

Geositos de la región de Aysén (Chile): resumen de la historia geológica regional, propuesta de contextos geológicos temáticos e inventario

José Benado Wilson, Magister en Patrimonio Geológico y Geoconservación
Secretaría Regional de Minería, región de Aysén, Correo-e: josebw@gmail.com

Felipe Andrade Andrade, Geólogo
Secretaría Regional de Minería, región de Aysén, Correo-e: fandrade.geologia@gmail.com

Eleonora Muñoz Morales, Magister en Geología
Universidad Austral de Chile, Correo-e: emunoz.emt@gmail.com

Felipe Reyes Córdova, Licenciado en Geología
Universidad de Chile, Correo-e: felipercordova@gmail.com

Enrique Crisostomo, Licenciado en Geología
Universidad de Concepción, Correo-e: crisostomoenrique@gmail.com

Estefanía Quilamán, Licenciado en Geología
Universidad Andrés Bello, Correo-e: andrea.quilaman@gmail.com

David Valenzuela, Geólogo
Universidad de Chile, Correo-e: davilius@gmail.com

Geosites of the Aysén region (Chile): summary of the regional geological history, proposal of geological framework and inventory

RESUMEN: Asumiendo como hipótesis de investigación que la región de Aysén cuenta con un importante y relevante patrimonio geológico de valor científico, este trabajo da cuenta del primer inventario de geositos de escala regional realizado en Chile. El método de trabajo siguió los lineamientos del programa Global Geosites de la IUGS. Consecuentemente, se realizaron un resumen de la historia geológica regional y una propuesta de Contextos Geológicos Temáticos como guía para seleccionar los geositos. Los resultados son más de 180 geositos seleccionados y 51 caracterizados en detalle. Entre estos últimos, 21 fueron presentados, aceptados y hoy forman parte del inventario de geositos liderado por la SGCh. Este hecho demuestra la valía del geopatrimonio regional.

PALABRAS CLAVE: Geoconservación; Geología; Geopatrimonio; Geositos.

ABSTRACT. Strating from the hypothesis that the Aysén region has an important and relevant geological heritage of scientific value, this work accounts for the first regional scale inventory of geosites in Chile. The working method followed the guidelines of the Global Geosites project promoted by the IUGS. Consequently, a summary of the regional geological history and a proposal of geological Framework were made and used as a guideline to select relevant geosites. As a result, over 180 geosites were selected and 51 were characterized in detail. Among

the last mentioned, 21 were postulated, accepted and today are part of the inventory of geosites led by the SGCh. This fact shows the value of the regional geoheritage.

KEYWORDS. Geoconservation; Geoheritage; Geology; Geosites.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

Localizada en la zona austral de Chile, aproximadamente entre los 43° 45' S y 49° 10' S, la región de Aysén presenta una vasta y bella diversidad geológica que cuenta con más de 300 millones de años de historia. En el territorio regional es posible estudiar y apreciar rocas metamórficas del Paleozoico superior y Mesozoico inferior, rocas del Mesozoico y Cenozoico de origen marino y volcánico con importantes registros fosilíferos, la megafalla Liquiñe - Ofqui que muestra una intensa actividad tectónica, varios estratovolcanes y paleovolcanes, decenas de fuentes termales, y abundantes depósitos y morfologías cuaternarias de origen fluvial, glaciar, volcánico y gravitacional, entre muchos otros elementos y procesos geológicos (SERNAGEOMIN 2011).

Con estos antecedentes, es verosímil suponer que la región cuenta con un importante patrimonio geológico de valor científico (geositos). Sin embargo, hasta la fecha no se había realizado ningún esfuerzo sistemático para comprobar esta hipótesis, como tampoco para saber cuál es la real dimensión y relevancia de este patrimonio.

La Secretaría Regional Ministerial de Minería de la región de Aysén, entre los años 2016 y 2018, con recursos del Gobierno Regional de Aysén, a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional FNDP, ejecutó el programa “Estrategia de gestión del patrimonio geológico de la región de Aysén” (desde ahora Programa). El presente trabajo da cuenta de los métodos y resultados de parte de este Programa, en específico la selección y caracterización de geositos, junto con discutir su carácter patrimonial.

1.2. DEFINICIONES

Es posible encontrar gran cantidad de literatura científica con definiciones para los conceptos de geodiversidad, patrimonio geológico, geosito y geoconservación (por ejemplo, en Gray 2004, 2008; Wimbledon 2011; Brilha 2016).

El presente trabajo no busca discutir las definiciones más apropiadas para estos conceptos, pero, dado que éstos serán usados de manera reiterada, a continuación se explican brevemente lo que, a juicio de los autores, representan cada uno de ellos: i) geodiversidad corresponde a la diversidad de la naturaleza abiótica, incluido sus elementos (por ejemplo, las rocas, minerales, estructuras, fósiles, morfologías, etc.), relaciones y sistemas; ii) patrimonio geológico o geopatrimonio es el conjunto, en una determinada área, de los elementos de excepcionales de la geodiversidad, por uno o más valores (científico, de identidad, estético, cultural, etc.). Es importante recalcar que el concepto de patrimonio es entendido por los autores como un consenso cultural, y como tal depende del contexto histórico y social en que se evalúa.; iii) geosito es la forma habitualmente usada para referirse a la ocurrencia *in situ* del patrimonio geológico que destaca por su valor científico; iv) geoconservación es la disciplina dedicada a la conservación del patrimonio geológico, y engloba las etapas de Selección, Caracterización, Cuantificación de los usos (por ejemplo, educativo o turístico), Protección (legal o *in situ*), Puesta en Valor (por ejemplo a través de la construcción de infraestructura), Divulgación y Monitorización del patrimonio geológico (Brilha 2005; Henriques *et al.* 2011). A las etapas de Selección y Caracterización suele denominarlas como Inventario.

1.3. ANTECEDENTES SOBRE INVENTARIOS DE GEOSITOS

Desde el año 1996 y hasta el año 2003, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) promovió el proyecto *Global Geosites*, cuyo objetivo principal fue realizar un inventario de geositos a escala mundial (Wimbledon *et al.* 2000).

En el marco de ese proyecto y hasta la fecha, la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (PROGEO), a través de sus grupos nacionales, ha continuado seleccionando y caracterizando sus geositos más relevantes, razón por la cual varios países europeos, como por ejemplo Ucrania, Lituania, Polonia, Reino Unido, Bielorrusia, Suecia, España y Portugal, entre otros, cuentan con desarrollados inventarios de escala nacional (Wimbledon y Smith-Meyer 2012).

En nuestro país, desde el año 2007 la Sociedad Geológica de Chile (SGCh), a través de su Grupo de Especialistas en Geopatrimonio, promueve el Programa de Detección y Establecimiento de Geositos en Chile.

El procedimiento para que un elemento o lugar de interés geológico pueda ser considerado en el inventario nacional, requiere de las siguientes etapas (Calderón *et al.* 2009): i) postulación del lugar de interés, por una persona natural o institución, mediante la presentación de una ficha estándar confeccionada por la SGCh, donde se describe las características generales del lugar (nombre, ubicación, interés geológico, descripción geológica, etc.); ii) el Grupo de Especialistas en Geopatrimonio evalúa el mérito de la postulación, y recomienda su aprobación o rechazo al Directorio de la SGCh; iii) el Directorio resuelve sobre si el postulante cumple los méritos, o no, para ser parte del inventario nacional.

Una revisión del estado del arte de la geoconservación en Chile, y en particular de inventarios de geositos, junto con su comparación con las realidades de países europeos y latinoamericanos, puede ser consultada en Benado *et al.* (2018).

II-MÉTODO

2.1. SELECCIÓN DE LOS GEOSITOS

El método utilizado para seleccionar los geositos está basado en los trabajos de Lima *et al.* (2010) y Brilha (2016). Estos trabajos fueron escogidos porque sistematizan las principales prácticas usadas por la IUGS y la PROGEO, para la ejecución del proyecto *Global Geosites* e inventarios nacionales, respectivamente.

Estos trabajos están especialmente diseñados para confeccionar inventarios en áreas de gran dimensión, como es el caso de la región de Aysén. Para tales efectos promueven, previa a la selección propiamente tal de los geositos, la definición de Contextos Geológicos Temáticos (CGT) (García-Cortés *et al.* 2000; Ellis 2008; Brilha *et al.* 2005). Los CGT son utilizados para que un inventario de geositos represente, en forma homogénea, toda la historia y geodiversidad del territorio en que se trabaja. En Chile existe una propuesta de CGT, de escala nacional, realizada por Mourgues *et al.* (2012), pero ésta aún no ha sido validada por la comunidad de geocientistas.

En específico, el método utilizado para la selección de los geositos siguió los siguientes pasos concatenados:

- i. Revisión de la bibliografía geológica de la región, como por ejemplo las cartas geológicas, artículos científicos y tesis, entre otros; en particular, se consultaron las cartas geológicas realizadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería durante el siglo XXI en la región (Niemeyer *et al.* 1984; De la Cruz *et al.* 2003; De la Cruz *et al.* 2004; De la Cruz y Suárez 2006; Suárez *et al.* 2007; De la Cruz y Suárez 2008; Quiroz y Belmar 2010; Quiroz y Bruce 2010; De la Cruz y Cortés 2011).
- ii. En base a los antecedentes consultados en i), se realizó una compilación de las principales unidades geológicas de la región y un resumen general de su historia.
- iii. En base a la información sistematizada en ii), se definieron los CGT de la región de Aysén. Para tales efectos, se formaron grupos de unidades geológicas cuyos miembros debían, idealmente y en orden de importancia, cumplir los siguientes criterios: 1) enmarcarse en un contexto o proceso geotectónico común; 2) presentar una génesis común (por ejemplo, ambiente depositacional, naturaleza geológica, etc.); 3) ser de una edad similar; 4) tener el mismo tipo de asociaciones litológicas; 5) mostrar una coherencia en su distribución espacial (por ejemplo, en zonas estructurales, paleocuencas o áreas acotadas).
- iv. Para cada uno de los CGT definidos en iii), se preseleccionaron geositos en base a los criterios cualitativos de valor científico propuestos por Brilha (2016). Estos criterios son: 1) Contenido Científico - Cantidad e importancia de las publicaciones científicas del elemento o lugar en relación a su CGT, y/o potencial para futuros estudios. Mientras mayor cantidad de publicaciones, mayor será su valor científico; 2) Integridad - Refleja el grado actual de conservación del elemento o lugar, según su correspondiente CGT, como consecuencia de las acciones o procesos naturales no antrópicos y/o antrópicos. Mientras mejor conservado esté, mayor será su valor científico; 3) Rareza - Refleja la importancia del elemento o lugar, en términos de la escasez de rasgos o procesos geológicos similares presentes en su respectivo CGT. Mientras más escaso sea, mayor será su valor científico; 4) Representatividad - Refleja la capacidad del elemento o lugar para mostrar adecuadamente las características de un rasgo o proceso geológico particular de su correspondiente CGT. Mientras más

representativo sea, mayor será su valor científico.

- v. Levantamiento de información en terreno, para verificar y complementar los antecedentes de los geositos preseleccionados en el paso iv). El trabajo en terreno fue realizado entre los años 2016 y 2017, y se estima en aproximadamente 2 meses.
- vi. Considerando los antecedentes de los pasos iv) y v), para cada uno de los CGT, se compararon sus geositos preseleccionados, aplicando nuevamente los criterios de valor científico de Brilha (2016). Los mejores evaluados fueron la selección final de los geositos

2.2. CARACTERIZACIÓN

La caracterización de los geositos seleccionados buscó incluir la información bibliográfica y levantada en terreno, tanto geológica, como de antecedentes generales para un eventual plan de gestión, que se muestran en la Tabla 1.

Esta tabla está basada en las fichas de caracterización propuestas por García-Cortés y Carcavilla (2009), Brilha (2005), Benado (2013), y la ficha de postulación de patrimonio geológico de relevancia nacional liderada por la SGCh¹.

El trabajo en terreno se realizó durante los años 2017 y 2018, y se estiman en aprox. 2 meses efectivos.

III-RESULTADOS

3.1. HISTORIA GEOLÓGICA DE LA REGIÓN DE AYSÉN

La región exhibe un registro geológico que abarca desde el Paleozoico hasta el presente. Su basamento corresponde mayoritariamente a rocas metamórficas, entre las cuales las unidades con mayor distribución son el Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) y el Complejo Metamórfico Los Chonos (CMLC).

El CMAO (Hervé 1993) está constituido por esquistos micáceos, filitas y metacuarcitas, y aflora fundamentalmente en el área suroriental de la región (De la Cruz *et al.* 2004). Su protolito son sucesiones turbidíticas y paquetes de caliza que se habrían depositado en un ambiente de margen pasivo (Augustsson y Balhburg 2003), entre el Devónico Superior y el Pérmico (Hervé *et al.* 2003; Augustsson *et al.* 2006). La naturaleza de los procesos tectónicos responsables del metamorfismo que afectó el complejo aún son materia de investigación (Ramírez *et al.* 2005). Por su parte, el CMLC son principalmente secuencias metaturbidíticas (Hervé y Fanning 2000), que habrían

¹ Consultada en la página web de la SGCh el día 5-9-2019 (<http://www.sociedadgeologica.cl/geositos/>)

sido tectónicamente incorporados en el canal de subducción, y afectadas por metamorfismo, entre el Triásico Superior y el Jurásico Inferior (Ramírez *et al.* 2005).

Posteriormente, entre el Jurásico Inferior y Medio, plutonismo calcoalcalino de tipo I, isotópicamente evolucionado, se habría emplazado próximo al paleo-margen de Gondwana (Pankhurst *et al.* 2000). Este pulso corresponde a la fase magmática temprana de una unidad denominada como Batolito Patagónico (Hervé *et al.* 2007), un complejo magmático asociado a subducción que se extiende por aproximadamente 1.700 km, con sus límites norte y sur fuera de la región (De la Cruz *et al.* 2004).

Durante el Jurásico Superior - Cretácico Inferior, emplazado en una posición de tras-arco, sincrónico a la extensión de escala regional asociada al desmembramiento de Pangea, se generó un intenso volcanismo de tipo calcoalcalino (Pankhurst *et al.* 2000). Este volcanismo, de naturaleza explosiva y efusiva, generó una secuencia de rocas con un espesor de hasta 2.000 m que ha sido denominado como Formación Ibáñez (Niemeyer 1975), y que aflora de manera extensa en toda la región (Suárez *et al.* 1999; Quiroz y Bruce 2010).

La subsidencia de tras-arco asociada al *riftin*, ocurrido entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, y la subsecuente relajación termal de *post-rift*, habrían estado relacionada a la apertura de la Cuenca de Aysén (Bell y Suárez 1997). Esta cuenca fue rellenada con depósitos sedimentarios marinos y volcánicos que han sido agrupados bajo el nombre de Grupo Coyhaique (Haller y Lapido 1980), los cuales registran una transgresión marina (Formación Toqui), su profundización (Formación Katterfeld) y posterior somerización (Formación Apeleg). Estos depósitos afloran en una franja de orientación norte – sur, a lo largo de toda la región.

Durante el Aptiano, la Cuenca de Aysén sufrió una reorganización mayor; mientras los depósitos marinos de la Formación Apeleg se retiraban, volcanismo, en la forma de conos surtseyanos que han sido agrupados bajo el nombre de unidad Complejo Baño Nuevo, se desarrollaba, emplazaba y depositaba en y sobre sus rocas (Suárez *et al.* 2007). Este pulso se habría localizado al este del arco magmático, el cual durante el Cretácico Inferior ya habría comenzado a migrar hacia el oeste (Hervé *et al.* 2007). En la actualidad sus rocas afloran en la zona noreste de la región (Suárez *et al.* 2007).

También en el Aptiano, posterior a la unidad Complejo Baño Nuevo, se reconoce un paso gradual a un ambiente continental con una reactivación de volcanismo sub-aéreo, mayoritariamente ácido y de carácter calcoalcalino, que ha sido denominado como Grupo Divisadero (Heim 1940; Niemeyer *et al.* 1984; De la Cruz *et al.* 2003). Las características geoquímicas de sus rocas sugieren que el contexto geotectónico continuaba controlado por una zona de subducción, mientras que las relaciones de contacto con rocas sedimentarias y volcánicas plegadas del Cretácico Inferior, permiten inferir que el cierre de la

Cuenca de Aysén estuvo relacionado con un evento tectónico compresivo (Suárez y De la Cruz 2000). El Grupo Divisadero tiene una amplia distribución en la zona oriental de la región.

En el Cretácico Superior múltiples expresiones, aunque principalmente magmáticas, dan cuenta de una tectónica asociada a un margen activo para el segmento de la región de Aysén. El eje del magmatismo de arco del Batolito Patagónico se situaba en la actual Cordillera Principal, siendo sus productos derivados de una fuente progresivamente más juvenil (Pankhurst *et al.* 1999; Hervé *et al.* 2007). Complementariamente, en una posición de retroarco, la presencia de domos ácidos y lavas basálticas con afinidades calcoalcalinas, como las unidades Complejo Volcánico Casa Piedra (~84-77 millones de años AP.) o la Formación El Toro (~77-63 millones de años AP.), permiten inferir que la extensión del magmatismo no se restringía sólo al eje principal (Demant y Suárez 2007).

Ya en el Cenozoico, el Paleoceno y el Eoceno se caracterizaron por una extensa depositación continental, intercalada por pulsos volcánicos de carácter basálticos con afinidades alcalinas. En orden temporal, algunas de las principales unidades que componen el registro de esta etapa son: i) Formación Ligorio Márquez, del Paleoceno superior, compuesta mayoritariamente por areniscas y conglomerados, depositados en un ambiente de ríos trezados (De la Cruz y Suarez 2006). Aflora principalmente en la ribera sur del lago General Carrera; ii) unidades Basaltos de Balmaceda (De la Cruz *et al.* 2003) y Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico (Charrier *et al.* 1979). El origen de este volcanismo estaría asociado al paso del *ridge* mediooceánico entre las placas Antártica-Farallón, lo que habría generado una ventana astenosférica y subsecuente volcanismo en condiciones extensionales (Parada *et al.* 2001; Espinoza *et al.* 2005; Seton *et al.* 2012). Ambas unidades afloran en la zona oriente de la región, en el actual límite con Argentina; iii) Formación San José, compuesta por conglomerados clastos soportados y areniscas gruesas intercaladas con tobos riolíticas (Flint *et al.* 1994), las cuales han sido interpretadas como depositados en un ambiente fluvial meandriforme de alta sinuosidad (De la Cruz y Suárez 2006). Esta unidad aflora en la ribera sur del lago General Carrera.

Coetáneo a los procesos antes descritos, en una posición de antearco durante el Eoceno, se habrían depositado series de conglomerados, areniscas conglomerádicas con niveles carbonosos, areniscas y lutitas finamente laminadas con abundante registro fósil vegetal. Estos depósitos han sido agrupados bajo el nombre de Secuencia Tres Montes y Puerto Good (Mpodozis *et al.* 1985; Forshyte *et al.* 1985), y afloran en la zona del golfo De Penas.

A diferencia de las Épocas antes descritas, el Oligoceno se caracterizó por la presencia de variados pulsos magmáticos bimodales con afinidades alcalinas, los cuales han permitido inferir un contexto geotectónico de extensión (Morata *et al.* 2005). Algunas unidades emplazadas en posición de retroarco que representan

esta etapa son los Domos Riodacíticos Cerro Chueco, Basaltos Winchester y Gabro Las Bandurrias (De la Cruz *et al.* 2003), entre otros. Estas unidades afloran en la zona noreste de la región.

La tectónica extensiva también habría afectado la zona de antearco durante el Oligoceno, tal como lo sugieren los depósitos bentónicos de la Formación Traiguén (Espinoza y Fuenzalida 1971). La base de esta formación está constituida por lavas de tipo almohadilladas con afinidades de arco primitivo (Encinas *et al.* 2015), las cuales presentan tipos de metamorfismos de facies de esquistos verdes a anfibolita (Hervé *et al.* 1995; Silva 2003). Sus rocas son interpretadas como producto de la evolución volcánica y sedimentaria de cuencas tipo “pull-apart”, generadas en el Oligoceno – Mioceno y cerradas en el Mioceno superior, asociadas con el sistema de fallas de Liquiñe – Ofqui (Hervé *et al.* 1995). Afloran mayoritariamente en la zona occidental de la región.

También durante al Oligoceno y hasta el Mioceno temprano, una transgresión marina, con fauna de invertebrados de afinidad Atlántica (Frassinetti y Covacevich 1999), habría invadido parte del sector oriental de los actuales Andes Patagónicos. Esta unidad marina ha sido denominada como Formación Guadal (Heim 1940; Niemeyer 1975), y se interpreta como una cuenca de ambiente de plataforma, que presentó un gran aporte de sedimentos silicoclásticos, con episodios carbonatados, los cuales dan evidencia de diferentes periodos de transgresión – regresión (De la Cruz y Suarez 2006). Sus afloramientos están restringidos a una zona acotada de la ribera sur del lago General Carrera.

Durante el Mioceno vastas áreas del sector oriental de la región estaban dominadas por la existencia de ambientes sedimentarios continentales, principalmente de tipo fluvial y localmente lacustre y fluvio-glacial. Algunas unidades representativas de esta etapa son las formaciones Santa Cruz (Rubilar y Pérez 2003; De la Cruz y Suárez, 2006), Río Frías (Marshall y Salinas 1990; De la Cruz y Cortés, 2011), Portezuelo (Rivas, 2015) y Galera (De la Cruz *et al.* 2003; De la Cruz y Cortés 2011).

La evolución reciente del segmento de Aysén (< 15 millones de años AP.) ha estado dominada por la actividad del sistema de fallas Liquiñe – Ofqui, y por la deriva hacia el norte del Punto Triple de Chile. El primero de estos factores es una megafalla de intrarco transcurrente dextral (Cembrano y Hervé 1993; Cembrano *et al.* 1996), la cual habría favorecido el emplazamiento del Batolito Patagónico y la denudación durante, a lo menos, el Mioceno tardío (Thompson 2002). Por su parte, el Punto Triple de Chile, que habría alcanzado su actual posición hacia los ~6 millones de años AP. (Breitsprecher y Thorkelson 2009), junto con la ventana astenosférica asociada a éste, habrían gatillando una respuesta magmática de naturaleza básica y carácter alcalino, tanto en una posición de retroarco (unidades Basaltos Superiores de la Meseta de Chile Chico y Basaltos Pico Sur, entre otras) (Charrier *et al.* 1979; Espinoza *et al.* 2005), como próximo al arco (unidad

Basaltos de Murta, entre otras) (Demant *et al.* 1998; Guivel *et al.* 2006).

Poco después de la llegada del Punto Triple de Chile a su posición actual, ocurriría el emplazamiento de las rocas pertenecientes a la unidad Ofiolita de Taitao, única ofiolita chilena que presenta la asociación estratigráfica completa de la corteza oceánica, sobre el margen continental (Forsythe *et al.* 1986; Guivel *et al.* 1999). Además, y en forma simultánea, se emplazaron cuerpos graníticos y pórfidos ácidos, con edades en su mayoría menores a 6 millones de años (Forsythe *et al.* 1986; Anma *et al.* 2009) y afinidades adakíticas (Kon *et al.* 2013), próximos a la fosa. Posteriormente, sobre la unidad Ofiolita de Taitao, rocas volcánicas y volcanoclásticas de la unidad Margen de Chile se habrían depositado durante el Plioceno (Mpodozis *et al.* 1985). Todas estas unidades afloran en la zona occidental de la región.

Ya en el Cuaternario, los principales agentes modeladores del paisaje regional han sido la actividad volcánica y los ciclos glaciales, ambos desarrollados en un contexto de margen continental activo. La actividad volcánica ha estado tectónicamente controlada por el Sistema de Falla Liquiñe - Ofqui, como lo demuestra el lineamiento de los edificios volcánicos con sus trazas principales o secundarias (Cembrano *et al.* 1996). Algunos elementos destacados de esta actividad son los estrato-volcanes Melimoyu, Mentolat, Cay, Maca y Hudson, junto con el Grupo Volcánico Puyuhuapi (González-Ferrán 1995), todos emplazados sobre el eje de los Andes Patagónicos.

Respecto a los periodos glaciares, se estima que durante el Cuaternario la región ha estado sujeta a glaciaciones intermitentes, siendo los arcos morrénicos presentes en territorio argentino, de ~1 millón de años AP., los depósitos datados de mayor edad (Ton -That *et al.* 1999; Lagabrielle *et al.* 2007). Esta etapa fría ocurrida ~1 millón de años atrás, ha sido denominada como la Gran Glaciación Patagónica; los actuales campos de hielo Norte y Sur representan sus remanentes más destacados. Entre la Gran Glaciación Patagónica y la actualidad, se estima que han ocurrido 4 periodos glaciales -interglaciales de importancia (De la Cruz y Suárez 2006). Estos avances y retrocesos de las grandes masas de hielo han acelerado la denudación y han sido modeladores, entre los factores de mayor orden, del paisaje que actualmente observamos en la región.

3.2. CONTEXTOS GEOLÓGICOS TEMÁTICOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Los CGT fueron definidos según los criterios explicados en la sección Método, y tomando como referencia la historia geológica general de la región de Aysén antes descrita. Información específica de las formaciones e unidades geológicas mencionadas se pueden encontrar en las cartas geológicas realizadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería en la región citadas en la sección 2.1.

Los CGT propuestos para la región de Aysén (Quezada *et al.* 2018), en orden temporal, son:

- I. Complejos metamórficos y basamento del Paleozoico: compuesto principalmente por rocas metamórficas polideformadas, las cuales conforman el basamento del sector oriental de la región de Aysén. Su protolito se habría depositado en un contexto geotectónico de margen pasivo, durante el Paleozoico tardío. Se incluyen en esta categoría las rocas pertenecientes a los complejos metamórficos de los Andes Principales y Andino Oriental.
- II. Complejos acrecionarios del Mesozoico: compuesto por rocas metamórficas que constituyen el basamento de la zona occidental de la región de Aysén (zona de archipiélagos). La edad del metamorfismo estaría acotado entre el Triásico Superior y el Jurásico Inferior, y se habría desarrollado un contexto geotectónico de margen activo, coetáneo a las fases iniciales de la fragmentación de Pangea. Incluye las rocas del Complejo Metamórfico de Chonos.
- III. Secuencias volcánicas del Jurásico Superior: compuesto por los productos volcánicos coherentes con procesos de subducción, en un contexto geotectónico de tipo extensional, desarrollado durante las etapas medias - tardías de la fragmentación de Gondwana. Incluye el registro de la Formación Ibáñez y a la serie de cuerpos hipabisales del Jurásico Superior ubicados en la zona oriental de la región.
- IV. Registros de la cuenca Austral: compuesto por las rocas y fósiles que dan cuenta del ciclo de transgresión - regresión marina ocurridos en el tras arco, entre el Titoniano y el Aptiano, de forma coetánea a la ruptura de Gondwana occidental. Incluye el registro del Grupo Coyhaique (formaciones Toqui, Katterfeld y Apeleg).
- V. Complejos volcánicos del Cretácico: compuesto por los registros volcánicos y subvolcánicos emplazado, principalmente, en una posición de retroarco, durante el Cretácico medio a tardío, posterior a la ruptura de Gondwana occidental. Incluye las unidades Complejo Volcánico Baño Nuevo, Tobas Flamencos, Formación Divisadero, Riolita Cerro Pico Rojo, Cuerpos Hipabisales Avellano – Levicán, Vulcanitas de la Isla Byron, Basaltos Morro Negro, Formación El Toro y Pórfidos Ácidos, entre otras.
- VI. Unidades batolíticas y complejos plutónicos del Mesozoico: compuesto por las rocas de los batolitos Norpatagónico y Surpatagónico, además de cuerpos intrusivos menores, emplazados desde el Jurásico al Cretácico Superior, los cuales se habrían formado en las etapas tempranas del Ciclo Andino. Incluye los afloramientos Mesozoicos del Batolito Patagónico, y a las unidades Complejo Plutónico Lago Plomo, Tonalitas Esmeralda y Sobral, Dioritas El Halcón, Granodioritas Ventisquero y Cabeza de León, Granitoides y Dioritoides O'Higgins, Complejo Hipabisal Calluqueo, Dioritas Tamango, Granito Nacientes del río Cisnes, Complejo Plutónico Tranquilo - Del Salto y Pórfidos Granodioríticos Lago Azul, entre otras.
- VII. Franjas metalogénicas: compuesto por el registro geológico de las zonas mineralizadas y/o con alteración hidrotermal, asociadas a las 4 franjas metalogénicas presentes en la región (Jurásico Superior, Cretácico Inferior, Cretácico Superior y Mioceno). Incluye el horizonte mineralizado de la Formación Toqui, las unidades Hipabisales Riolíticos San Antonio, Cuerpos Hipabisales y Domo de Cerro Bayo e Hipabisales Básicos, entre otras.
- VIII. Sucesiones sedimentarias continentales del Paleógeno: compuesto por el registro geológico, tanto rocas como fósiles, depositado en ambientes principalmente fluviales, desarrollados en un contexto tectónico compresivo durante el Paleógeno. Incluye las formaciones Ligorio Márquez y San José, y las unidades Secuencia Tres Montes y Puerto Good, entre otras.
- IX. Magmatismo paleógeno asociado a extensión: compuesto por los productos y cuerpos volcánicos y subvolcánicos, coherentes con un periodo extensional, que estaría posiblemente relacionado con la migración del Punto Triple Aluk - Farallón durante el Paleógeno temprano. Está compuesto por rocas ígneas, ubicadas mayoritariamente en el sector oriental de la región. Incluye las unidades Basaltos Balmaceda, Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico, Domo de Lago Chacabuco, Domo Riodacíticos Cerro Chueco, Basaltos Winchester y Gabro Las Bandurrias, entre otras.
- X. Registros de la cuenca de Cosmelli: compuesto por el registro sedimentario, tanto rocas como fósiles, que da cuenta de la transgresión marina de afinidad atlántica, ocurrida entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior. La ocurrencia de dicho registro está restringida a la ribera suroccidental del actual lago General Carrera. Incluye el registro de la Formación Guadal.
- XI. Sucesiones sedimentarias continentales del Neógeno: compuesto por el registro geológico,

- tanto rocas como fósiles, depositados principalmente en ambientes fluviales, y desarrollados durante el alzamiento de los Andes Patagónicos en el Neógeno. Incluye las formaciones Santa Cruz, Río Frías, Oscuro y Galera, entre otras.
- XII. Registros de la cuenca de Traiguén: compuesto por rocas volcánicas, sedimentarias, metamórficas y fósiles, de edad Oligoceno superior a Mioceno, emplazadas y/o depositadas en un ambiente marino. El origen y evolución de dicha cuenca estaría posiblemente asociada con los movimientos del sistema de falla de Liquiñe – Ofqui. Incluye a la Formación Traiguén.
- XIII. Unidades batolíticas y complejos plutónicos del Cenozoico: compuesto por las rocas del Batolito Norpatagónico y Surpatagónico, además de cuerpos intrusivos menores, cuyo emplazamiento están asociados a las etapas recientes del Ciclo Andino. Los emplazamientos de algunos de estos cuerpos intrusivos podrían estar controlados y/o relacionados con el sistema de Falla Liquiñe - Ofqui. Incluye los afloramientos del Cenozoico del Batolito Patagónico, y a las unidades Complejo Plutónico Paso Las llaves, Monzonita Cuarcifera Avilés y Stock las Nieves, entre otras.
- XIV. Tectónica neógena asociada al Punto Triple de Chile: compuesto por los registros asociados a la migración hacia el norte del Punto Triple de Chile durante el Neógeno. Incluye las unidades Basaltos Superiores de la Meseta de Chile Chico, Hipabisal Dacítico de nacientes del Chacabuco, secuencias del Grupo Chaicayán, las secuencias de ofiolitas presente en la península de Taitao (y los granitoides que la intruyen), y las unidades Margen de Chile, Basaltos Pico Sur y Basaltos de Murta, entre otras.
- XV. Estructuras y neotectónica: compuesto por las distintas estructuras, morfologías y rasgos en general, asociadas a la zona de Falla Liquiñe – Ofqui, junto con las de origen tectónico reciente.
- XVI. Volcanismo del Cuaternario: compuesto por los productos y morfologías volcánicas recientes, mayoritariamente determinados por la zona de Falla Liquiñe – Ofqui. Incluye el registro de los estrato-volcanes Melimoyu, Mentolat, Cay, Maca y Hudson, del Grupo Volcánico Puyuhuapi, y sus productos asociados (depósitos, fuentes termales, etc.).
- XVII. Ambientes y registros glaciales y periglaciales: compuesto por los grandes campos (Norte y Sur) y calotas de hielo, junto con sus morfologías y depósitos asociados, tanto en los ambientes glaciales como periglaciales (por ejemplo la unidad Gravas de la Meseta Boscosa), desde el Plioceno hasta el presente.
- XVIII. Dinámicas hídricas del Cuaternario: compuesto por los elementos (depósitos y morfologías) de génesis hídrica, que han modelado el paisaje durante el Cuaternario. Incluye los registros, tanto antiguos como actualmente activos, de los ambientes costeros (por ejemplo los fiordos, acantilados, plataformas de abrasión, barras, estuarios y deltas de costa, entre otros), fluvial (por ejemplo depósitos de llanura de inundación, abanicos aluviales, terrazas y meandros), y lacustre (por ejemplo las terrazas lacustres, deltas de lago, paleolíneas de costas, entre otros).
- XIX. Procesos del Holoceno: compuesto por las dinámicas en desarrollo constante, y aquellas morfologías que han modelado el paisaje durante el Holoceno. Incluye los registros de la diversidad de suelos (por ejemplo los suelos de los órdenes Entisols, Inceptisols, Histosols, Mollisols, Andisols y Spodosols, entre otros.) y de remociones en masa (por ejemplo los desprendimientos, deslizamientos, flujos, volcamientos y extensiones laterales, entre otras.)

3.3. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN

La selección final de geositos permitió individualizar más 180 lugares de especial interés geológico por su valor científico; cada uno de los CGT cuenta con, a lo menos, 4 lugares seleccionados.

Sin embargo, dados los recursos económicos y tiempos acotados del Programa, como también las dificultades climáticas y específicas de accesos de algunos de los geositos, sólo 51 lugares (Figura 1) fueron caracterizados. Es de interés mencionar que, frente a antecedentes bibliográficos de valor científico similares para 2 o más lugares, se optó por caracterizar aquellos que sí fueron posibles de estudiar en terreno.

La Figura 1 muestra los nombres y distribución geográfica de los geositos seleccionados y caracterizados.

Complementariamente, se escogió a lo menos un geosito por cada CGT, para ser postulados al Inventario Nacional de geositos liderado por la SGCh; todos ellos fueron posteriormente aprobados. Estos geositos son:

- CGT-I. Complejos metamórficos y basamento del Paleozoico: se escogió el geosito "Plutón Granito El León en el valle río Leones", único cuerpo plutónico de edad Paleozoica (De la Cruz y Suárez 2006) en la región. Cabe mencionar que en este CGT también se encuentra el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol (Figura 3), pero éste ya formaba parte del listado

de geositos de la SGCh, antes del inicio de este Programa.

- CGT-II. Complejos acrecionarios del Mesozoico: se escogió el geosito "Localidad Fossilífera de la Isla Patranca", un lugar compuesto principalmente de paquetes de turbiditas y donde se ha reportado la presencia de improntas de bivalvos (Hervé *et al.* 2003).
- CGT-III. Secuencias volcánicas del Jurásico Superior: se escogió el geosito "Domo Valle Lunar de la Reserva Nacional Lago Jeinimeni" (Figura 3), un grupo de rocas riódacíticas pertenecientes a la Formación Ibáñez, interpretadas como relictas de un domo (De la Cruz y Suárez 2008).
- CGT-IV. Registro de la cuenca Austral: se escogió el geosito "Localidad fossilífera *Chilesaurus diegosuarezi* al sur de Mallín Grande", la cual corresponde a la Localidad Tipo del conocido *Chilesaurus diegosuarezi* (Novas *et al.* 2015), probablemente el hallazgo paleontológico de mayor importancia en la Patagonia.
- CGT-V. Complejos volcánicos del Cretácico: se escogió el geosito "Complejo Volcánico Baño Nuevo" (Figura 2), el cual consiste en los vestigios de más de 50 cuerpos volcánicos (conos de escoria, sus sistemas de diques y diatremas) pertenecientes a la unidad homónima, los cuales determinaron el paisaje de la región durante el Aptiano (Suárez *et al.* 2007).
- CGT-VI. Unidades batolíticas y complejos plutónicos del Mesozoico: se escogió el geosito "Enjambre de diques del Cerro Pintado en el sector de Puerto Sánchez" (Figura 3), el cual corresponde a una montaña de mármol cortada por un enjambre de diques máficos del Cretácico, a orillas del lago General Carrera (Heim 1940).
- CGT-VII. Franjas metalogénicas: se escogió el geosito "Skarn polimetálico distrito minero El Toqui" (Figura 3), el cual corresponde al sector San Antonio, del distrito minero Mina El Toqui, y donde se observan fósiles marinos de ~140 millones de años AP., que poseen sustitución metálica de oro, zinc, plomo y/o fierro (Suárez *et al.* 2007).
- CGT-VIII. Sucesiones sedimentarias continentales del Paleógeno: se escogió el geosito "Paleoflora de la Fm. Ligorio Márquez al sur de Chile Chico" (Figura 3), el cual forma parte de la localidad tipo de la Formación Ligorio Márquez, y cuyo registro paleontológico ha permitido plantear hipótesis sobre la migración del *Nothofagus* (Troncoso *et al.* 2002).
- CGT-IX. Magmatismo Paleógeno asociado a extensión: se escogió el geosito "Basaltos alcalinos con xenolitos peridotíticos en Balmaceda", un pequeño afloramiento de la unidad Basaltos Balmaceda que provee valiosa información de las condiciones del manto durante el Proterozoico bajo las inmediaciones de Coyhaique (Morata *et al.* 2000).
- CGT-X. Registros de la cuenca de Cosmelli: se escogió el geosito "Quebrada fossilífera del Cenozoico en la pampa de Cosmelli" (Figura 2), el cual corresponde a un conjunto de afloramientos fossilíferos, y en particular a parte de la localidad Tipo de la Formación Guadal (Frassinetti y Covacevich 1999), que entregan valiosos antecedentes para entender la evolución de la Cordillera de los Andes en la actual zona del lago General Carrera.
- CGT-XI. Sucesiones sedimentarias continentales del Neógeno: se escogió el geosito "SALMA friasense en la zona de Alto Río Cisnes", el cual es un excelente representante de las secuencias sedimentarias continentales de antepaís desarrolladas durante el Neógeno en los Andes patagónicos centrales (De la Cruz y Cortés 2011) y, en particular, cuyo estudio permitió extender el SALMA friasense.
- CGT-XII. Registro de la cuenca de Traiguén: se escogió el geosito "Conglomerados de La Junta" (Figura 2), un afloramiento que presenta secuencias volcanosedimentaria aún poco estudiadas, depositadas entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano (Encinas *et al.* 2014), durante la apertura de la cuenca de Traiguén.
- CGT-XIII. Unidades batolíticas y complejos plutónicos del Cenozoico: se escogió el geosito "Granito peraluminoso en Puerto Cisnes", un Plutón ampliamente estudiado, de edad ~10 millones de años AP. (Hervé *et al.* 1993), que aflora adyacente a la traza principal del Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui, y cuya mineralogía le entrega una composición rica en aluminio.
- CGT-XIV. Tectónica neógena asociada al Punto Triple de Chile: se escogió el geosito "Complejo ofiolítico de la península de Taitao", la cual corresponde a una unidad geológica profusamente investigada en la región de Aysén (Anma *et al.* 2006) y, probablemente, una de las ofiolitas mejor estudiadas en el mundo.
- CGT-XV. Estructuras y neotectónica: se escogió el geosito "Sistema de fallas normales del Cerro La Virgen" (Figura 3), un afloramiento de rocas pertenecientes a la Formación Divisadero (De la Cruz *et al.* 2003) que presentan un acotado y muy representativo sistema de fallas normales.

- CGT-XVI. Volcanismo del Cuaternario: se escogió el geosito “Depósitos de tefra del volcán Hudson en el sector Puente Becerra” (Figura 2), un lugar que presenta depósitos de tefra de 4 erupciones distintas del volcán Hudson y, en particular, sus 3 episodios más violentos ocurridos durante el Holoceno (Bertin 2014).
- CGT-XVII. Ambientes y registros glaciares y periglaciares: se escogió el geosito “Depósitos de vaciamiento abrupto del lago proglacial Mapuche” (Figura 2), el cual corresponde a los depósitos mejor preservados, y probablemente mejor estudiados, de un fenómeno GLOF (Glacier Lake Outburst Flood) ocurrido el año 2000 en el valle Glaciar Leones (Harrison *et al.* 2006). Además, se presentó la ficha de postulación del geosito “Macizo Cerro Castillo y sus morfologías glaciares” (Figura 3), el cual engloba y complementa el geosito que ya formaba parte del inventario de la SGCh “Laguna Cerro Castillo”.
- CGT-XVIII. Dinámicas hídricas del Cuaternario: se escogieron dos geositos, “Piedra Clavada de la Reserva Nacional Lago Jeinimeni” (Figura 2) y “Sistema de paleodeltas del río Las Dunas”. El primero de éstos corresponde a una bella roca volcánica columnar aislada, de aproximadamente 30 m de alto, perteneciente a la Formación Ibáñez (De la Cruz y Suárez 2008), representativa del proceso de erosión diferencial. El segundo de los geositos corresponde a un sistema de 7 terrazas escalonadas tipo Gilbert, interpretadas como paleodeltas (Bell 2009), que entregan valiosos antecedentes para intentar comprender la evolución del clima posterior a la Última Gran Glaciación en Patagonia.
- CGT-XIX. Procesos del Holoceno: se escogió el geosito “Cicatriz de la remoción en masa Quebrada Punta Cola en el fiordo de Aysén” (Figura 2), el cual corresponde a la remoción de mayor envergadura, entre un grupo de a lo menos 538, causadas, en primer orden, por un enjambre sísmico asociado al Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui en abril del año 2007 (Serey 2011).

4. ANÁLISIS

Los geositos inventariados permiten comprobar la hipótesis planteada; es decir, que la región de Aysén cuenta con un vasto y diverso patrimonio geológico de valor científico. Su valor patrimonial se manifiesta en que la totalidad de lugares postulados al inventario de la SGCh, probablemente la institución de mayor prestigio y relevancia en las Ciencias de la Tierra a nivel nacional, fueron aceptados.

Antes de este trabajo, Aysén era la región con la menor cantidad de geositos en el inventario de la SGCh (Benado *et al.* 2018), mientras que hoy es ampliamente la mayor, con más del 20%² del total.

Este hecho abre grandes desafíos a nivel regional, toda vez que ninguno de los 51 geositos inventariados cuenta con un plan específico de conservación, sólo el 30% de ellos está inserto en un área protegida, y muchos presentan potenciales amenazas (quedan a un costado de la carretera, cerca de concesiones mineras, etc.). Al respecto, es importante destacar que la caracterización de los geositos, además de la información geológica técnica, cuenta con una propuesta de definición de superficie de interés, levantamiento de amenazas y datos de acceso (Tabla 1), todos antecedentes fundamentales para eventuales futuros planes de manejo.

Respecto a los subproductos realizados como parte del método para hacer el inventario, creemos que el resumen de la historia geológica regional que se presenta en la sección “Resultados” constituye un antecedente relevante para futuros trabajos de ordenamiento territorial y, en particular, para próximas iniciativas ligadas a la conservación de nuestro patrimonio geológico.

En particular, este resumen geológico general permitió definir un conjunto de CGT para la región. El hecho de basar la confección del inventario de geositos en los CGT, y no en la elección aislada de lugares: i) permitió asegurar que toda la geodiversidad estuviese homogéneamente representada en el inventario; ii) permitirá comparar de forma más objetiva los valores de los geositos regionales, con aquellos inventariados en otras zonas del País y fuera de él.

Al comparar estos CGT regionales con aquellos propuestos para Chile por Mourgues *et al.* (2012), constatamos que algunos tienen correspondencias en la propuesta nacional (por ejemplo, los números VI), XIII) y XVII)), pero otros no están representados (como por ejemplo los números V) y XIX).

Estos hechos nos permiten inferir que la definición de CGT es una tarea compleja, determinada por las particularidades de cada territorio y que, idealmente, debiese ser validada por la mayor cantidad de científicos y profesionales de la Ciencias de la Tierra. En específico, creemos que la propuesta nacional de CGT podría ser perfectible con algunos de los contextos propuestos para la región de Aysén.

5. REFERENCIAS

Anma R., R. Armstrong, T. Danhara, Y. Orihashi, H. Iwano (2006) Zircon sensitive high mass-resolution ion microprobe U-Pb and fission-track ages for gabbros and sheeted dikes of the Taitao ophiolite, southern Chile, and their tectonic implications. *Island Arc*, 15:130–142.

² Consultado en la página web de la SGCh el día 5-9-2019 (www.sociedadgeologica.cl).

- Anma R., R Armstrong, Y Orihashi, S Ike, K Shin, Y Kon, T Komiya, T Ota, S Kagashima, T Shibuya, S Yamamoto, E Veloso, M Fanning, F Hervé (2009) Are the Taitao granites formed due to subduction of the Chile ridge? *Lithos*, 113: 246–258.
- Augustsson C., C Münker, H Bahlburg, C.M Fanning (2006) Provenance of late Palaeozoic metasediments of the SW South American Gondwana margin: a combined U-Pb and Hf-isotope study of single detrital zircons. *Journal of the Geological Society of London*, 163:983-995.
- Augustsson C., H Bahlburg (2003) Active or passive margin? Geochemical and Nd isotope constraints of metasediments in the backstop of a pre-Andean accretionary wedge in southernmost Chile (468309–488309S). In: McCann, T. & Saintot, A. (eds) *Tracing Tectonic Deformation using the Sedimentary Record*. Geological Society, London, 208:253–268.
- Bell C. M., M Suarez (1997) The Lower Cretaceous Apeleg Formation of the Aisen basin, southern Chile. Tidal sandbar deposits of an epicontinental sea. *Revista Geológica de Chile*, 24:203–26.
- Bell C.M. (2009) Quaternary lacustrine braid deltas on Lake General Carrera in southern Chile. *Andean Geology*, 36(1):51-65.
- Benado J. (2013) Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Santiago, Chile). Tesis para optar al título de Magíster en Patrimonio Geológico y Geoconservación. Universidad de Minho. Braga, Portugal. 142 p.
- Benado J., F Hervé, M Schilling, J Brilha (2018) Geoconservation in Chile: State of the Art and Analysis. *Geoheritage Jour.*, <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0330-z>
- Bertin L. (2014) Granulometría, morfología, geoquímica y geocronología de los productos holocenos del volcán Hudson, región de Aysén, Chile. Tesis para optar al grado de Geólogo. Universidad de Concepción. Concepción. 278 p.
- Breitsprecher K., D Thorkelson (2009) Neogene kinematic history of Nazca–Antarctic–Phoenix slab windows beneath Patagonia and the Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*, 464(1):10-20.
- Brilha J. (2005) Património Geológico e Geoconservação: A conservação da Natureza na sua Vertiente Geológica. Palimage Editores. Braga, 190 p.
- Brilha J. (2016) Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage Journal*, 8(2):119-134.
- Brilha J., C Andrade, A Azerêdo, F Barriga, M Cachão, H Couto, P Cunha, J Crispim, P Dantas, L Duarte, M Freitas, M Granja, M Henriques, P Henriques, L Lopes, J Madeira, J Matos, F Noronha, J Pais, J Piçarra, M Ramalho, J Relvas, A Ribeiro, A Santos, V Santos, P Terrinha (2005) Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterization. *Episodes*, 28(3): 177-186.
- Calderón M., F Hervé, S Lohmar, F Mourgues, L Pinto, M Schilling, M Solari, M Valenzuela, P Martínez (2009) Geositos de la Sociedad Geológica de Chile: una herramienta de educación masiva en Geología, de valoración y preservación del Geopatrimonio, y de fomento del Turismo de Intereses Especiales. En *actas del XII Congreso Geológico Chileno*, Santiago.
- Cembrano J., F Hervé, A Lavenu (1996) The Liquiñe – Ofqui fault zone: a long – lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, 259:55 – 56. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00066-6)
- Cembrano J., Hervé F (1993) The Liquiñe Ofqui fault zone: a major Cenozoic strike-slip duplex in the southern Andes. In: 2nd intl.l symposium of Andean geodynamics (Oxford) extended abstracts, 175–178.
- Charrier R. E Linares, H Niemeyer, J Skarmeta (1979) K–Ar ages of basalt flows of the Meseta Buenos Aires in southern Chile and their relation to the southeast Pacific triple junction. *Geology*, 7:436–439.
- De La Cruz R, M Suárez (2008) Geología del Área Chile Chico-Río de Las Nieves, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 112, 67 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- De La Cruz R., J Cortés (2011) Geología del área oriental de la Hoja Puerto Cisnes, Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 127, 70 p, 1 mapa escala 1:250.000.
- De La Cruz R., M Suárez (2006) Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 95, 58 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- De La Cruz R., M Suarez, M Belma, D Quiroz, M Bell (2003) Geología del área Coihaique– Balmaceda, Región Aisen del General Carlos Ibáñez del Campo. SERNAGEOMIN. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 80, 40 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- De La Cruz, R., D Welkner, M Suárez, D Quiroz (2004) Geología del Área Oriental de la Hojas Cochrane y Villa O'Higgins, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 85, 57 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- Demant A., M Belmar, F Hervé, R.J Pankhurst, M Suárez (1998) Pétrologie et géochimie des basaltes de Murta: une éruption sous-glaciaire dans les Andes patagoniennes (46° lat. S.), Chili. Relation avec la subduction de la ride du Chili. *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de la Terre et des Planetes*, 327(12): 795-801. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80053-6](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80053-6).
- Demant A., M Suárez (2007) Geochronology and petrochemistry of Late Cretaceous- (?) Paleogene volcanic sequences from the eastern central Patagonian Cordillera (45° – 45°40' S). *Rev. Geol. de Chile*, 34:3–21.
- Ellis N. (2008) A history of the Geological Conservation Review. *Geological Society of London*. 300:123-135. doi:10.1144/SP300.10.
- Encinas A., A Folguera, V Oliveros, L De Girolamo, F Tapia, R Rizzo, F Hervé, K Finguer, V.A. Valencia, G Gianni, O Álvarez (2015) Late Oligocene-early Miocene submarine volcanism and deep-marine sedimentation in an extensional basin of southern Chile: Implications for the tectonic development of North Patagonian Andes. *Geological Society of America*. doi:10.1130/B31303.1.
- Encinas A., F Pérez, S Nielsen, K Finger, V Valencia, P Duhart (2014) Geochronologic and paleontologic evidence for a Pacific-Atlantic connection during the late Oligocene – early Miocene in the

Patagonian Andes (43 – 44°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 55:1-18.

Espinosa W., R Fuenzalida (1971) *Geología de la Provincia de Aysén entre los 45° - 46° Lat. S.* Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile) (Inédito). 54p. Santiago.

Espinoza F., D Morata, E Pelleter, R.C Maury, M Suárez, Y Lagabrielle, M Polvé, H Bellon, J Cotton, R De La Cruz, C Guivel (2005) Petrogenesis of the Eocene and Mio-Pliocene alkaline basaltic magmatism in Meseta Chile Chico, southern Patagonia, Chile: evidence for the participation of two slab windows. *Lithos*, 82:315–343.

Flint, S., D.J Prior, S.M Agar, P Turner (1994) Stratigraphic and structural evolution of the Tertiary Cosmelli basin and its relationship to the Chile triple junction. *Journal of Geological Society of London*, 151:251-258.

Forsythe R., E Nelson, M Carr, M.E Kaeding, F Hervé, C Mpodozis J.M Soffia, S Harnbour (1986) Pliocene near-trench magmatism in southern Chile: a possible manifestation of the ridge collision. *Geology*, 14:23–27.

Frassinetti D., V Covacevich (1999) Invertebrados fósiles marinos de la Formación Guadal (Oligoceno superior - Mioceno inferior) en Pampa Castillo, Región de Aisén, Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín*, 51:1-96.

García-Cortés A., I Rábano, J Locutura, F Bellido, J Fernández-Gianotti, A Martín-Serrano, C Quesada, A Barnolas, J.J Durán (2000) Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero*, 111:5-38.

García-Cortés A., L Carcavilla (2009) Documento metodológico para la elaboración del Inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España. 61 p.

González-Ferrán O. (1995) *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 640 p.

Gray M (2004) *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons Ltd. Londres. 434 p.

Gray M (2008) *Geodiversity: developing the paradigm*. Proceedings of the Geologists' Association, 119:287-298.

Guivel C., D Morata, E Pelleter, F Espinoza, R.C. Maury, Y Lagabrielle, M Polvé, H Bellon, J Cotton, M Benoit, M Suárez, M, R De La Cruz (2006) Miocene to Late Quaternary Patagonian basalts (46-47°S): Geochronometric and geochemical evidence for slab tearing due to active spreading ridge subduction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 149(3-4):346-370. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.09.002>

Guivel C., Y Lagabrielle, J Bourgois, R.C Maury, S Fourcade, H Martin, N Arnaud (1999) New geochemical constraints for the origin of ridge-subduction-related plutonic and volcanic suites from the Chile triple junction (Taitao peninsula and Site 862, Leg ODP 141 on the Taitao ridge). *Tectonophysics*, 311:83–111.

Haller M., O Lapido (1980) El Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35:230–47.

Harrison S., N.F Glasser, V Winchester, E Haresign, C.R Warren, K.N Jansson (2006) A glacial lake outburst

flood associated with recent mountain glacier retreat, Patagonian Andes. *The Holocene*, 16:611–620.

Heim A. (1940) Geological observations in the Patagonian Cordillera (Preliminary Report). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 33:25-51. Traducción en *Boletín Minero* 54, 507:646-649.

Henriques M.H., R Pena dos Reis, J Brilha, T.S Mota (2011) Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage Journal*, 3(2):117-128.

Hervé F. (1993) Paleozoic metamorphic complexes in the Andes of Aysén, southern Chile (West of Occidental). *Proceedings of the First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference*: 64-65. Guanajuato, México.

Hervé F., C Mpodozis, J Davidson, E Godoy (1981) Observaciones estructurales y petrográficas en el basamento metamórfico del Archipiélago de los Chonos entre el Canal King y el Canal Ninualac, Aisén. *Revista Geológica de Chile*, 13-14:3-16.

Hervé F., C.M Fanning (2000) Late Triassic zircons in metaturbidites of the Chonos Metamorphic Complex, southern Chile. *Revista Geológica de Chile*, 28(1):91-104.

Hervé F., M.C Fanning, R.J Pankhursts (2003) Detrital zircon age patterns and provenance of the metamorphic complexes of southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 16:107–123. doi: 10.1016/S0895-9811(03)00022-1.

Hervé F., R.J Pankhurst, C.M Fanning, M Calderón, G.M Yaxley (2007) The South Patagonian batholith: 150 My of granite magmatism on a plate margin. *Lithos*, 97:373–394.

Hervé F., R.J Pankhurst, R Drake, C MPodozis (1993) Granite generation and rapid unroofing related to strike-slip faulting, Aysén, Chile. *Earth and Planetary Science Letters*, 120:375-386.

Hervé F., R.J Pankhurst, R Drake, M.E Beck (1995) Pillow metabasalts in a mid-Tertiary extensional basin adjacent to the Liquiñe-Ofqui fault zone: The Isla Magdalena area, Aysén, Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(1):33–46.

Kon Y., T Komiya, R Anma, T Hirata, T Shibuya, S Yamamoto, S Maruyama (2013) Petrogenesis of the ridge subduction-related granitoids from the Taitao Peninsula, Chile Triple Junction Area. *Geochemical Journal*, 47:167 -183.

Lagabrielle Y., M Suárez, J Malavieille, D Morata, F Espinoza, R Maury, B Scalabrino, L Barbero, R De La Cruz, E Rossello, H Bellon (2007) Pliocene extensional tectonics in the Eastern Central Patagonian Cordillera: geochronological constraints and new field evidence. *Terra Nova*, 19:1-12.

Lima F.F., J Brilha, E Salamuni (2010) Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage Journal*, 2(3-4):91-99.

Marshall L., P Salinas (1990) Stratigraphy of the Río Frías Formation (Miocene) along the Alto Río Cisnes, Aisén, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 17(1):57-87.

Morata D., C Oliva, R De La Cruz, M Suárez (2005) The Bandurrias gabbro: Late Oligocene alkaline magmatism in the Patagonian Cordillera. *Journal of South American Earth Sciences*, 18:147–162.

- Morata D., R De la Cruz, M Suarez, A Demant (2000) Mantle xenoliths and xenocrysts in the Late Paleocene Patagonian continental flood basalts from Aysen, Chile. En actas del IX Congreso Geológico Chileno.
- Mourgues A., M Schilling, C Castro (2012) Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. En actas del XIII Congreso Geológico Chileno y II Simposio Geopatrimonio en Chile. Antofagasta.
- Mpodozis C., M Hervé, C Nasi, J Soffia, R Forsythe, E Nelson (1985) El magmatismo plioceno de la península Tres Montes y su relación con la evolución del punto triple de Chile. *Revista Geológica de Chile Austral*, 25-26.
- Niemeyer H. (1975) Geología de la región comprendida entre el lago General Carrera y el río Chacabuco, Provincia de Aisén, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (Inédito). Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 309 p.
- Niemeyer H., J Skármeta, R Fuenzalida, W Espinosa (1984) Hojas Península de Taitao y Puerto Aisén, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile N° 60-61, mapa 1:500.000.
- Novas F., L Salgado, M Suárez, F Agnolin, M Ezcurra, N Chimento, R De La Cruz, M Isasi, A Vargas, D Rubilar (2015) An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile. *Nature*. doi: 10.1038/nature14307.
- Pankhurst R. J., T.R Riley, C.M Fanning, S.P Kelley (2000) Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, 41(5):605–625.
- Pankhurst R.J., S.D Weaver, F Hervé, P Larrondo (1999) Mesozoic–Cenozoic evolution of the North Patagonian Batholith in Aysén, southern Chile. *Journal of the Geological Society, London*, 15:673–694.
- Parada M.A., A Lahsen, C Palacios (2001) Ages and geochemistry of Mesozoic–Eocene back-arc volcanic rocks in the Aysen region of the Patagonian Andes, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 28(1):25–46.
- Quezada P., J Benado, F Andrade, D Quiroz (2018) Programa de geoconservación de la SEREMI de Minería de la Región de Aysén: Propuesta de categorías geológicas temáticas. En las Actas del XV Congreso Geológico de Chile. GEOS-3: Geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación. Concepción.
- Quiroz D., M Belmar (2010) Geología del Área Bahía Murta-Cerro Sin Nombre, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 36 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Quiroz D., Z Bruce (2010) Geología del Área Villa Cerro Castillo-Puerto Ingeniero Ibáñez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 48 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Ramírez E., F Hervé, U Kelm, R Sassi (2005) P-T conditions of metapelites from metamorphic complexes in Aysen, Chile. *Journal of South American Earth Science*, 19:373-386.
- Rivas H. (2015) Estratigrafía y sedimentología de las rocas sedimentarias cenozoicas de Aysén Continental, al sur de Balmaceda (46°S), Región de Aysén, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (Inédito). Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 206 p.
- Rubilar A., E Pérez (2003) Bivalvos cenozoicos de ambiente continental (Superfamilia Unionacea), procedentes de la XI Región. Informe Paleontológico (Inédito), SERNAGEOMIN. Santiago. 4 p.
- Serey A. (2011) Análisis de las remociones en masa generadas por el terremoto del fiordo Aysén del 2007 (45,5°S). Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención Geología, Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. Santiago. 137 p.
- Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN (2011) Investigación Geológica Minera Ambiental en Aysén. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Final, Volumen 1, Geología Base. 304 p.
- Seton M., R.D Müller, S Zahirovic, C Gaina, T Torsvik, G Shephard, A Talsma, M Gurnis M Turner, S Maus, M Chandler (2012) Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma. *Earth-Science Reviews*, 113:212–270. doi:10.1016/j.earscirev.2012.03.002
- Silva C. (2003) Ambiente Geotectónico de Erupción y Metamorfismo de Metabasaltos Almohadillados de los Andes Norpatagónicos (42°–46°S), Chile. Tesis para optar al título de Magister en Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 148 p.
- Suárez M., A Demant, R De La Cruz (1999) Volcanismo calcoalcalino en W Provincia Chon Aike: Grupo Ibáñez, Jurásico Superior-Cretácico Inferior temprano, Cordillera Patagónica de Aysén, Chile (4530'–4630'S). Actas del Congreso Geológico Argentino, No. 4:186–189. Salta, Argentina.
- Suárez M., R De La Cruz (2000) Tectonics in the eastern central Patagonian Cordillera (45°30' – 47°30' S). *Journal of the Geological Society, London*, 157:995– 1001.
- Suárez M., R De la Cruz, M Bell (2007) Geología del Área Nireguao-Baño Nuevo, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. SERNAGEOMIN. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 108, 56 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Thomson S. (2002) Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 42 degrees S and 46 degrees S; an appraisal based on fission-track results from the transpressional intra-arc Liquiñe-Ofqui fault zone. *Geological Society of America Bulletin*, 114(9):1159–1173.
- Ton-That T., B Singer, N.A Möner, J Rabassa (1999) Datación de lavas basálticas por 40Ar/39Ar y geología glacial de la región del lago Buenos Aires, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54:333-352.
- Troncoso A., M Suárez, R De La Cruz, S Palma-Heldt (2002) Paleoflora de la Formación Ligorio Márquez (XI Región, Chile) en su localidad tipo: Paleobotánica, edad e implicancias paleoclimáticas. *Revista Geológica de Chile*, 29(1):113-135.
- Wimbledon W.A.P (2011) Geosites—a mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites. In *Geologia dell'Ambiente*, supplement, 2:13–25.
- Wimbledon W.A.P., A Ishchenko, N.P. Gerasimenko, L.O. Karis, V Suominen, C.E Johansson, C Freden (2000) Proyecto geosites, una iniciativa de la unión internacional de las ciencias geológicas (IUGS): la ciencia respaldada por la conservación. En: Baretino D., Wimbledon W.A.P, Gallego E (Eds). *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*, 73-100. Madrid.
- Wimbledon W.A.P., S Smith-Meyer (2012) Geoheritage in Europe and its conservation. *PROGEO*. Oslo. 405 p.

Tabla 1. Ficha de caracterización de los geositos.

N° CGT – N° Geosito		NOMBRE DEL GEOSITO	
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud
Provincia	Comuna	Localidad más cercana	
Propiedad del terreno	¿Figura de protección?		
Fiscal/Privado	Sí/No	¿Cuál?	
Justificación (corto, no más de 3 líneas) <ul style="list-style-type: none"> Justificar, en base a los criterios de valor científico (Integridad, Contenido Científico, Representatividad, Rareza), el por qué se ha seleccionado el lugar como geosito. 			
Superficie del geosito <ul style="list-style-type: none"> Descripción del objeto de conservación, dar antecedentes sobre su dimensión (área, perímetro, etc.) y límites. Idealmente, incluir registro cartográfico y fotográfico, de los elementos de interés y superficie. 			
Descripción geológica <ul style="list-style-type: none"> Resumen escueto sobre el geosito (por ejemplo, la característica distintiva del sitio, unidad geológica principal, si es un solo elemento o varios agrupados, ubicación, dimensiones, mapa geológico y/o cartográfico con la ubicación y perímetro del geosito, etc.). Geología del entorno (por ejemplo, las unidades geológicas y/o unidad morfo-estructural donde se emplaza). Descripción detallada del geosito (se comienza por aquello que está referenciado, y solo después lo observado en terreno): <ul style="list-style-type: none"> Descripción litológica y/o paleontológica. Fotografía del geosito. Descripción, referente al geosito, de los procesos de deformación, formas de erosión, sedimentación y/o morfología. Fotografías y/o esquemas de aspectos específicos del geosito. Edad (puede distinguirse entre edad cronoestratigráfica y la edad del proceso genético). Proceso y contexto tectónico de formación. Otras características geológicas relevantes, pero no necesariamente relacionados al aspecto que lo hacen geosito en su CGT. Referencias bibliográficas utilizadas para la descripción de esta sección. 			
Visibilidad y Acceso <ul style="list-style-type: none"> Descripción de los lugares para apreciar el geosito, tanto el "ideal", como alternativos (puede ser de interés colocar las coordenadas). Descripción detallada de cómo acceder al geosito (carretera o ruta de acceso, especificar cuáles tramos pueden ser en vehículo y cuáles a pie, si es libre el acceso o debe solicitarse autorización previa, tiempo estimado de aproximación, dificultad y peligros del acceso, etc.), en relación a los distintos puntos de observación descritos anteriormente. Mapa cartográfico especificando el acceso y rutas en general. 			
Antecedentes para la Protección <ul style="list-style-type: none"> Descripción de los usos (turístico, ganadero, agrícola, minero, etc.), actuales y potenciales, del geosito y área que lo circunda. Descripción del estado de conservación del geosito, considerando causas antrópicas (tipos de alteraciones como por ejemplo cortes de camino, rallados, basuras, extracción de muestras, etc.) y no antrópicas (procesos de erosión, fracturas, et.), junto con una breve descripción de la vulnerabilidad (por ejemplo, producto a potenciales amenazas relacionadas a la minería, entre otras). 			
Antecedentes no geológicos <ul style="list-style-type: none"> Breve descripción (no más de un párrafo), cuando sea relevante y debidamente referenciada, de antecedentes no geológicos (arqueológico, ecológico, paisajísticos, cultural, etc.) que aumentan el valor científico y/o patrimonial del geosito. Referencias utilizadas para describir los antecedentes no geológicos de esta sección. 			
Propuesta de estudios científicos <ul style="list-style-type: none"> Descripción de posibles estudios científicos, verosímiles de ser realizados, que podrían complementar la caracterización del geosito (por ejemplo cortes transparentes, estudios geofísicos, dataciones, etc.). 			
Autores de la propuesta <ul style="list-style-type: none"> Nombre de los autores de la propuesta de geosito y su filiación académica-laboral. 			

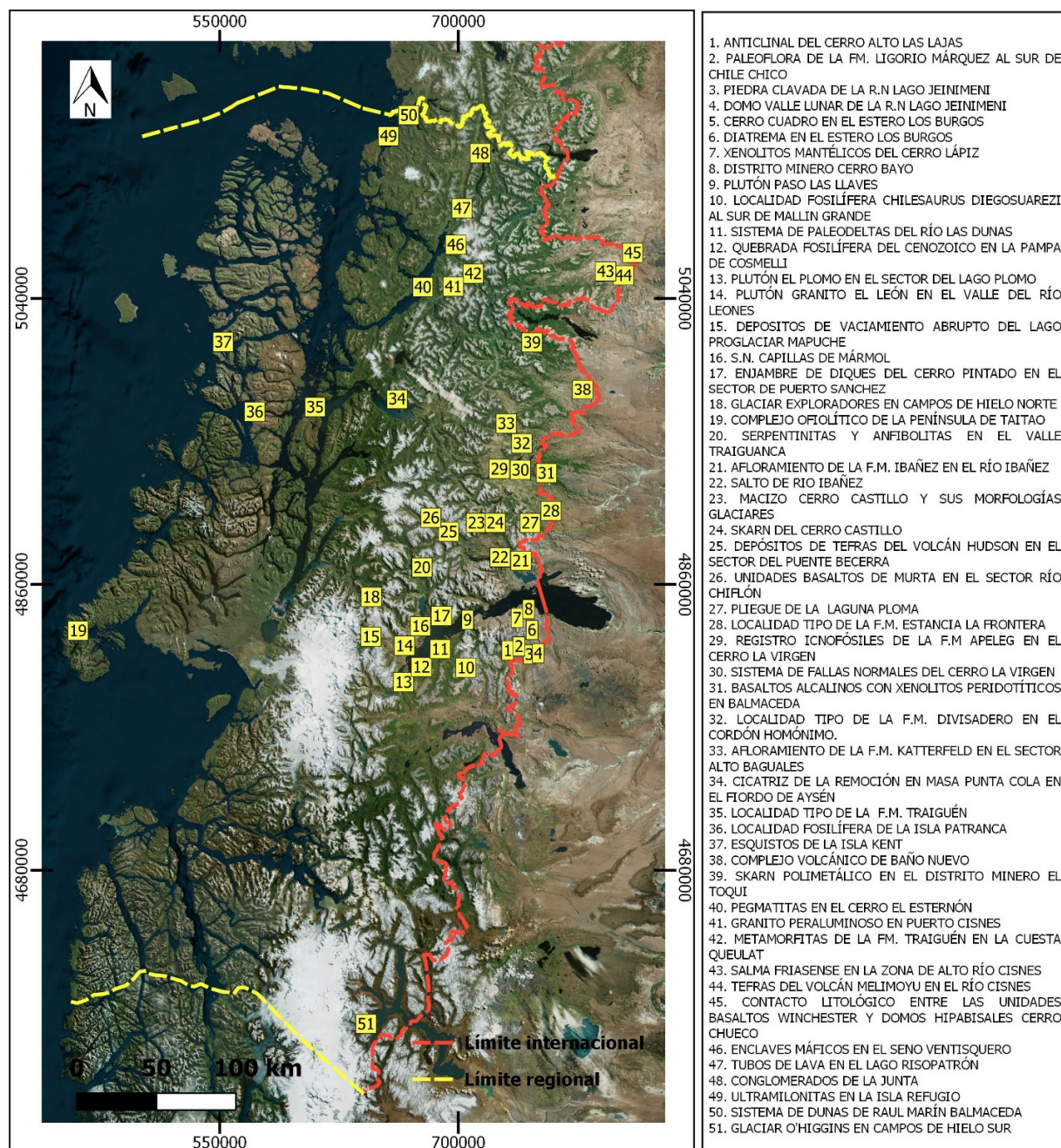


Figura 1. Nombre y ubicación de referencia de los geositos caracterizados en detalle en el inventario.

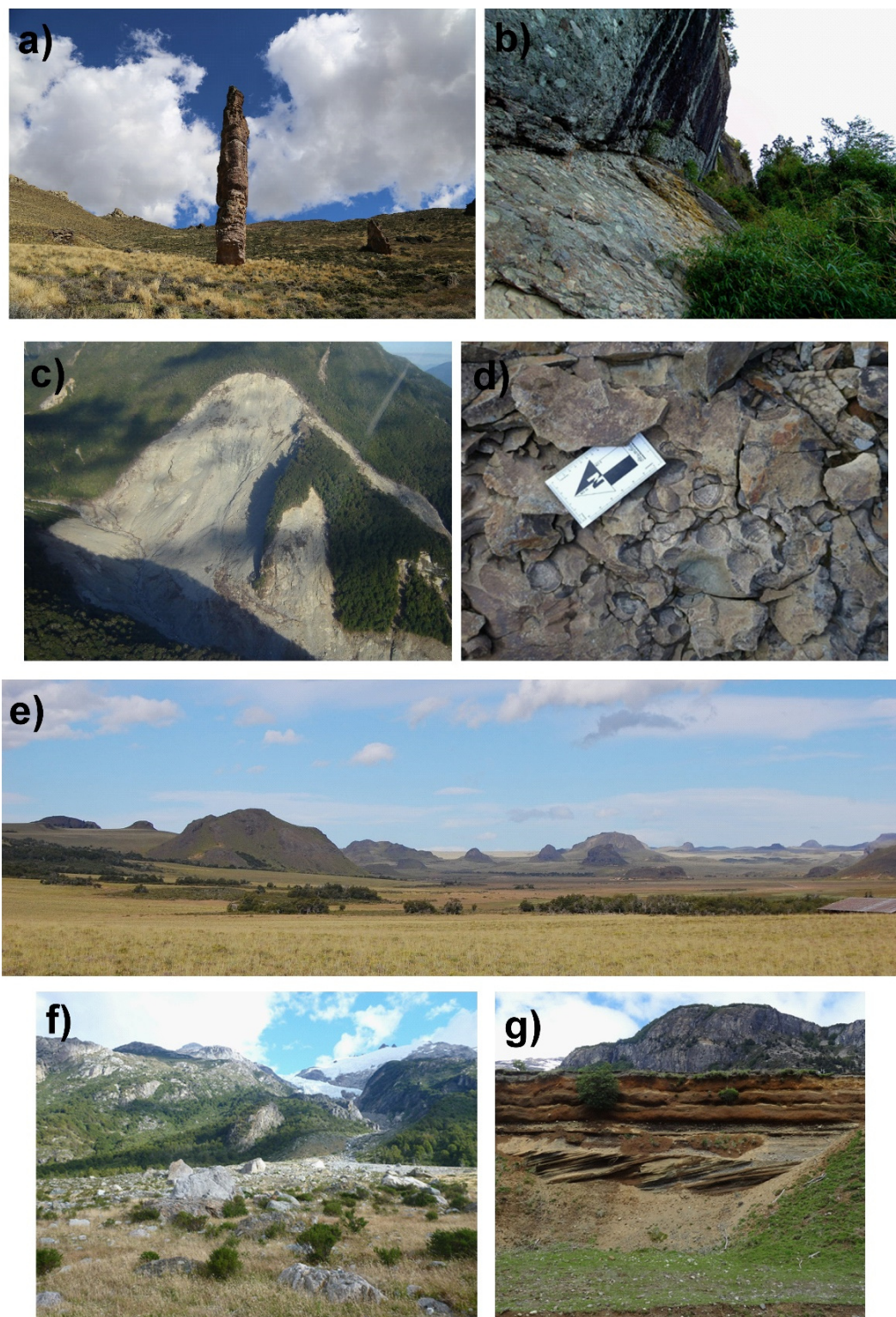


Figura 2. Fotografías de algunos de los geositos inventariados. a) Piedra Clavada de la Reserva Nacional Lago Jeinimeni; b) Conglomerados de La Junta; c) Cicatriz de la remoción en masa Quebrada Punta Cola en el fiordo de Aysén. La fotografía es gentileza de la geóloga Alejandra Serey; d) Quebrada fosilífera del Cenozoico en la pampa de Cosmelli; e) Complejo Volcánico Baño Nuevo; f) Depósitos de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche; g) Depósitos de tefra del volcán Hudson en el sector Puente Becerra.

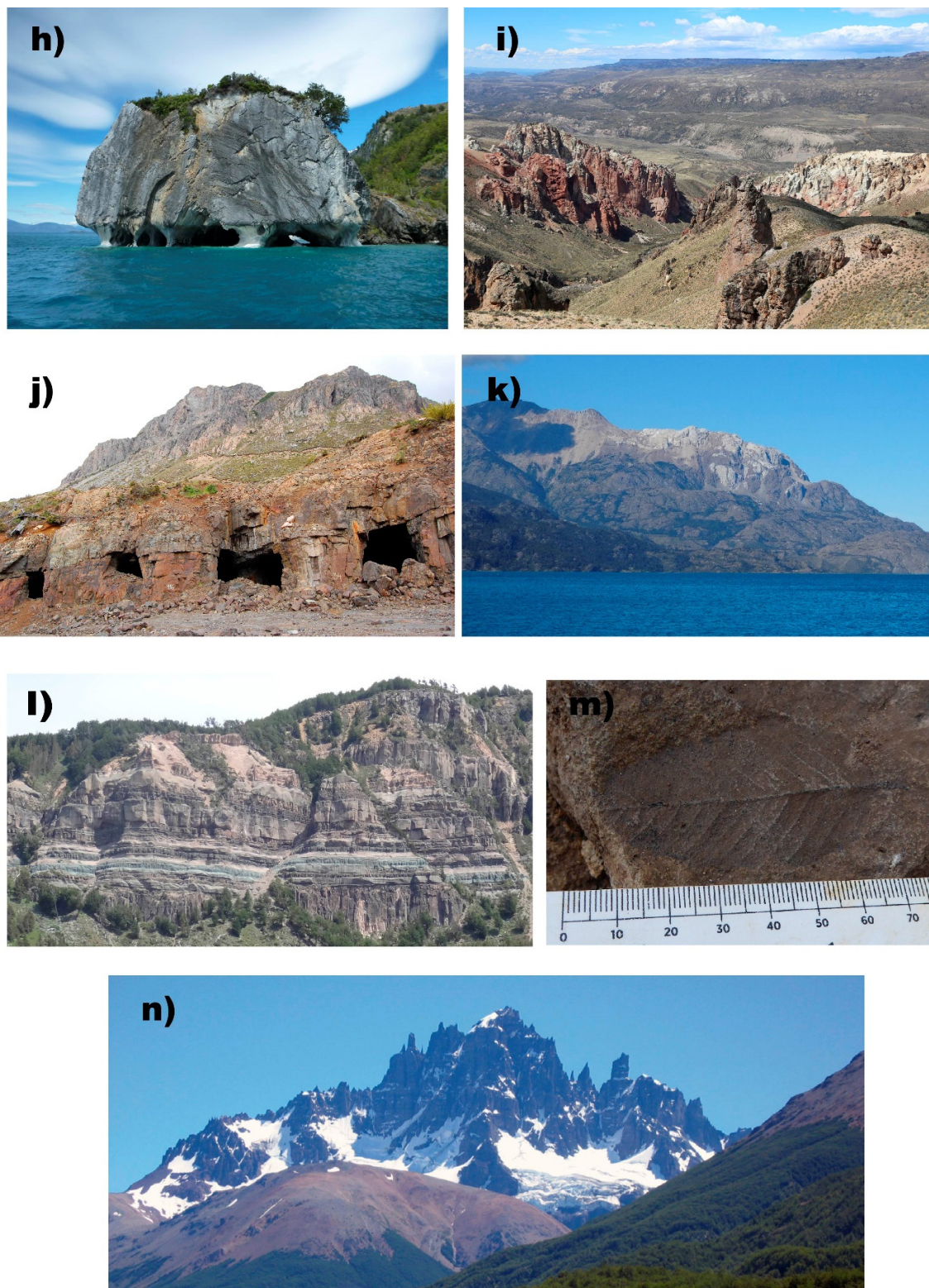


Figura 3. Fotografías de algunos de los geositos inventariados. h) Santuario de la Naturaleza Capillas de Marmol; i) Domo Valle Lunar de la Reserva Nacional Lago Jeinimeni; j) Skarn polimetálico distrito minero El Toqui; k) Enjambre de diques del Cerro Pintado en el sector de Puerto Sánchez; l) Sistema de fallas normales del Cerro La Virgen; m) Paleoflora de la Fm. Ligorio Márquez al sur de Chile Chico; n) Macizo Cerro Castillo y sus morfologías glaciares.