patagonia Occidental: Las Cordilleras Patagónicas y sus Regiones Circundantes: Descripción del terreno basada en exploraciones propias, con un bosquejo de la historia de las expediciones practicadas en la región*. Vol. 2, Ediciones Universidad de Chile

Strelin JA, Denton GH, Vandergoes MJ, Ninnemann US, Putnam AE (2011) Radiocarbon chronology of the late-glacial Puerto Bandera moraines, Southern Patagonian Icefield, Argentina. *Quaternary Science Reviews* 30 (19-20): 2551–2569

Turbek SE, Lowell TV (1999) Glacial Deposition Along an Ice-Contact Slope: An Example from the Southern Lake District, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 81 (2): 325–346

Turner KJ, Fogwill CJ, McCulloch RD, Sugden D (2005) Deglaciation of the eastern flank of North Patagonian Icefield and associated continental-scale lake diversion. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography* 87: 363–374

Villa-Martínez R, Moreno PI, Valenzuela MA (2012) Deglacial and postglacial vegetation changes on the eastern slopes of the central Patagonian Andes (47°S). *Quaternary Science Reviews* 32: 86–99

Warren CR, Sugden DE (1993) The Patagonian Icefields: a glaciological review. *Arctic and Alpine Research* 25: 316–331

Winchester V, Harrison S (1996) Recent oscillation of the San Quintín and San Rafael Glaciers, Patagonian Chile. *Geografiska Annaler Series A, Physical Geography* 78: 35–49

Winchester V, Harrison S (2000) Dendrochronology and lichenometry: colonization, growth rates and dating of geomorphological events on the east side of the North Patagonian Icefield, Chile. *Geomorphology* 34: 181–194

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sonderbände Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (Institute of Mountain Research)

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 1

Autor(en)/Author(s): Moreira-Munoz Andres, Garcia Juan Luis, Sagredo Esteban

Artikel/Article: Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael: sitio de importancia global para la investigación del cambio climático 209-227