



**REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

**VARIACIONES RECIENTES DE GLACIARES EN
CHILE, SEGÚN PRINCIPALES ZONAS
GLACIOLOGICAS**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

CENTRO DE ESTUDIOS CIENTIFICOS

S.I.T. N°261

Santiago, Diciembre del 2011

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Laurence Golborne R.

Director General de Aguas
Abogado Sr. Matías Desmadryl L.

Jefe Unidad de Glaciología y Nieves
Dr. Gonzalo Barcaza S.

Inspector Fiscal
Geólogo Sra. M. Belén Varela M.

CENTRO DE ESTUDIOS CIENTIFICOS

Jefe de Proyecto
Dr. Andrés Rivera I.

Profesionales

MSc. Sra. Francisca Bown G.
Geógrafa Srta. Daniela Carrión C.
Licenciado en Geografía Sr. Dennys Caro P.
Licenciado en Geografía Sr. Fernando Gimeno M.
Ingeniero Geomensor Sr. David Farías B.
Ingeniero Civil en Informática Sr. Sebastián Cisternas G.

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	7
2. INTRODUCCIÓN.....	8
2.1. Objetivos	10
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Imágenes satelitales, características principales y criterios de selección	11
3.2. Programas computacionales	12
3.3. Clasificación multispectral de las imágenes.....	12
3.4. Digitalización de otras imágenes	13
3.5. Delimitación de Glaciares, variaciones y estimación de errores.....	14
4. RESULTADOS POR ZONAS GLACIOLÓGICAS	16
5.1. Zona Norte.....	16
5.1.1. Zona Norte A	16
5.1.2. Zona Norte B	17
5.1.3. Zona Norte C	17
5.2. Zona Centro	17
5.3. Zona Sur.....	19
5.3.1. Zona Sur A	19
5.3.2. Zona Sur B	21
5.4. Zona Austral.....	22
5.4.1. Zona Austral A	22
5.4.2. Zona Austral B	23
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	25
6. REFERENCIAS	29

ANEXO FIGURAS	34
Figura 1. Zonas y subzonas glaciológicas definidas en la Estrategia Nacional de Glaciares.	34
Figura 2. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Norte A (rojo), Zona Norte B (naranja) y Zona Norte C (amarillo).	35
Figura 3. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Centro (verde), Zona Sur A (celeste) y Zona Sur B (azul).....	36
Figura 4. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Austral A (café oscuro) y Zona Austral (café claro).	37
Figura 5. Variaciones de los glaciares del Volcán Pomerape y Volcán Parinacota (Zona Norte A).	38
Figura 6. Variaciones de los glaciares del Volcán Guallatiri (Zona Norte A).....	39
Figura 7. Variaciones de los glaciares del Volcán Sillajhuay (Zona Norte A).....	40
Figura 8. Variaciones de los glaciares del Cerro el Muerto (Zona Norte A).	41
Figura 9. Variaciones de los glaciares del Volcán Ojos del Salado (Zona Norte A).	42
Figura 10. Variaciones de los glaciares del Nevado Tres Cruces (Zona Norte A). ...	43
Figura 11. Variaciones del glaciar Tronquitos (Zona Norte B).....	44
Figura 12. Variaciones del glaciar Estrecho (Zona Norte B).	45
Figura 13. Variaciones del glaciar Guanaco (Zona Norte B).....	46
Figura 14. Variaciones de los glaciares Ortigas 1 y Ortigas 2 (Zona Norte B).	47
Figura 15. Variaciones del glaciar Tapado (Zona Norte B).....	48
Figura 16. Variaciones del glaciar Cerro Volcán (Zona Norte C).....	49
Figura 17. Variaciones del glaciar Monos de Agua (Zona Centro).	50
Figura 18. Variaciones del glaciar Juncal Norte (Zona Centro).	51
Figura 19. Variaciones del glaciar Juncal Sur (Zona Centro).	52
Figura 20. Variaciones de los glaciares Olivares Gama y Olivares Beta (Zona Centro).....	53
Figura 21. Variaciones de los glaciares Rincón, La Paloma y Olivares Alfa (Zona Centro).....	54
Figura 22. Variaciones de los glaciares de los volcanes Marmolejo y San José (Zona Centro).....	55
Figura 23. Variaciones del glaciar Echaurren (Zona Centro).	56
Figura 24. Variaciones del glaciar Pirámide (Zona Centro).	57
Figura 25. Variaciones de los glaciares del Volcán Tupungatito (Zona Centro).	58
Figura 26. Variaciones de los glaciares Palomo y Cortaderal (Zona Centro).	59
Figura 27. Variaciones del glaciar Universidad (Zona Centro).	60
Figura 28. Variaciones del glaciar Cipreses (Zona Centro).....	61
Figura 29. Variaciones de los glaciares de los volcanes Peteroa y Azufre (Zona Centro).....	62
Figura 30. Variaciones de los glaciares de Nevados de Chillán (Zona Sur A).....	63
Figura 31. Variaciones de los glaciares de Sierra Velluda y Volcán Antuco (Zona Sur A).	64
Figura 32. Variaciones de los glaciares del Volcán Callaqui (Zona Sur A).	65
Figura 33. Variaciones de los glaciares de los volcanes Tolhuaca y Lonquimay (Zona Sur A).....	66

Figura 34. Variaciones de los glaciares de Sierra Nevada y Volcán Llaima (Zona Sur A).	67
Figura 35. Variaciones del glaciar Nevados de Sollipulli (Zona Sur A).....	68
Figura 36. Variaciones de los glaciares del volcán Villarrica (Zona Sur A).....	69
Figura 37. Variaciones del Glaciar Nevados de Sollipulli (Zona Sur A).	70
Figura 38. Variaciones del glaciar del volcán Puyehue (Zona Sur A).	71
Figura 39. Variaciones de los glaciares del Volcán Puntiagudo (Zona Sur A).....	72
Figura 40. Variaciones de los glaciares del volcán Osorno (Zona Sur A).....	73
Figura 41. Variaciones del glaciar Casa Pangué (Zona Sur B).	74
Figura 42. Variaciones de los glaciares del Volcán Yates (Zona Sur B).	75
Figura 43. Variaciones de los glaciares del Monte Inexplorado (Zona Sur B).....	76
Figura 44. Variaciones de los glaciares del volcán Michinmahuida (Zona Sur B)....	77
Figura 45. Variaciones de los glaciares del Volcán Corcovado (Zona Sur B).	78
Figura 46. Variaciones de los glaciares del Volcán Yanteles (Zona Sur B).	79
Figura 47. Variaciones de los glaciares del Volcán Melimoyu (Zona Sur B).....	80
Figura 48. Variaciones de los glaciares del Nevado de Queulat (Zona Sur B).....	81
Figura 49. Variaciones de los glaciares del Volcán Mentolat (Zona Sur B).....	82
Figura 50. Variaciones de los glaciares del Volcán Cay (Zona Sur B).	83
Figura 51. Variaciones de los glaciares del Volcán Macá (Zona Sur B).	84
Figura 52. Variaciones de los glaciares del Volcán Hudson (Zona Sur B).	85
Figura 53. Variaciones del glaciar Erasmo (Zona Sur B).	86
Figura 54. Variaciones de los glaciares Reicher y Gualas (Zona Austral A).	87
Figura 55. Variaciones del glaciar San Rafael (Zona Austral A).....	88
Figura 56. Variaciones del glaciar San Quintín (Zona Austral A).	89
Figura 57. Variaciones de los glaciares Nef y Colonia (Zona Austral A).....	90
Figura 58. Variaciones del glaciar Jorge Montt (Zona Austral A).	91
Figura 59. Variaciones de los glaciares Bernardo y Témpanos (Zona Austral A). ...	92
Figura 60. Variaciones de los glaciares Occidental, Greve, HPS8, HPS9 y Pio XI (Zona.....	93
Figura 61. Variaciones de los glaciares Europa y Guilardi (Zona Austral A).....	94
Figura 62. Variaciones del glaciar HPS29 (Zona Austral A).....	95
Figura 63. Variaciones del glaciar Amalia (Zona Austral A).	96
Figura 64. Variaciones del glaciar Balmaceda (Zona Austral A).	97
Figura 65. Variaciones del glaciar Grey (Zona Austral A).	98
Figura 66. Variaciones del glaciar Dickson (Zona Austral A).....	99
Figura 67. Variaciones de los glaciares O'Higgins y Chico (Zona Austral A).....	100
Figura 68. Variaciones del glaciar Lucía (Zona Austral A).	101
Figura 69. Variaciones de los glaciares Schiaparelli y Conway (Zona Austral B)..	102
Figura 70. Variaciones del glaciar Marinelli (Zona Austral B).....	103
Figura 71. Variaciones del glaciar 4 (Zona Austral B).	104
Figura 72. Variaciones del glaciar Stoppanni (Zona Austral B).....	105
Figura 73. Variaciones del glaciar 5 (Zona Austral B).	106
Figura 74. Variaciones del glaciar 1 (Zona Austral B).	107
Figura 75. Variaciones de los glaciares 15 y 16 (Zona Austral B).....	108
Figura 76. Variaciones del glaciar Ventisquero (Zona Austral B).	109

Figura 77. Variaciones del glaciar 12 (Zona Austral B).....	110
Figura 78. Variaciones de los glaciares 7, 8, 9, Italia y Roncagli (Zona Austral B).	111
Figura 79. Variaciones del glaciar Garibaldi (Zona Austral B).....	112
Figura 80. Síntesis de variaciones frontales en Chile	113

ANEXO TABLAS	114
Tabla 1. Características de ASTER (Abrams <i>et al.</i> , 2002).....	114
Tabla 2. Características de Landsat MSS	114
Tabla 3. Características de Landsat TM y ETM+	115
Tabla 4. Resolución y error de imágenes utilizadas	115
Tabla 5. Programas computacionales utilizados.....	115
Tabla 6A. Variaciones areales ($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$) de glaciares Zonas Norte, Centro y Sur A.	116
Tabla 6B. Variaciones areales ($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$) de glaciares Zonas Sur B y Austral	118
Tabla 7. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Norte A, B y C.....	119
Tabla 8. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Centro.	120
Tabla 9. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Sur A.	121
Tabla 10. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Sur B.....	122
Tabla 11. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Austral A.	123
Tabla 12. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Austral B.	124
Tabla 13. Base de datos	125
Tabla 13. Base de datos, continuación.....	135

1. RESUMEN

Se presenta una síntesis de variaciones de más de 140 glaciares de Chile durante las últimas décadas desde el límite Norte con el Perú hasta el extremo Sur, con el principal objetivo de completar y actualizar la información glaciológica existente en el país. Mediante el empleo de herramientas de percepción remota satelital, técnicas digitales de análisis y otras fuentes complementarias, se ha generado una base de datos nacional extensiva incluyendo toda la variedad de tipos glaciares y ambientes climáticos en el contexto de los requisitos de un Plan de Monitoreo que ha sido propuesto en la Estrategia Nacional de Glaciares. En la Zona Norte se ha generado una base de datos circunscrita a las variaciones areales y frontales de los centros montañosos y volcánicos más importantes dada la significancia menor en términos de superficie relativa y una dinámica glaciaria moderada en comparación con las restantes zonas glaciológicas. Las Zonas Centro, Sur y Austral contienen un número significativo de glaciares estudiados en términos de variaciones frontales y areales, debido a su mayor prioridad por razones poblacionales, socio-económicas y de superficie de hielo almacenada. Se comprueba una tendencia generalizada de retroceso frontal y reducción de áreas glaciares, que está vinculada en gran medida a los cambios en temperaturas y precipitaciones que afectan Chile. Sólo se detectaron 3 glaciares que avanzan, localizados en la zona Austral. Varios glaciares presentan respuestas exacerbadas debido a condiciones locales y efectos dinámicos por desprendimiento y relación con volcanismo.

ABSTRACT

A synthesis of 140 glacier variations and area changes during recent decades in Chile from the Northern limit with Perú up to the southern tip is presented, with the main aim of completing and updating the available glaciological knowledge in the country. By means of satellite remote sensing tools, digital techniques analysis and other complementary sources, a nationally-extensive glacier data base has been generated including the whole variety of glacier types and hydroclimate environments as requested by the Monitoring Plan being proposed in the National Glacier Strategy. In the Northern Zone, the data base has been constrained to the areal and frontal variations of the main mountains and volcanic centers due to the lower significance in terms of relative ice surface and moderate glacier dynamics as compared to other glaciological zones. The Central, Southern and Austral Zones contain a significant number of glaciers analyzed in terms of frontal as well as areal variations due to a higher priority for population, socio-economical and relative ice surface concerns. A general frontal retreat and area shrinkage trend is confirmed, which is triggered at a large extent by ongoing temperature and precipitation changes taking place in Chile. Only three glaciers exhibited advances which are located at the Austral zone. Several glaciers exhibited very high change rates, mainly due to dynamic responses, including local topographies, calving activities and the volcanic activity on ice-capped volcanoes.

2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una síntesis de variaciones de glaciares en Chile desde el límite Norte con el Perú hasta el extremo austral. Los glaciares seleccionados se han distribuido entre las ocho sub-zonas glaciológicas identificadas en Chile por su significancia en términos climáticos, hidrológicos, de superficie relativa, económicos y poblacionales; esto es: Norte A, Norte B, Norte C, Centro, Sur A, Sur B, Austral A y Austral B (**Figura 1**). Los glaciares estudiados son considerados para estos efectos, representativos de la enorme heterogeneidad glaciológica del país, y prioritarios para superar vacíos e irregular cobertura de información. Mayores fundamentos glacio-climáticos de la mencionada zonificación son discutidos en la Estrategia Nacional de Glaciares (DGA, 2009).

El objetivo principal de este trabajo fue la compilación de variaciones glaciares frontales y areales recientes; más específicamente durante la segunda mitad del siglo XX y primera década del siglo XXI. La realización de esta acción de apoyo apuntó a sistematizar, completar y actualizar los estudios existentes, haciendo uso principalmente de herramientas de percepción remota satelital, sumado a técnicas de análisis digital y una variedad de fuentes de datos y estudios complementarios. Hasta la fecha, en Chile se habían medido variaciones frontales históricas para una proporción reducida del total de glaciares inventariados, prevaleciendo una deficiente cobertura temporo-espacial e incluso carencia de inventarios en algunas porciones aisladas del territorio chileno. Con ello, el objetivo último fue la generación de una base de datos nacionalmente extensiva de escala interdecadal para toda la variedad de tipos glaciares y ambientes climáticos del país, orientada a establecer los parámetros básicos incluidos como requisitos en el Nivel 4 del Plan de Monitoreo glaciar propuesto en la Estrategia Nacional de Glaciares (DGA, 2009).

En este trabajo se analizó más de 140 glaciares en términos de cambios de área y variaciones frontales. La disponibilidad de imágenes satelitales recientes permitió obtener tasas de variación actualizadas en varios casos hasta el año 2010 o 2011 a partir de su comparación con trabajos y datos previos, especialmente gracias a imágenes satelitales de mayor antigüedad. Si bien la distribución de los glaciares seleccionados es función de la zonificación hidrológica indicada en las bases de la acción de apoyo (Benítez, 1980), con el conocimiento actual y el advenimiento de nuevas herramientas, 30 años después es posible ampliar los criterios glaciológicos y topográficos en pro de una delimitación más compleja de las subcuencas con respaldo nivo-glaciar en Chile. Esto ha implicado en no pocos casos, la selección y estudio de varios glaciares dentro de una misma subcuenca, apegándose a la clasificación de Benítez (1980), pero que en base a lo señalado anteriormente, se pueden dividir en dos o más subcuencas glaciológicas. Esto sucede por ejemplo en las Zonas Central y Austral, mientras que a la inversa, en algunas subcuencas no se reconocen superficies de nieve y hielo susceptibles de ser analizadas como glaciares (subcuencas 103, 200, 201, 202, 210, 341, 730, 731, 732, 735, 1011, 1032, 1052, 1103, 1114, 1142, 1146, 1148, 1150, 1151, 1190, 1201 y 1203). Esto deja un aparente vacío de información que es compensado en otros centros montañosos bajo la misma sub-zona glaciológica. Así también, se han analizado glaciares en algunas subcuencas no originalmente consideradas con aporte glaciar. Con todo ello, se incorpora la totalidad

del número de glaciares requeridos por cada sub-zona glaciológica según DGA (2009), garantizando la representatividad que se pretende con la realización de este trabajo.

A lo largo de Chile se pueden encontrar inventarios glaciares realizados por diversos autores (*e.g.* Garín, 1987; Marangunic, 1979; Valdivia, 1984; Noveroy, 1987; Rivera, 1989), los cuales se han realizado con métodos y escalas variables, algunos en base a topografía preliminar, constituyendo un referente de superficies de glaciares en décadas recientes para un número significativo de subcuencas con aporte nivoglaciario. La mayor parte se encuentra en formato análogo, por lo cual en varias zonas montañosas se han adquirido fotografías aéreas con las cuales se elaboraron dichas cartografías de inventarios, las que han sido traspasadas a formato digital y georeferenciadas con los mismos parámetros de la cartografía satelital para efectos de su comparación con la data reciente.

En la Zona Norte A (**Figura 2**) se han estudiado entre otros, los Volcanes Pomerape y Paríacota por constituir los centros montañosos principales en el extremo norte del país, mientras que en la Zona Norte B se han priorizado glaciares de la cuenca del Huasco superior que han sido poco estudiados a excepción de los inventarios más recientes (Nicholson *et al.*, 2009), como es el caso de los glaciares denominados Estrecho, Guanaco, Ortigas 1 y Ortigas 2. En la Zona Norte C se analizaron las variaciones de área del Cerro Volcán (30,5°), el que también fue inventariado por Garín (1987). El número total de glaciares estudiados en esta macro zona glaciológica asciende a 35 los que se encuentran distribuidos en 30 glaciares para Norte A, 4 glaciares en Norte B y 1 en Norte C.

Para la zona Centro del país (**Figura 3**) se incluyeron, entre otros, varios glaciares de las sub-cuencas del Aconcagua alto y Maipo alto, como por ejemplo Cerro Marmolejo y Volcán Tupungatito, respectivamente, los que no registran estudios de variaciones recientes por otros autores. El número de glaciares estudiados es de 25, superándose en esta región lo que se había sugerido en el Plan de Monitoreo (DGA, 2009).

En la Zona Sur A y Sur B (**Figura 3**) predominan los glaciares sobre volcanes y calderas volcánicas cuyas variaciones glaciares se han actualizado a fechas recientes. Entre ellos se encuentran los Nevados de Chillán, Nevados de Sollipulli, Sierra Velluda y Volcán Villarrica, además de muchos otros localizados en la zona de Chiloé continental, tales como Michinmahuida, Melimoyu y Mentolat. En total se analizaron cambios frontales de 40 glaciares.

En la Zona Austral A (**Figura 4**) destaca el Glaciar Jorge Montt, localizado en el Campo de Hielo Patagónico Sur, por sus altísimas tasas de retroceso frontal a partir de las últimas imágenes analizadas. En la Zona Austral B se incluyen los glaciares más importantes del Monte Sarmiento y Cordillera Darwin. En esta región, ha habido limitaciones importantes de nubosidad, por lo cual en numerosos casos no ha sido posible actualizar las variaciones hasta el año 2010/2011. Se analizaron 24 glaciares en Austral A y 18 glaciares en Austral B.

A continuación se presentan los resultados de variaciones glaciares frontales en tasas de cambio anual (m a^{-1}) y variaciones areales, también expresados como tasa anual ($\text{km}^2 \text{ a}^{-1}$) y variación porcentual (%), los que están acompañados de información complementaria. Cada tabla desglosa la información por cada una de las sub-zonas glaciológicas del país y éstas a su vez, por cada subcuenca nivo-glaciar según la clasificación de Benítez (1980) modificada para este estudio. Este listado está acompañado con un set importante de figuras donde se han ilustrado y desplegado los polígonos glaciares en distintas fechas, haciendo más visibles las variaciones de área y frentes en casos de estudio importantes. Este informe está complementado con bases de datos digitales en tablas de atributos y figuras de variación en glaciares seleccionados.

2.1. Objetivos

General

Determinar variaciones recientes de glaciares en Chile en las sub-cuencas que presentan aporte glaciar.

Específicos

- ✓ Completar y sistematizar los estudios de variaciones de glaciares actualmente existentes en Chile.
- ✓ Determinar variaciones frontales y areales de glaciares en Chile en escala de tiempo interdecadal durante la segunda mitad del siglo XX y primera década del siglo XXI en base a datos satelitales y otras complementarias.
- ✓ Completar las bases de datos requeridas en el Nivel 4 del Plan Nacional de Monitoreo Glaciar (DGA, 2009).

3. METODOLOGÍA

3.1. Imágenes satelitales, características principales y criterios de selección

La información base empleada en la elaboración de este trabajo es un set de imágenes satelitales ASTER y LANDSAT entre los años 1972 y 2011, las que en general han cumplido con muy adecuadas (aunque variables latitudinalmente) cualidades ópticas, fechas de adquisición y orto-rectificación.

El sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) está montado a bordo del satélite TERRA y es operado por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) de los EE.UU. Las imágenes ASTER se caracterizan por poseer una mayor resolución espectral que las tradicionales imágenes multiespectrales, específicamente 14 bandas en el espectro electromagnético (**Tabla 1**). Estas imágenes fueron adquiridas en su nivel 3 (AST14DMO Orthorectified + DEM), el cual conforma un producto multi-archivo que contiene un Modelo Digital de Elevaciones, más conocido como DEM (*Digital Elevation Model*) y 15 imágenes (una por banda) orto-rectificadas y calibradas radiométricamente. Se desistió de ocupar el DEM generado automáticamente, ya que trabajos previos han demostrado que las pendientes de exposición norte aparecen significativamente acortadas, mientras que las pendientes de exposición sur aparecen más estiradas (Kääb *et al.*, 2003).

Así también, se han utilizado numerosas imágenes MSS (*Multispectral Scanner*, **Tabla 2**), TM (*Thematic Mapper*) y ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*), sensores montados en los satélites LANDSAT 2, LANDSAT 5 y LANDSAT 7 respectivamente (**Tabla 2 y 3**). En este último sensor se produjo una falla en el sistema *Scan Line Corrector (SCL-off)* en mayo de 2003 por lo cual el efecto visual es el de una grilla superpuesta en varias imágenes adquiridas a partir de esa fecha. Estas imágenes se han descargado principalmente de la base de datos GLCF (*Global Land Cover Facility*), las que han sido orto-rectificadas previamente de acuerdo a la resolución de cada una (**Tabla 4**). Todas las imágenes se encuentran georeferenciadas utilizando la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) y el modelo geoidal WGS84 (*World Geodetic System* de 1984) como datum de referencia.

Uno de los criterios clave de selección fue la ausencia total de nubosidad, o en su defecto, que la presencia de nubes no afectara severamente las áreas englaciadas, y donde todos los sensores permitieron adquirir imágenes multiespectrales de alta resolución espacial (Kääb *et al.*, 2003). En el caso de las Zonas Norte y Centro son frecuentes las escenas despejadas, pero este no es el caso de la Zona Austral, donde hubo mayores limitaciones para adquirir imágenes, por lo cual los datos obtenidos son mayoritariamente más antiguos que el 2010. Un segundo criterio fue la fecha de captura de las imágenes, favoreciendo escenas del verano austral, idealmente a fines del período de ablación; el que corresponde a los meses de Abril y Mayo para el hemisferio Sur (Rivera *et al.*, 2002). El motivo es minimizar la presencia de neveros estacionales erróneamente clasificados como parte de un área glaciar. Según Paul *et al.*, (2002), la captura de imágenes a finales de este período favorece la distinción de

las variaciones espaciales y espectrales de las zonas de nieve húmeda y hielo descubierto, permitiendo interpretarlas como cambios en la posición de la línea de nieve.

3.2. Programas computacionales

Varios programas comerciales (**Tabla 5**), en versiones recientes, fueron utilizados en el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, los que son especializados en el manejo de información espacial y que son más conocidos como Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.3. Clasificación multiespectral de las imágenes

El método de clasificación está basado en la segmentación de bandas o razón de bandas (RB), donde una de ellas constituye un numerador y la otra el denominador. Este método se describe detalladamente en Paul *et al.*, (2002) y se refiere a la comparación de valores digitales de bandas, siendo utilizado exitosamente en diversas regiones del mundo (Svoboda & Paul, 2009). Para este trabajo se aplicó la razón de bandas utilizando principalmente los valores digitales de las bandas roja, infrarroja onda corta e infrarroja cercana. Para las imágenes LANDSAT se utilizaron tanto las RB 3/5 como 4/5, que permiten discriminar en forma adecuada facies de nieve y hielo (Hall *et al.*, 1995), mientras que en el caso del sensor ASTER, las RB empleadas son AST2/AST4 y AST3/AST4.

El empleo de las bandas 3 y 4 se ha justificado cuando hay áreas afectadas por sombras más profundas (Paul *et al.*, 2002; Andreassen *et al.*, 2008). Esta clasificación multiespectral, como muchas otras, permite detectar el hielo glaciario descubierto (Barcaza & Aniya, 2007; Raup *et al.*, 2007; Vivero *et al.*, 2010), imponiendo entonces una clara limitación en el caso de lenguas glaciares que presentan detritos en superficie.

El producto resultante de la RB es una imagen y un histograma asociado, del cual se obtienen valores umbrales, los que a continuación se usan como parámetros en la obtención de una imagen clasificada. A partir de esta nueva imagen, se obtiene un polígono-vector en que el valor 1 representa el área glaciario y 0 el área no-glaciario.

La clasificación multiespectral está complementada con variadas composiciones falso color (CFC) creadas a partir de diferentes combinaciones de bandas satelitales, cuyo objetivo es establecer diferencias de umbral entre nieve y hielo al contrastarlas visualmente con las áreas glaciares generadas por clasificación. Para las imágenes LANDSAT MSS (*Multi-Spectral Scanner*), se realizó la combinación falso color RGB (Rojo, Verde, Azul) de bandas 6/5/4 y 7/5/4. Para las imágenes LANDSAT TM (*Thematic Mapper*) y ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*), se combinaron las bandas 5/4/3 y 5/4/1 y falso color 4/3/2. Para el caso de las imágenes ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), se realizaron composiciones falso color 3/2/1. También se han establecido diferencias de umbral entre nieve y hielo mediante comparaciones de una Composición Falso Color (CFC)

de bandas ASTER 4-3-2 (RGB) y los BR. Esta metodología sólo fue realizada con imágenes ASTER hasta abril del año 2008, ya que el sensor que contiene las bandas en el espectro SWIR en la actualidad presenta problemas de operación.

Luego de este procedimiento conocido como layer stack, las CFC fueron filtradas para algunos casos con el objetivo de prevenir clasificaciones erróneas que tienden a ocurrir en áreas con mayor cantidad de sombras o en parches de nieve aislados, permitiendo una delimitación glaciaria más precisa que con la sola creación del polígono-vector derivado del raster binario automático. El principal filtro utilizado es el filtro de la mediana Kernel 3x3.

Los polígonos superpuestos a las CFC son finalmente editados en forma manual, precisando al máximo posible el área glaciaria, especialmente en áreas de hielo recubierto más comunes en las Zonas Centro y Norte. Esta edición manual además busca suavizar o reducir la estructura fractal de los límites que genera el procedimiento de clasificación (Rivera *et al.*, 2006).

Los polígonos editados y las respectivas tablas de atributos son la base de comparación entre datos de distintas fechas. Siguiendo el criterio del *World Glacier Inventory* (WGI) (Müller *et al.*, 1977) y el proyecto GLIMS (www.glims.org), la tabla de atributos contiene información al nivel de subcuenca de acuerdo a la zonificación de Benítez (1980). Estas contienen mayoritariamente la información básica para el estudio de variaciones de glaciares (códigos de cuencas, glaciares, coordenadas centrales y áreas), con algunos pocos casos donde hay datos adicionales cuando se han realizado inventarios inéditos.

3.4. Digitalización de otras imágenes

Se utilizaron fotografías aéreas verticales de los proyectos OEA 1961 y diferentes vuelos SAF (*Servicio de Aerofotogrametría Fuerza Aérea de Chile*), las cuales fueron orto-rectificadas y geo-referenciadas en ArcGIS 10, utilizando como referencia los modelos digitales de elevación SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) y ASTER-GDEM (*Global Digital Elevation Model*). El sistema de proyección es UTM, datum WGS84 husos correspondientes (18 o 19 sur). Se utilizaron además fotografías aéreas del proyecto TRIMETROGON (1944-1945), las que al ser oblicuas impiden un apropiado levantamiento fotogramétrico. Por ello, este material ha sido foto interpretado y luego traspasado a la cartografía satelital geo-referenciada para determinar variaciones glaciares. Así también se aplicó fotogrametría terrestre en el caso de un glaciar visitado en una fecha próxima a la última imagen o antecedente final. Datos históricos disponibles en algunos glaciares han sido interpretados y traspasados a la cartografía de glaciares para determinar variaciones de largo plazo.

Así también se adquirió un número importante de fotografías de los vuelos HYCON y OEA digitalizadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) mediante escáner métrico. Estas fueron orto-rectificadas para atenuar las deformaciones mediante los parámetros de la cámara como distancia focal y la altura de vuelo, y puntos de control, permitiendo convertir las fotografías desde una proyección cónica a una ortogonal. El programa utilizado es Erdas Imagine 8.4. Los puntos de control

(mínimo 4) se seleccionaron de las imágenes satelitales, donde tienen un píxel asociado con coordenadas X, Y, Z en el datum de referencia (WGS84). Idealmente, los puntos de control son comunes a la secuencia de fotografías, permitiendo una mejor geo-referenciación.

3.5. Delimitación de Glaciares, variaciones y estimación de errores

La delimitación de los glaciares se ha realizado mediante clasificación manual utilizando para ello las combinaciones de bandas antes mencionadas y el método BR, lo que ha permitido dar mayor precisión a los márgenes de los glaciares. Por su parte, la delimitación de frentes se ha realizado en base a imágenes de diferentes fechas y antecedentes históricos, digitalizando directa y manualmente la posición frontal sobre las imágenes en pantalla, usando ENVI y ERDAS 8,4.

Para determinar variaciones areales, las bases de datos han sido superpuestas directamente como capas de información espacial en archivos en ArcGIS, desplegándose los polígonos en diferentes fechas que permiten generar imágenes ilustrativas de variaciones y sus respectivas tablas. Cabe mencionar que en decenas de glaciares (particularmente de la Zona Austral) no fue posible generar polígonos para distintas fechas debido a diversas limitaciones técnicas y la presencia más severa de nubosidad, por lo cual en aquellos casos se ha entregado exclusivamente la variación frontal. Asimismo, las posiciones frontales en diferentes fechas se han superpuesto, permitiendo determinar variaciones al realizar un promedio de vectores de distancia inter-frontal.

Los errores de cálculo de las áreas de los glaciares se basan en el criterio que se indica en Williams *et al.*, (1997), en que éste equivale al perímetro de la porción cambiante del glaciar multiplicado por el tamaño del píxel de la imagen utilizada. Los valores de error espacial para cada tipo de imagen utilizada están en la **Tabla 4**, con los cuales se determinó errores promedios de cambios areales que equivalen aproximadamente al 20% del cambio total y a un 10% en la variación frontal. Este criterio es el peor escenario de delimitación. De esta manera, se consideran tanto las características inherentes de los sensores como de la propia base de datos en su cálculo. En la determinación de los cambios de área se mantiene el mismo principio, es decir, las dos bases de datos se combinan en un error medio cuadrático (RMS), obteniéndose de esta forma un error integrado en la determinación de aquel cambio.

Se estima entonces en este trabajo que asumiendo un error de ± 1 píxel (Rivera *et al.*, 2007), la imprecisión del método no es estadísticamente significativa sin importar la clase de tamaño. Pese a que los glaciares más pequeños producen errores proporcionalmente más grandes, tiende a haber escasa variabilidad a través de la base de datos, con un error promedio estimado en un 15%.

Un enfoque similar se empleó en el posicionamiento frontal con imágenes satelitales. Este asume un error sistemático de ± 1 píxel en la delineación de la posición de un frente, lo que lleva a un error RMS estimado en ~ 20 metros cuando se compara dos imágenes ASTER y ~ 30 metros si el caso es una comparación ASTER-LANDSAT. La data histórica y fotográfica tiene potencialmente mayor error pero en el mismo

orden de magnitud, por lo cual el RMS resultantes es similar. Los cambios frontales resultaron mayoritariamente suficientemente altos sobre los errores mencionados, excepto en contados casos de estabilidad o leve avance.

4. RESULTADOS POR ZONAS GLACIOLÓGICAS

Las tasas de variación frontal y areal de todos los glaciares estudiados en esta acción de apoyo están indicadas en las **Tablas anexas**. A continuación se presenta una breve descripción por zona glaciológica, incluyendo figuras complementarias en algunos casos más destacados y una revisión bibliográfica sucinta de trabajos previos.

5.1. Zona Norte

La Zona Norte se extiende aproximadamente desde los 18° a los 32°S (DGA, 2009). El primer inventario de glaciares realizado en esta zona del país corresponde al estudio de Garín (1987) en base a fotografías aéreas de distintas fechas a partir de 1955. En este trabajo se ha realizado un nuevo inventario basándose en un set de imágenes satelitales recientes, en algunos casos al año 2010, comprobándose una reducción generalizada de frentes y superficies de hielo en las últimas 3 décadas (ver **Anexo Inventario**).

Zona caracterizada por condiciones desérticas y glaciares escasos, encontrándose muchos de ellos recubiertos o rocosos. Debido a la gran altura de los Andes, muchos de los glaciares son "fríos" y por lo tanto retroceden a tasas menores al estar afectados principalmente por sublimación (Rivera *et al.*, 2000).

5.1.1. Zona Norte A

En la Zona Norte A (**Tablas 6A y 7**), los Nevados de Payachatas están conformados por los Volcanes Pomerape y Parinacota (**Figura 5**), ambos parcialmente cubiertos por glaciares constituyéndose en la mayor superficie de hielo de esta sub-zona glaciológica (González-Ferrán, 1995). Estos nevados poseen un área glaciaria distribuida en 10 cuencas, estimado en 13,06 km² para el año 2007. En Garín (1987) se había indicado una superficie de 24,01 km² para ambos. En 1972 alcanzaron 20,99 km²; experimentando a partir de ese año una reducción del 38%. Para el Volcán Pomerape se obtuvo una superficie de 4,88 km² distribuida en 5 cuencas glaciares para el año 2007. La reducción desde 1972 al 2007 es de 4,50 km², vale decir a una tasa de 0,13 km² a⁻¹.

Numerosos centros montañosos tienen superficies de hielo que hoy bordean 1 o 2 km² luego de experimentar importantes reducciones en décadas recientes. Esta tendencia se viene prolongando desde hace largo tiempo si se consideran los antecedentes entregados en Garín (1987). El caso más significativo es el del Volcán Sillajaguay (**Figura 7**) cuya superficie de hielo en el año 2008 (1,22 km²) equivale sólo al 23 % mapeado para el año 1972. Igualmente significativos son los cambios en el Guallatire (superficie actual de 2,62 km², con una reducción del 71 % desde 1972) y Nevado 3 Cruces (1,71 km² en el 2008, con una tasa de 0,16 km² a⁻¹ desde 1976, **Figura 10**).

En los glaciares de los centros montañosos de Cerro El Muerto (**Figura 8**, 1,41 km²) y Nevados Ojos del Salado (**Figura 9**, 6,76 km²) fue posible realizar el inventario con imágenes del año 2003, que indican una reducción importante desde 1976.

5.1.2. Zona Norte B

En esta Zona localizada aproximadamente entre los 27° y 30°S se han realizado varios estudios glaciológicos y paleoclimáticos en años recientes, especialmente en relación con la presencia de los eventos El Niño-Oscilación del Sur gracias a que se extrajo un testigo de hielo de 41 m, hasta la base del Glaciar Tapado (30°08'S, 69°55'W), en la cuenca del río Elqui (Ginot *et al.*, 2002). Una de los glaciares más importantes en esta parte del país es el ubicado en el cerro Tronquitos (5.642 m snm) que en 1985 sufrió un proceso de “jokülhaup”, cuando una represa subglacial se rompió repentinamente y provocó una aluvión que descendió por el Río Manflas por 83 km con un volumen total de 5 hm³ que finalmente llegó hasta la represa Lautaro (Peña & Escobar, 1987). Debido a que los glaciares Tronquitos y Tapado han sido más estudiados (ubicados en las cabeceras de las cuencas del Copiapó y Elqui, respectivamente), en este trabajo se han privilegiado aquellos glaciares localizados en la cuenca superior del río Huasco (**Tabla 7**).

Estas cuencas se caracterizan por la existencia de numerosos glaciares pequeños y glaciaretos que han visto claramente mermadas sus superficies en décadas recientes. En la subcuenca del río Tránsito se encuentra el Glaciar Estrecho (**Figura 12**), cuya superficie actual es de 1,25 km² (2010). La reducción desde 1976 al 2010 es de 0,40 km². En la subcuenca del río El Carmen, el principal glaciar es Guanaco (**Figura 13**), con un área de 1,74 km² para el año 2010. La reducción total desde 1976 al 2010 es de 0,37 km² (**Tabla 6A**). Otros glaciares de menor tamaño son Ortigas 1 y Ortigas 2 (**Figura 14**), con superficies de 0,81 km² y 0,71 km² respectivamente (2010). Estos podrían desaparecer en un mediano plazo si continúa la reducción que se ha venido observando desde 1976.

5.1.3. Zona Norte C

En la Zona Norte B se ha estudiado el glaciar localizado en el Cerro Volcán (**Tabla 6A**), en la cuenca alta del río Limarí (subcuenca Río Hurtado). En el año 2011 se determinó una superficie de 0,29 km², en circunstancias que en el inventario de Garín (1987) sólo se estimó que era de 0,1 km² en base a fotografías aéreas y cartografía regular de mayor antigüedad. A mediados de 2005 el glaciar muestra una aparente reducción según se observa en una imagen LANDSAT pero ésta tiene artefactos asociados al *Scan Line Corrector Failure* (SLC off) que afectan parte importante de su superficie. De acuerdo a la imagen del mismo sensor pero del año 1990, el glaciar presentaba un área de 0,43 km², lo que se traduce en un 33% de reducción de la superficie desde 1990.

5.2. Zona Centro

A partir de la cuenca del río Aconcagua (límite norte) y hasta el río Maule por el sur, se desarrolla una importante zona glaciológica tanto por el aumento en el número de glaciares como en superficie relativa, observándose diferentes formas y tamaños, determinando la existencia de glaciares sobre centros montañosos y volcanes de la región.

Aquí existe una fuerte competencia por la asignación de los recursos hídricos entre distintas actividades (minería, agricultura, urbanización, industria, etc.), por lo que los glaciares son factor clave por su contribución a la esorrentía de los ríos, estimándose incluso aportes sobre el 60% del caudal en períodos de estiaje, tal como se registró durante la sequía de 1967 en el caso del río Maipo (Peña & Nazarala, 1987).

Uno de los glaciares con mayores estudios en los últimos años es Juncal Norte (**Figura 18**), en la subcuenca del río Juncal; en Bown *et al.*, (2008) se determinó un retroceso moderado de su lengua frontal recubierta. Una actualización de su posición hasta el año 2010 indica una tasa de retroceso de 14 m a^{-1} entre 1989 y 2010, la que es superada por varios otros glaciares localizados en la región. En el transcurso del año 2011 no hay cambios significativos, manteniéndose en la misma posición. En la ladera sur del mismo centro montañoso, el Glaciar Juncal Sur (**Figura 19**) muestra un retroceso importante de escala interdecadal (79 m a^{-1}), con un cambio muy significativo a partir de 1955. Este contraste Norte-sur en el Nevado de Juncal ya había sido analizado en Rivera *et al.*, (2000).

Otros glaciares ubicados en la misma zona son el Olivares Beta y Olivares Gamma (**Figura 20**). Estos glaciares estaban unidos en 1935 cuando fueron avistados por Kruckel al ascender el Cerro Risopatrón (Lliboutry, 1956). Desde entonces, ha ocurrido un proceso de retroceso, separación y adelgazamiento, especialmente del Glaciar Beta y Olivares Gamma (Rivera *et al.*, 2002).

En esta zona también se ubica el Glaciar Echaurren Norte ($33^{\circ}35'S$), donde un programa de medición de balance de masa de la DGA (Escobar *et al.*, 1995) ha establecido que durante la ocurrencia de los eventos El Niño, el que ha sido más frecuente desde el salto climático detectado en 1976 (Giese *et al.*, 2002), los balances de masa han sido positivos, y al contrario, han sido negativos en presencia de los eventos La Niña. No obstante estar sometido a una fuerte variabilidad interanual, en el largo plazo se ha determinado un balance acumulado negativo (Rivera *et al.*, 2000).

Una revisión de las variaciones frontales determinadas para distintos centros volcánicos y no volcánicos de esta Zona confirma una tendencia generalizada de retroceso a tasas moderadas (**Tabla 8**). Así también, se observa una reducción de área en todos los casos analizados.

El único caso donde se registra un leve avance es en dos lenguas glaciares del Volcán Tupungatito una caldera volcánica compuesta que contiene importantes masas de hielo (González-Ferrán, 1995). Sin embargo, el volcán ha experimentado una reducción en su superficie desde 1986 que ha sido estimada en $4,74 \text{ km}^2$, es decir aproximadamente el 20% (**Figura 25**). Actualmente (2010) ésta área es de $22,33 \text{ km}^2$.

Otros centros montañosos experimentan cambios similares, por ejemplo Cerro Marmolejo cuya superficie total es de $15,03 \text{ km}^2$ para el año 2010 (**Figura 22**), y Volcán San José, otra estructura volcánica compuesta (González-Ferrán, 1995) que

se ha reducido un 30% desde 1986 y que actualmente tiene una superficie total de 6,63 km².

Más al sur, el Glaciar Cipreses (34°33'S), cuenca del Cachapoal, es uno de los que presenta los registros históricos de variaciones frontales más largos, con un retroceso de casi 5 km desde 1842 (Le Quesne *et al.*, 2009 y este trabajo). En la cuenca del Cachapoal destacan los retrocesos del Palomo y Cortaderal (**Figura 26**). En la cuenca del Tinguiririca, el Glaciar Universidad (**Figura 27**), llamado así por Lliboutry (1956), se encuentra retrocediendo desde 1945, con un total de casi 2 km hasta 2010.

El área total del complejo Peteroa-Planchón-Azufre localizado en la frontera entre Chile y Argentina (**Figura 29**), resultó ser de una superficie de hielo de 16.87 km² para el año 2011. Casi el 90% de este glaciar se encuentra en el Volcán Azufre, que presenta menos actividad en tiempos recientes (Tormey, 1989; Naranjo & Haller, 2002). La reducción desde 1985 para todo el complejo es de un 42%, con tasas mucho más altas en los glaciares del Peteroa, que ha perdido el 75% de su área entre 1985 y 2011.

Las **Tablas 6A y 8** resumen los cambios areales y frontales de esta zona.

5.3. Zona Sur

Esta zona que se extiende desde el Itata al Río Aisén (entre los 36° y 46°S) alberga un importante número de glaciares localizados en los conos volcánicos de mayor altitud (Rivera, 1989), los que en general han experimentado una importante actividad eruptiva en tiempos históricos.

En esta región se observa una reducción en número de glaciares al descender progresivamente la altura de Los Andes. En años recientes, muchos estudios han sido conducidos a algunos de estos glaciares especialmente en los Volcanes Villarrica y Mocho-Choshuenco (Rivera *et al.*, 2006), donde se ha iniciado un programa de balance de masa en el año 2003 (Rivera *et al.*, 2005). Otros glaciares han sido descritos desde principios del siglo XX, especialmente en el Monte Tronador, un volcán inactivo (González-Ferrán, 1995).

Uno de los aspectos más importantes en esta región dice relación con las interacciones glacio-volcánicas y sus riesgos potenciales para la población aledaña, dado que durante un ciclo eruptivo parte de la nieve y hielo puede fundir, generándose flujos rápidos de agua y material rocoso conocidos como "lahares" (Johanneson, 2002), los que tienen un carácter muy destructivo.

5.3.1. Zona Sur A

Las variaciones históricas de glaciares se han estudiado en los Nevados de Chillán (36°56'S), que fue visitado por Philippi (1863) quien dibujó un mapa de un glaciar de unos 30 km². La superficie total de los Nevados de Chillán era en 1975, fecha de las primeras imágenes, de 16,02 km². En 2011, aún quedan algunos remanentes del glaciar originalmente localizado en la zona que se denomina el Portezuelo y cuerpos

de hielo principalmente cubierto por material detrítico. Entre 1975 y 1989 se produce una severa reducción coincidente con la formación de un nuevo cono volcánico (Volcán Arrau). La reducción entre 1975 y 2011 es de $0,37 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$.

Más al sur en Sierra Velluda, se ha obtenido un registro de un glaciar de principios de siglo XIX por E. Poeppig, quien lo visitó en 1828. Sus dibujos fueron comparados con fotografías de los años cincuenta de Carlos Keller, ilustrando una reducción significativa en las áreas de aquellos glaciares (Poeppig, 1960).

Nevados de Sollipulli tiene una prominente caldera volcánica, localizado entre los dos volcanes más activos del sur de Chile. De acuerdo a las fotografías de 1961, el hielo intracaldera es de $19,56 \text{ km}^2$. De acuerdo a Rivera (1989), esta superficie en 1969 era de $18,10 \text{ km}^2$. La reducción neta entre 1961 y 2011 es de $8,09 \text{ km}^2$. Un retroceso frontal de aproximadamente $1,3 \text{ km}$ fue detectado para el glaciar del valle de Alpehué entre 1969 y 2011.

En el Volcán Villarrica (**Figura 36**) se dispone de una óptima imagen satelital ASTER de 2007, basado en la cual, se determinó que el glaciar que cubre a este volcán tiene un área de $29,52 \text{ km}^2$, que indica una reducción superior al 20% desde 1961, pero con un cambio más significativo entre mediados de los setenta y los ochenta, asociado a un ciclo eruptivo extenso descrito en González-Ferrán (1995). En el Glaciar Pichillancahue-Turbio del Villarrica, se calculó además un adelgazamiento de $-0,81 \pm 0,45 \text{ m a}^{-1}$ entre 1961 y 2004 (Rivera et al., 2006). Las variaciones frontales de su principal lengua glaciar, Pichillancahue-Turbio ($16,78 \text{ km}^2$ en 2007), confirmaron una tendencia negativa de 30 m a^{-1} entre 1961 y 2007 (**Tabla 9**), con un adelgazamiento importante en décadas recientes de acuerdo a resultados de Rivera *et al.*, (2006). Se estima que hay factores volcánicos incidiendo en la respuesta glaciar, como por ejemplo en el volcán Villarrica, donde la actividad geotermal facilitaría la ablación desde la base del glaciar, mientras que la depositación de cenizas volcánicas en superficie aísla al hielo de la radiación solar (Rivera *et al.*, 2006).

Uno de los glaciares más importantes de la zona se localiza en el Volcán Mocho ($17,72 \text{ km}^2$ en el 2011). En el glaciar del Volcán Mocho se determinó en 2003-2004 un balance de masa neto de $-0,88 \text{ m eq}$ de agua ($\pm 10\%$) debido a las condiciones secas que prevalecieron durante ese período (Rivera *et al.*, 2005), sin embargo al año siguiente el balance fue de $0,36 \text{ m eq}$ de agua cuando se registraron condiciones más húmedas (Bown *et al.*, 2007). Aquí también se detectó una reducción de área y retroceso.

El Volcán Osorno fue inventariado por primera vez en Rivera (1989), donde se indica una superficie para el año 1961 de $10,88 \text{ km}^2$. Una revisión de este cálculo arrojó una superficie de $11,94 \text{ km}^2$. La imagen LANDSAT disponible en 1987 arrojó un área glaciar de $7,80 \text{ km}^2$ y posteriormente, en la imagen ASTER de 2011 se obtuvo un estimado de $5,97 \text{ km}^2$, determinando una tasa de pérdida de $-0,12 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$.

Todos los glaciares de esta región están experimentando cambios importantes de áreas tanto en términos relativos (\sim entre 20 y 80%) como absolutos (**Tabla 6A**).

5.3.2. Zona Sur B

Uno de los glaciares con registros antiguos son los del Monte Tronador (41°S), con más de 60 km² de hielo en 1961 (Rivera, 1989). Las primeras fotografías muestran el Glaciar Casa Pangué (41°08'S), que tiene una lengua recubierta por una gruesa capa de detritos, sin embargo, ello no ha impedido el adelgazamiento del hielo a una tasa que alcanzó en décadas recientes los 3,6 m a⁻¹ (Bown & Rivera, 2007).

Más al sur está el Volcán Michinmahuida (**Figura 44**) cuya superficie glaciar fue determinada con una imagen ASTER del 2011, totalizando 76,27 km². La imagen LANDSAT de 1979 permitió definir un área de 100,52 km², resultando entonces en un 24% de reducción de hielo en 32 años. La tendencia de retroceso frontal obtenida entre 1961 y 2007, fue interrumpida brevemente entre 2007 y 2009 cuando su glaciar principal (Amarillo) comenzó a experimentar un avance, posiblemente en respuesta a la erupción del Volcán Chaitén, unos pocos kilómetros al Oeste.

Volcán Melimoyu tiene una superficie glaciar de 55,59 km² para el año 2011. Entre 1976 y 2011, la reducción glaciar fue de 13,98 km². El glaciar que experimentó un mayor cambio es Glaciar Anihue, con una pérdida de 4 km² en el mismo período (**Figura 47**).

Volcán Hudson es el volcán que ha experimentado las erupciones más explosivas en esta zona de Chile. Fuenzalida (1976) estimó que un 80% del hielo intracaldera fue derretido súbitamente en la erupción de 1971, sin embargo a mediados de los ochenta el área glaciar aparentemente se recuperó, llegando a 90,79 km². Luego de la erupción de 1991, se observa una gran reducción glaciar, dado que en la imagen ASTER de 2002 se obtuvo una superficie de 71,13 km², indicando una reducción de 1,16 km² a⁻¹ desde 1985. La tasa anual en 1985-2007 resultó en 0,95 km² a⁻¹. En el 2007, el Glaciar Huemules del volcán tiene un área de hielo de 69,84 km². El Glaciar Huemules, la principal lengua glaciar de esta caldera, experimentó un gran retroceso desde la erupción de 1991, resultando en -50 m a⁻¹ entre 1985 y 2007.

En esta sub-zona existen importantes superficies de glaciares localizados sobre volcanes, los que experimenta niveles de actividad histórica muy variables entre ellos, y pese a que en algunos casos las reducciones en áreas han alcanzado 1 o 2 decenas de kilómetros cuadrados, su importancia en términos relativos es menor en comparación a la sub-zona Sur A. Las **Tablas 6B y 10** muestran estos valores.

5.4. Zona Austral

La Zona Austral se extiende desde la Cuenca del Río Baker hasta el Cabo de Hornos y se caracteriza por un régimen climático con grandes montos de precipitación que posibilitan la mantención de glaciares de grandes magnitudes. Esta es la zona glaciológica por excelencia, con la presencia de los Campo de Hielo Norte (CHN), Campo de Hielo Sur (CHS) y Cordillera de Darwin, entre otros de menor magnitud.

Esta zona alberga la mayor parte de los glaciares del Hemisferio Sur fuera de Antártica, especialmente en el CHN y CHS (Naruse & Aniya, 1992), los que en su conjunto contienen aproximadamente más de 17.000 km² de hielo (Rignot *et al.*, 2003). Pese a un número importante de estudios (Aniya *et al.*, 1996; Rivera *et al.*, 2007), hasta ahora no existe aquí ningún programa sistemático de balance de masa, y muchos aspectos permanecen desconocidos, como el volumen total de agua equivalente almacenado en los glaciares, o la posible componente dinámica en el comportamiento de muchos de ellos (Warren & Sugden, 1993).

5.4.1. Zona Austral A

Los campos de hielo patagónicos han sido extensamente investigados en las últimas décadas por numerosos autores, y naturalmente los estudios más extensivos se refieren a los inventarios y variaciones de glaciares. Para el caso del CHN, se cuenta con un inventario por Aniya (1988) que luego fue actualizado por Rivera *et al.*, (2007) en que se indicó una superficie total de 3.953 km². Así también, Aniya *et al.*, (1996) realizó un estudio para el CHS que recientemente fue analizado por Casassa *et al.*, (*in press*). En ambos casos, se ha detectado una reducción muy dramática en las superficies de los campos de hielo en su totalidad, las que han estado acompañadas de retrocesos frontales generalizados.

Una característica común a muchos glaciares de CHN y CHS es que terminan con sus frentes posados en agua, ya sea en lagunas o fiordos sometidos a mareas, siendo considerados muy vulnerables por esta condición.

En el CHN destacan los Glaciares Reicher y Gualas (**Figura 54**), que presentan una leve variación entre los años 1979 y 1987 para acelerarse en años más recientes, registrando un retroceso de 6 km y 2 km respectivamente hasta el año 2011.

Un ejemplo del glaciar desprendente es el Glaciar San Rafael, el que se encuentra en una laguna mareal donde se ha registrado un importante retroceso desde fines del siglo XIX (**Figura 55**).

El retroceso más importante que se ha dado en el CHS es el del Glaciar Jorge Montt (**Figura 58**), que a partir del año 1898 hasta el 2011 registró un retroceso de 19,5 km (Rivera *et al.*, *in press*).

Otro ejemplo de glaciares con desprendimiento limitado, lo constituyen los glaciares Témpanos y Bernardo del CHS (**Figura 59**), donde en el año 2007 se produjo un evento GLOF a consecuencia del lago represado por estos glaciares.

El volumen de hielo perdido en el CHN y CHS se ha duplicado en los últimos años respecto de las pérdidas desde 1975 (Rignot *et al.*, 2003). Aproximadamente el 9% del aumento del nivel del mar aportado por los glaciares pequeños del planeta es explicado por estos glaciares, lo que resulta desproporcionadamente alto en proporción a la superficie que representan (sólo un 6% del total planetario). En el CHN se estima que la pérdida de área desde 1979 es de alrededor de un 3% (Rivera *et al.*, 2007) y su contribución al aumento del nivel del mar ha sido de 2-4 km³ de agua anuales. El CHS sólo, ha perdido en total un 4% de su superficie o unos 500 km² en los últimos 40 años, y la contribución al nivel del mar es de 4 a 10 km³ por año (Rignot *et al.*, 2003).

En CHS se ubica el Glaciar O'Higgins, con un retroceso excepcional de más de 16 km desde 1945 debido a la profundidad del fiordo y por ende, la poca sustentabilidad del frente, mientras que en el Glaciar Chico es de sólo 3 km (Rivera *et al.*, 2005). Una explicación a la tendencia de retroceso puede encontrarse en los balances de masa, observados y modelados, donde se observa una situación negativa en términos generales. Más al sur, en el Parque Nacional Torres del Paine, los glaciares también están siendo afectados como por ejemplo el Glaciar Grey, con una pérdida de casi 1 km² en un evento de calving, en el cual el hielo bloqueó totalmente el lago del mismo nombre. Si bien fue un fenómeno repentino es muy probable que responda al calentamiento atmosférico de las últimas décadas (Rivera & Casassa, 2004). El fuerte desequilibrio en relación al clima es denostado cuando se analizan modelos con leves variaciones que pueden gatillar la aceleración de los procesos en curso (Rivera *et al.*, *in press*). No obstante, en algunos casos aislados se han producido avances como es el caso del Glaciar Perito Moreno en el año 2004 (Masiokas *et al.*, 2009), o el Glaciar Pío XI, con un engrosamiento y un fuerte avance que embalsó el río Greve (Rivera & Casassa, 1999) debido a factores dinámicos.

Los datos históricos con cambios de posición frontal y áreas que han sido contrastados con datos e imágenes satelitales recientes, pueden apreciarse en las **Tablas 6B y 11**.

5.4.2. Zona Austral B

El Glaciar Marinelli (**Figura 70**), ubicado en la zona glaciológica Austral B registra importantes variaciones que datan desde 1913. Desde el año 1913 al 2011 existe un retroceso de 15 km, con una tasa promedio en este periodo de -153 m a⁻¹.

También otros glaciares localizados en la ladera norte de Cordillera Darwin han mostrado retrocesos frontales generalizados aunque bastante menores al de Marinelli.

Por ejemplo, los glaciares “1”, “4” y “5” retrocedieron a tasas de 24 m a^{-1} (1986-2006), 28 m a^{-1} (1985-2006) y 29 m a^{-1} (1991-2002), respectivamente. Este también es el caso del Glaciar Stopanni, en la parte Este de Cordillera Darwin, el que retrocedió más de 1 km entre 1956 y 2006, equivalente a una tasa de 21 m a^{-1} , y de los glaciares cercanos “7” y “8”, que experimentaron dicha tendencia con tasas de 30 m a^{-1} y 27 m a^{-1} , respectivamente, en similar período de análisis.

Una situación distinta se identifica en la ladera sur de este centro montañoso, donde el Glaciar “16” ha registrado un avance de 567 m entre 1991 y 2004, mientras el resto de los glaciares ha mostrado posiciones más bien estables o pequeños retrocesos. Por ejemplo el Glaciar “15” retrocedía -14 m a^{-1} entre 1986 y 1991 a partir de lo cual se estabiliza con un muy moderado avance hasta el año 2004 (2 m a^{-1}); en forma similar, el Glaciar “12” muestra un retroceso de sólo 7 m a^{-1} entre 1986 y 2004. Entre las tasas más altas se encuentra la del Glaciar Ventisquero (**Figura 76**), con un valor de -135 m a^{-1} para 1986-2006.

La pérdida de área de glaciares de la Zona Austral B también se refleja en Monte Sarmiento, donde los registros históricos a partir de Fitzroy (1839) permiten interpretar posibles posiciones glaciares frontales en las primeras décadas del siglo XIX. Posteriormente, en Agostini (1959) se encuentra disponible un mapa en donde se observa la existencia de dos glaciares, Conway y Schiaparelli, que han retrocedido en el rango de unos 3 kilómetros entre 1836 (Fitzroy, 1839) y el año 2005, ésta última siendo la fecha de una imagen ASTER donde ambos son claramente visibles. El Glaciar Schiaparelli desde 1956 hasta 2005 retrocedió 821 m, a una tasa de 17 m a^{-1} .

En esta región, grandes glaciares ubicados en Cordillera Darwin se encuentran mayoritariamente en 2 o 3 sub-cuencas dada la zonificación de Benítez (1980). Mayores detalles de todos los glaciares de esta zona se encuentran en las **Tablas 6B y 12**.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la realización de este estudio, ha habido serias dificultades en la obtención de fotografías aéreas históricas, debido a que los servicios que las poseen, no las han podido facilitar en forma expedita, lo que ha retrasado el análisis de variaciones de más largo plazo para muchas zonas del país. Sin embargo, se ha podido recabar suficiente información histórica y satelital, como para completar el registro de un número significativo de glaciares en todo el país y sus tendencias recientes. En total, se han estudiado 147 glaciares en todas las zonas glaciológicas de Chile (**Tabla 13**).

Se han registrado variaciones negativas en frentes y áreas para la mayoría de los glaciares de todas las zonas glaciológicas. En particular destacan los retrocesos de Chile central y de los volcanes con hielo de la zona centro Sur. En la zona Sur y Austral (Patagonia) se han detectado los mayores retrocesos, pero algunos deben ser considerados anomalías respecto de la incidencia de cambios climáticos, debido a que se trata de glaciares que producen témpanos y que por lo tanto pueden tener cambios frontales muy fuertes, como respuestas dinámicas a factores controladores de carácter topográfico o batimétrico.

La gran mayoría de los glaciares chilenos ha retrocedido y han reducido sus superficies desde los primeros registros históricos hasta nuestros días (**Figura 80**). Muchos de ellos muestran una aceleración de dichas tendencias, especialmente en Patagonia, donde las tasas de retroceso se han duplicado en las últimas décadas. A pesar de esta condición general, algunos glaciares han experimentado avances en algunos períodos, pero los únicos que se mantienen avanzando en Chile a principios del siglo XXI son el Glaciar Pío XI y el Glaciar Garibaldi en Cordillera Darwin (**Figura 80**), mientras que en el lado oriental sólo avanza el Perito Moreno, ubicado en el lado argentino del CHS (Skvarca & Naruse, 2006).

En otras regiones las pérdidas netas de superficie son menores a las observadas en Chile austral, sin embargo, pueden tener grandes repercusiones en la disponibilidad de recursos hídricos en el futuro (Coudrain, *et al.*, 2007), en especial por la fuerte competencia por la adquisición y asignación de acciones de agua (Rosegrant *et al.*, 2000). De hecho, en Chile central ya se ha visto un descenso en el caudal (Pellicciotti *et al.*, 2007), lo que podría obedecer a una contribución menos efectiva de los glaciares en respuesta al ascenso de la isoterma de 0°C (Carrasco *et al.*, 2005) o bien por la disminución de la precipitación sólida, que también tiene un rol clave en la escorrentía superficial (Masiokas *et al.*, 2009).

La mayoría de los glaciares de Chile están retrocediendo en respuesta a cambios climáticos que afectan nuestro país. En este sentido, el calentamiento atmosférico en la alta atmósfera (entre 850 y 300 hPa) durante la segunda mitad del siglo XX (Aceituno *et al.*, 1993) es predominante. Bajo los 850 hPa, las temperaturas superficiales han declinado desde 1933, una tendencia influenciada por el fuerte enfriamiento entre los 1950's y 1970's (Rosenblüth *et al.*, 1997).

En la zona Norte A de Chile (Altiplano chileno y también el Sur de Perú y en el Altiplano de Bolivia), las precipitaciones son principalmente estivales (régimen

convectivo), y a escala interanual la variabilidad de las precipitaciones son el principal gatillante de las fluctuaciones en el balance de masa de los glaciares y por ende de sus variaciones frontales. Las temperaturas en esta región tienden a realzar las precipitación, así que años secos son normalmente cálidos, mientras que años húmedos coinciden con anomalías frías (Vuille *et al.*, 2008). En general la tendencia entre 1979 y 2006 en superficie muestra un enfriamiento (Falvey & Garreaud, 2009), mientras que en altura (2000-6000 m snm), el radiosonda de Antofagasta y la estación de Calama muestran una leve tendencia al alza de temperaturas. Si bien se ha descrito que las precipitaciones están fuertemente afectadas por la presencia de eventos ENOS (Romero *et al.*, 1997), está claro que no hay un comportamiento homogéneo y que en general durante años El Niño, hay aumentos de precipitaciones, mientras que en años La Niña, se da lo contrario (Vuille *et al.*, 2008). Para esta región es probable que más que el índice SOI (Southern Oscillation Index), el índice Equatorial Southern Oscillation Index (EQSOI) sea más representativo de la región tropical-subtropical. Considerando que desde 1984 ha habido una mayor recurrencia de eventos La Niña de acuerdo al EQSOI, es dable suponer que ésta es la explicación de las pérdidas de masa glaciar en esta región.

En la región del norte Chico (Norte B y C), hay pocos datos de temperaturas, sin embargo la mayor parte de ellos muestran que en altura (sobre 1500 m snm) hay una tendencia de calentamiento entre 1979 y 2006 con un promedio de 0,2 °C/década, mientras que las estaciones baja altura muestran tendencia al enfriamiento, tendencias que está fuertemente marcadas por el cambio de circulación de 1976, que ha generado fenómenos ENOS más frecuentes desde ese año (Giese *et al.*, 2002). En términos pluviométricos, la región marca una transición de un régimen estival a uno de predominancia frontal-invernal. Las tendencias del último siglo muestran para La Serena (30°S), una disminución anual, con mayor énfasis en las lluvias de invierno. Esta tendencia se ha aminorado al analizar periodos más recientes, puesto que el decrecimiento es menor entre 1970 y 2000 (Quintana, 2004). Ambas condiciones combinadas determinan la reducción de área de los pocos glaciares de la región.

En Chile Central, las temperaturas atmosféricas muestran una clara tendencia al aumento en las últimas décadas (Falvey & Garreaud, 2009), tanto en altura con tasas de 0,28°C/década para el margen Occidental de los Andes y de 0,23°C/década para el margen Oriental, como en las estaciones a baja altura, donde se detectó un aumento a una tasa levemente inferior (0,18°C/década en el valle central). El radiosonda de Quinteros (32°46'S), muestra que el mayor aumento de temperaturas en altura, se da entre 2000 y 3000 m snm, lo que corresponde precisamente a la altura de las zonas de ablación de los glaciares, donde el incremento de T° genera un mayor derretimiento y por ende una mayor reducción de área. En términos de precipitaciones, también se detectó un descenso de los montos anuales, en especial en las estaciones costeras (Quintana, 2004). Las precipitaciones en esta parte del país, están fuertemente asociadas a eventos ENOS, con mayores montos en invierno entre los 30 y 35°S en años el Niño y viceversa (Montecinos & Aceituno, 2003). Estas condiciones más cálidas y la mayor frecuencia de eventos la Niña, podría ser la principal causa de balances de masa negativos y del retroceso generalizado de glaciares. Por ejemplo entre 1975 y 1992, el balance de masa en el Glaciar Echaurren fue levemente positivo, en especial por las fuertes acumulaciones de los años Niño 1984 y 1987

(Escobar *et al.*, 1995), sin embargo en años posteriores esta situación se ha revertido por frecuencia de años La Niña (Casassa *et al.*, 2006).

En Chile Centro Sur se han detectado cambios significativos en precipitaciones entre 1930 y 2000, con una reducción máxima alrededor de los 39°S, con un decrecimiento de 450 mm en 70 años (Quintana, 2004). Estas tendencias han sido parcialmente explicadas por déficits pluviométricos observados durante la máxima intensidad de eventos La Niña en el Océano Pacífico central, que normalmente afectan más las precipitaciones de Primavera en esta región (Montecinos & Aceituno, 2003). En esta zona, se aprecia además que no hay una tendencia marcada en las temperaturas de superficie (Falvey & Garreaud, 2009), sin embargo en el radiosonda de Puerto Montt, se detectó una clara tendencia de calentamiento (Bown & Rivera, 2007), la que está fuertemente influenciada por el cambio de 1976, lo que ha llevado a un ascenso de la Línea de Equilibrio de los glaciares (Carrasco *et al.*, 2008).

En Patagonia (Zona Sur B y Austral), las precipitaciones han mostrado una tendencia declinante leve (Quintana, 2004), pero en muchas estaciones esta tendencia se ve complicada con anomalías o ciclos (Carrasco *et al.*, 2002). En el lado oriental de los Andes, se ha detectado un descenso de precipitaciones para el Lago Argentino, (Ibarzabal *et al.*, 1996), mientras que en el oriental hay descensos significativos en Coyhaique, Balmaceda y Puerto Williams (Quintana, 2004). Sólo en Punta Arenas hay un leve ascenso (Ibarzabal *et al.*, 1996) que se transformó en estabilidad para años recientes (Quintana, 2004).

Esta zona tampoco ha mostrado cambios de temperaturas significativos entre 1979 y 2006 (Falvey & Garreaud, 2009). No obstante lo anterior, las temperaturas mínimas para el período 1961–2006 mostraron un leve calentamiento al Sur de los 47°S, mientras que hay un enfriamiento de 0,04 a 0,18°C/década entre los 40 y 47°S. Muchas de estas tendencias son atribuidas al salto de 1976 (Carrasco *et al.*, 2008). A mayor altura (850 hPa), datos NCEP-NCAR Re-analysis también muestran un calentamiento de 0,5 °C en 40 años, tanto para invierno y verano, resultando en un significativo cambio de precipitaciones sólidas a líquidas (~ 5%), sin que haya una tendencia clara de cambio en precipitaciones (Rasmussen *et al.*, 2007).

En este sentido, da la impresión de que la combinación de aumentos de temperaturas y declinación de precipitaciones, a resultado en un ascenso de la línea de nieves, explicando algunos cambios glaciares (Carrasco *et al.*, 2008), aunque también se estima que hay otros factores no-climáticos afectando a los glaciares.

Entre esos factores secundarios, que han jugado un rol importante en las respuestas glaciares finales, destacan entre otros el control topográfico, que puede determinar las fluctuaciones de las lenguas glaciares, especialmente en aquellos con frentes desprendentes que son predominantes en Patagonia (Naruse & Skvarca, 2000). La actividad volcánica también es determinante en un gran número de glaciares, los que pueden aumentar la fusión de nieve y hielo o aislarlo dependiendo del espesor del material volcánico que se deposita sobre los glaciares (Rivera *et al.*, 2006).

Nuevos y más detallados estudios de glaciares serán necesarios a futuro, especialmente si el calentamiento climático persiste y los volúmenes totales de hielo disminuyen, afectando la disponibilidad de recursos hídricos y contribuyendo con aún mayores tasas de aumento del nivel mar global (Rivera *et al.*, 2002).

6. REFERENCIAS

1. ABRAMS, M., S., HOOK, & B. RAMACHANDRAN. 2002. ASTER user handbook. Version 2. Jet Propulsion Laboratory / California Institute of Technology, 135 pp.
2. ACEITUNO, P., H. FUENZALIDA & B. ROSENBLÜTH. 1993. Climate along the extratropical west coast of South America. In: Mooney, H.A., Fuentes, E.R., Kronberg, B. (Eds.), *Earth System Responses to Global Change: Contrasts between North and South America*. Academic Press, San Diego, 61-69.
3. 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.
4. ANIYA, M., H. SATO, R. NARUSE, P. SKVARCA & G. CASASSA. 1996. The Use of Satellite and Airborne Imagery to Inventory Outlet Glacier of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1361-1369.
5. AGOSTINI, A. 1959. *Esfinges de hielo*. Propiedad artístico literaria, 237 pp.
6. ANDREASSEN, L., F. PAUL, F. A. KÄÄB & J. HAUSBERG. 2008. The new Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s. *Journal of The Cryosphere Discuss*, 2, 299-339.
7. BARCAZA, G. & M. ANIYA. 2007. Applications of remote sensing to glacier studies. *SEPPYO*, 69 (2), 201-220.
8. BENÍTEZ, A. 1980. *Clasificación de cuencas hidrográficas de Chile*. Santiago, DGA, 80 pp.
9. BOWN, F. & A. RIVERA. 2007. Climate changes and recent glacier behaviour in the Chilean Lake District. *Global and Planetary Change*, 59, 79-86.
10. BOWN, F., A. RIVERA, C. ACUÑA & G. CASASSA. 2007. Recent glacier mass balance calculations at Volcán Mocho-Choshuenco (40°S), Chilean Lake District". *IAHS Publ.*, 318, 143-152.
11. BOWN, F., A. RIVERA & C. ACUÑA. 2008. Recent glaciers variations at the Aconcagua basin, central Chilean Andes. *Annals of Glaciology*, 48, 43-48.
12. BOWN, F.; A. RIVERA, P. ZENTENO, C. BRAVO & F. CAWKWELL. In press. First glacier inventory and recent glacier variations of Isla Grande de Tierra del Fuego and adjacent islands in Southern Chile. En: *GLIMS book* (Kargel, J., G. Leonard & M. Bishop, Eds).
13. CARRASCO, J., G. CASASSA & A. RIVERA. 2002. Meteorological and Climatological aspects of the Southern Patagonia Icefield. In: Casassa, G., Sepúlveda, F., Sinclair, R. (Eds.). *The Patagonian Icefields. A unique natural laboratory for environmental and climate change studies*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 29-41.
14. CARRASCO, J.C., J. QUINTANA & G. CASASSA. 2005. Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 933-948.
15. CARRASCO, J. R. OSORIO & G. CASASSA. 2008. Secular trend of the equilibrium-line altitude on the western side of the southern Andes, derived from radiosonde and surface observations. *Journal of Glaciology*, 54(186), 538-550.

16. CASASSA, G., J. RODRÍGUEZ, A. RIVERA & F. BOWN. In press. A new glacier inventory for the Southern Patagonia Icefield and areal changes 1986-2000. En: GLIMS book (Kargel, J., G. Leonard & M. Bishop, Eds).
17. CASASSA, G., A. RIVERA & M. SCHWIKOWSKI. 2006. Glacier mass balance data for South America (308 S–568 S). In Knight, P.G., ed. Glacier science and environmental change. Oxford, etc., Blackwell, 239–241.
18. COUDRAIN, A., B. FRANCOU & Z. KUNDZEWICZ. 2005. Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources - Editorial. Hydrological Sciences Journal, 50, 925-932.
19. DGA. 2009. Estrategia Nacional de Glaciares. S.I.T. 205, 289 pp.
20. ESCOBAR, F., V., POZO, A. SALAZAR & M. OYARZO. 1995. Balance de masa en el glaciar Echaurren Norte, 1975 a 1992. Dirección General de Aguas, publicación interna, H.A. y G. 95/1. 70 pp.
21. FALVEY, M. & R. GARREAUD. 2009. Regional cooling in a warming world: recent temperature trends in the Southeast Pacific and along the West Coast of Subtropical South America (1979 – 2006). Journal of Geophysical Research, 114, D04102, doi:10.1029/2008JD010519.
22. FITZROY, R. 1839. Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836, describing their examination of the southern shores of South America, and the Beagle's circumnavigation of the globe. Proceedings of the second expedition, 1831-36, under the command of Captain Robert Fitz-Roy, R.N. London: Henry Colburn.
23. FUENZALIDA, R. 1976. The Hudson Volcano. In: proceedings of the Symposium on Andean and Antarctic Volcanology Problems". Ed. O. Gonzales, Napoli, Italy, 78-87.
24. GARÍN, C. 1987. Inventario de Glaciares de los Andes chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur. Revista de Geografía Norte Grande, 14, 35-48.
25. GIESE, B., S. URIZAR & N. FÜCKAR. 2002. The Southern Hemisphere origins of the 1976 climate shift. Geophysical Research Letters, 29, 1-4.
26. GINOT, P., M. SCHWIKOWSKI, N. GAGGELER, U. SCHOTTERER, C. KULL, M. FUNK, A. RIVERA, F. STAMPFLI & W. STICHLER. 2002. First results of a paleoatmospheric chemistry and climate study of Cerro Tapado glacier, Chile. In CASASSA, G., F. SEPÚLVEDA & R. SINCLAIR (Eds.), The Patagonian Icefields. A unique natural laboratory for environmental and climate change studies, Series of the Centro de Estudios Científicos, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
27. GONZÁLEZ-FERRÁN, O. 1995. Volcanes de Chile, Instituto Geográfico Militar, Santiago de Chile, 640 pp.
28. HALL, D. K., RIGGS, G. A. & V. SALOMONSON. 1995. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment, 54, 127-140.
29. IBARZABAL, T., T. DONANGELO, J.W. HOFFMAN & R. NARUSE. 1996. Recent climate changes in southern Patagonia. Bull. Glacier Res. 14, 29–36.
30. JOHANNESSON, T. 2002. Propagation of subglacial flood wave during the initiation of a jökulhlaup. Hydrological Sciences Journal, 47(3), 417–434.

31. KAAB, A., C. HUGGEL, F. PAUL, R. WESSELS, B. RAUP, H. KIEFFER & J. KARGEL. 2003. Glacier monitoring from ASTER imagery: accuracy and application. *Journal of EARSeL eProc*, 2(1), 43–53.
32. LE QUESNE C., C. ACUÑA, J. BONINSEGNA, A. RIVERA & J. BARICHIVICH. 2009. Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 334–344.
33. LLIBOUTRY, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile. *Fundamentos de Glaciología*. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago, 471 pp.
34. MARANGUNIC, C. 1979. Inventario de Glaciares. Hoya del río Maipo. Dirección General de Aguas, Publicación G-2, Santiago.
35. MASIOKAS, M., A. RIVERA, L. ESPIZÚA, R. VILLALBA, S. DELGADO & J. ARAVENA. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 242–268.
36. MONTECINOS, A. & P. ACEITUNO. 2003. Seasonality of the ENSO-Related rainfall Variability in Central Chile and Associated Circulation Anomalies. *Journal of Climate*, 16(2), 281-296.
37. MÜLLER, F., M. CAFLISH & G. MÜLLER. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for TTS/WGI. UNESCO, Zurich, Suiza, 28pp.
38. NARANJO, J. & M. HALLER. 2002. Erupciones holocenas principalmente explosivas del Volcán Planchón, Andes del Sur (35° 15'S). *Revista Geológica de Chile*, 29, 93–113.
39. NARUSE, R. & ANIYA M. 1992. Outline of Glacier Research Project in Patagonia, 1990. *Bulletin of Glacier Research*, 10, 31-38.
40. NARUSE, R. & P. SKVARCA. 2000. Dynamic features of thinning and retreating Glaciar Upsala, a lacustrine calving glacier in Southern Patagonia. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 32 (4), 485–491.
41. NICHOLSON, L., J. MARIN, D. LÓPEZ, A. RABATEL, F. BOWN & A. RIVERA. 2009. Glacier inventory of the upper Huasco valley, Norte Chico, Chile: glacier characteristics, glacier change and comparison with central Chile. *Annals of Glaciology*, 50, 111-118.
42. NOVEROY, C. 1987. Inventario de Glaciares de la hoya del río Mataquito. Dirección general de Aguas, Publicación Interna, EH 87/1, Santiago.
43. PAUL, F., A. KÄÄB, M. MAISCH, T. KELLENBERGER & W. HAEBERLI. 2002. The new remote sensing derived Swiss glacier inventory I: Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355-362.
44. PELLICIOTTI, F., P. BURLANDO & K. VAN VLIET. 2005. Recent trends in precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, central Chile. *IAHS Red Book Series* 318, 17-38.
45. PEÑA, H. & ESCOBAR, F. 1987. Análisis del aluvión de Mayo de 1985 del glaciar Tronquitos, río Manflas. Cuenca del río Copiapó. Publicación interna DGA/MOP. 14 pp.
46. PHILIPPI, R. 1863. Exkursion nach den Bädern und dem Neuen Vulkan von Chillan in Chile, im Spätsommer 1862 gemacht. *Petermann's Geographische Mittheilungen*, 241-257.

47. POEPPIG, E.1960. Un testigo en la alborada de Chile (1826-1829). Santiago: Zig-Zag, Versión castellana, notas e ilustraciones de Carlos Keller, 507 pp.
48. QUINTANA, J., 2004. Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. MSc. thesis, University of Chile.
49. RASMUSSEN, L.A., H. CONWAY & C.F. RAYMOND. 2007. Influence of upper air conditions on the Patagonia icefields. *Global Planet. Change*, 59(1), 203–216.
50. RAUP, B., A. KÄÄB, J. KARGEL, M. BISHOP, G. HAMILTON, E. LEE, F. PAUL, F. RAU, D. SOLTESZ, S. KHALSA, M. BEEDLE & C. HELM. 2007. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project. *Journal of Computers & Geosciences*, 33, 104-125.
51. RIGNOT, E., A. RIVERA & G. CASASSA. 2003. Contribution of the Patagonia icefields of South America to global sea level rise. *Science*, 302, 434-437.
52. RIVERA, A. 1989. Inventario de glaciares entre las cuencas de los ríos Bío Bío y Petrohué. Su relación con el volcanismo activo: Caso del volcán Lonquimay. Informe de práctica profesional, Universidad de Chile. Memoria de título, Universidad de Chile, 201 pp.
53. RIVERA, A. & G. CASASSA. 1999. Volume Changes on Glaciar Pio XI, Patagonia: 1975-1995. *Global and Planetary Change*, 22(1-4), 233-244.
54. RIVERA, A., CASASSA, G., ACUÑA, C. & H. LANGE. 2000. Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Revista Investigaciones geográficas*, 34, 25-52.
55. RIVERA, A., C. ACUÑA, G. CASASSA & F. BOWN. 2002. Use of remotely sensed and field data to estimate the contribution of Chilean glaciers to eustatic sea-level rise. *Annals of Glaciology*, 34, 367-372.
56. RIVERA, A. & G. CASASSA. 2004. Ice elevation, areal, and frontal changes of glaciers from National Park Torres del Paine, Southern Patagonia Icefield. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 36(4), 379-389
57. RIVERA, A., G. CASASSA, J. BAMBER & A. KAAB 2005. Ice elevation changes of Glaciar Chico, southern Patagonia, using ASTER DEMs, aerial photographs and GPS data. *Journal of Glaciology*, 51 (172) 105-112.
58. RIVERA, A., F. BOWN, G. CASASSA, C. ACUÑA & J. CLAVERO. 2005. Glacier shrinkage and negative mass balance in the Chilean Lake District (40°S). *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 963-974
59. RIVERA, A., F. BOWN, R. MELLA, J. WENDT, G. CASASSA, C. ACUÑA, E. RIGNOT & J. CLAVERO. 2006. Ice volumetric changes on active volcanoes in Southern Chile. *Annals of Glaciology*, 43, 111-122.
60. RIVERA, A., T. BENHAM, G. CASASSA, J. BAMBER & J. DOWDESWELL. 2007. Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile. *Global and Planetary Change*, 59, 126-137.
61. RIVERA, A., M. KOPPEL, C. BRAVO & J. ARAVENA (In press). Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia, recorded in maps, air photographs and dendrochronology. *Climate of the past Discussion*, 7, 1-34.
62. ROMERO, H., RIVERA, A. & FERNÁNDEZ, P. 1997. Climatología de la Puna de Atacama y su relación con los recursos Hídricos". En: CHARRIER R. (Ed.), *El Altiplano. Ciencia y Conciencia en los Andes*. Universidad de Chile, Santiago, pp. 87-93.

63. ROSEGRANT, M., C. RINGLER, D. MCKINNEY, X. CAIA, A. KELLER & G. DONOSO. 2000. Integrated economic–hydrologic water modelling at the basin scale: the Maipo river basin. *Agricultural Economics* 24, 33–46.
64. ROSENBLÜTH, B., H. FUENZALIDA & P. ACEITURNO. 1997. Recent Temperature Variations in Southern South America. *International Journal of Climatology*, 17, 67–85.
65. SKVARCA, P. & R. NARUSE 2006. Overview of the ice-dam formation and collapse of Glaciar Perito Moreno, southern Patagonia, in 2003/04. *Journal of Glaciology*, 52(178), 476-478.
66. SVOBODA, F. & F. PAUL. 2009. A new glacier inventory on southern Baffin Island, Canada, from ASTER data: I. Applied methods, challenges and solutions. *Annals of Glaciology*, 50(53), 11-21.
67. TORMEY, D. 1989. Geology and geochemistry of the active Azufre-Planchón-Peteroa volcanic center (35°15'S, southern Andes), implications for cordilleran arc magmatism. Doctor of Philosophy thesis, Massachusetts Institute of Technology.
68. VALDIVIA, P. 1984. Inventario de Glaciares, Andes de Chile Central (32°-35° lat. S). Hoyas de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca. Santiago, DGA, 1, 6.1-6.24.
69. VIVERO, S. A. RIVERA & C. BRAVO. 2010. Glacial inventory of the ice-capped volcanoes of the Southernmost part of the Andean Southern Volcanic Zone (SVZ): Methods and recent glacier changes. En: II International Symposium "Reconstructing Climate Variations in South America and the Antarctic Peninsula over the last 2000 years", Valdivia, Chile, 27-30 Octubre 2010, Abstract 177.
70. VUILLE, M. G. KASER & IRMGARD, J. 2008. Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1-2), 14-28.
71. WARREN, C. AND SUGDEN D. 1993. The Patagonian icefields: a glaciological review. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 25(4), 316-331.
72. WILLIAMS, R., D. HALL, O. SIGUROSSON & Y. CHIEN. 1997. Comparison of satellite-derived with ground-based measurements of the fluctuations of the margins of Vatnajökull, Iceland, 1973–92. *Annals of Glaciology*, 24, 72–80.

ANEXO FIGURAS

Figura 1. Zonas y subzonas glaciológicas definidas en la Estrategia Nacional de Glaciares.

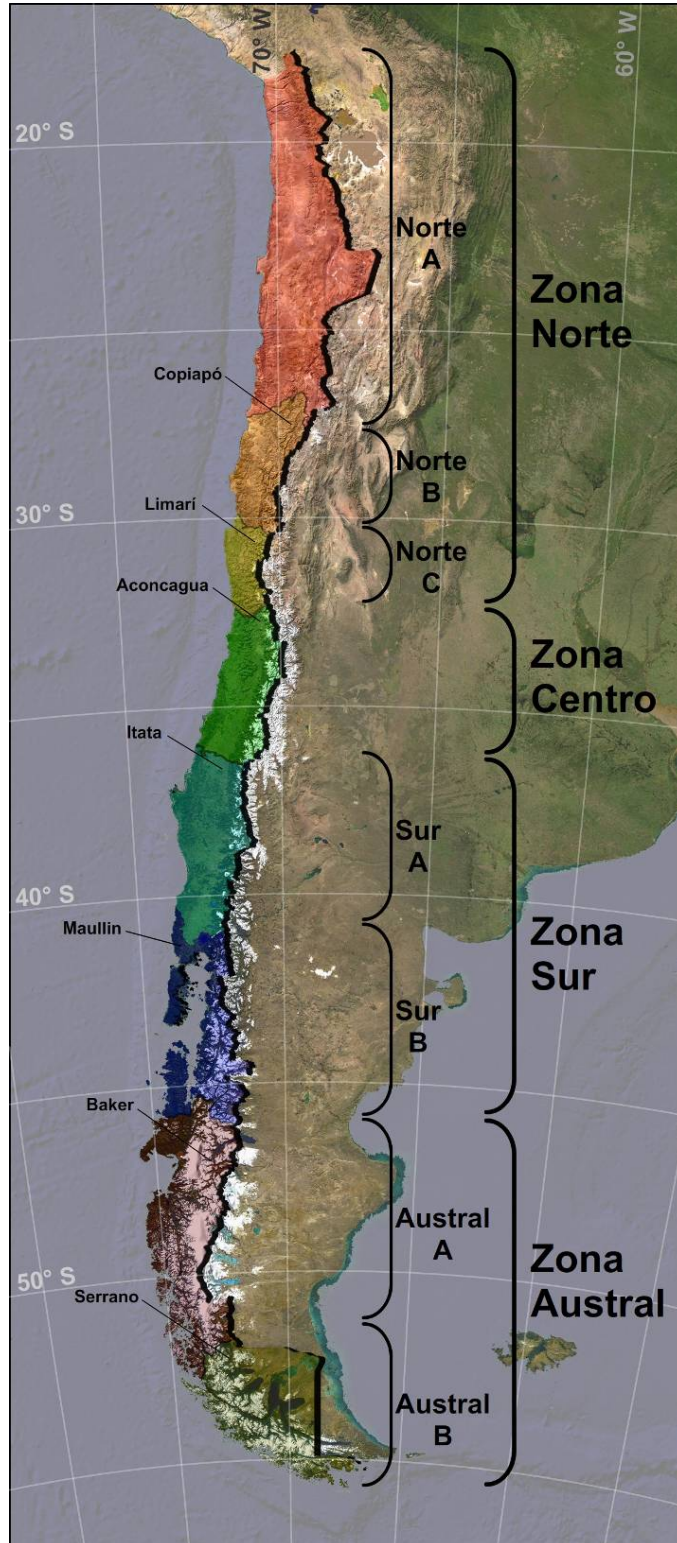


Figura 2. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Norte A (rojo), Zona Norte B (naranja) y Zona Norte C (amarillo).

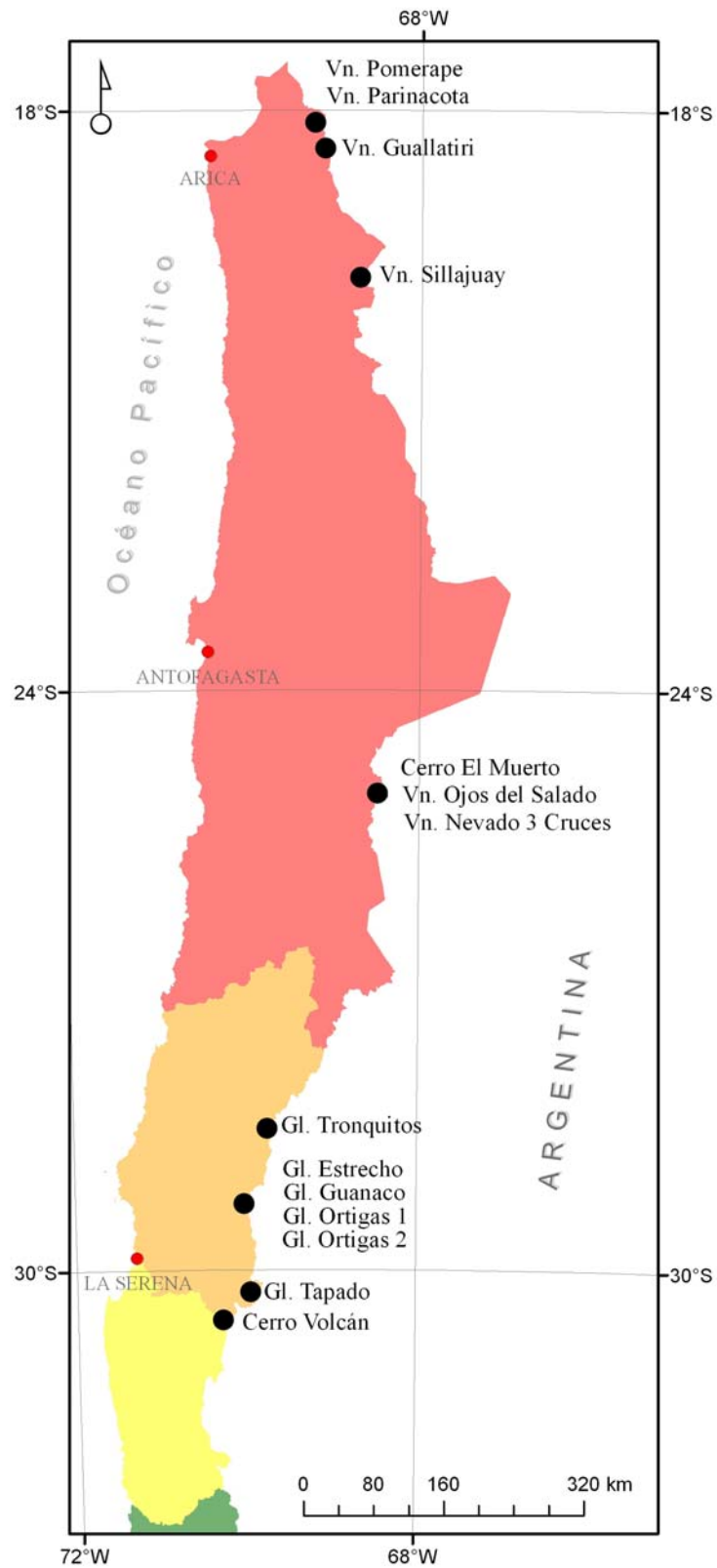


Figura 3. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Centro (verde), Zona Sur A (celeste) y Zona Sur B (azul).

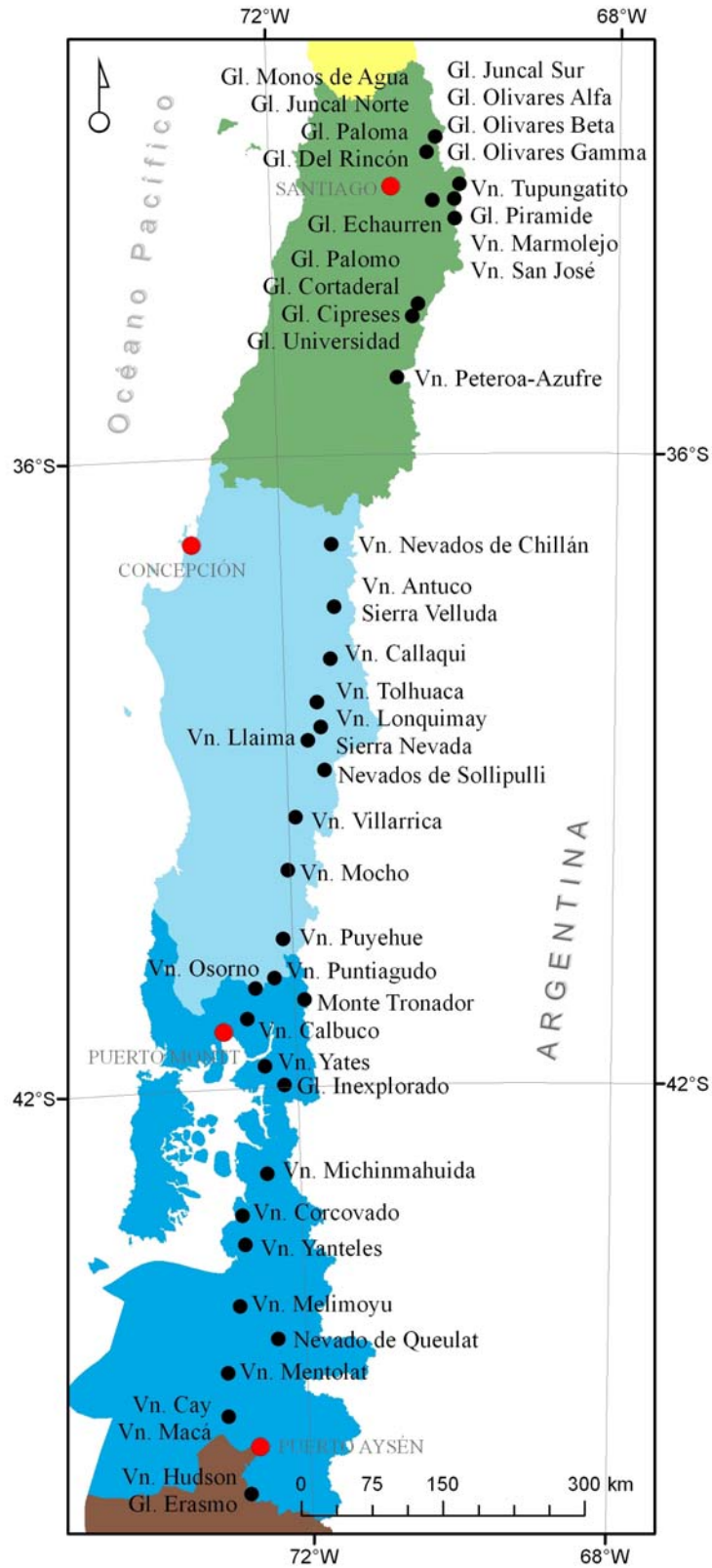


Figura 4. Glaciares y centros montañosos englaciados estudiados para la Zona Austral A (café oscuro) y Zona Austral (café claro).

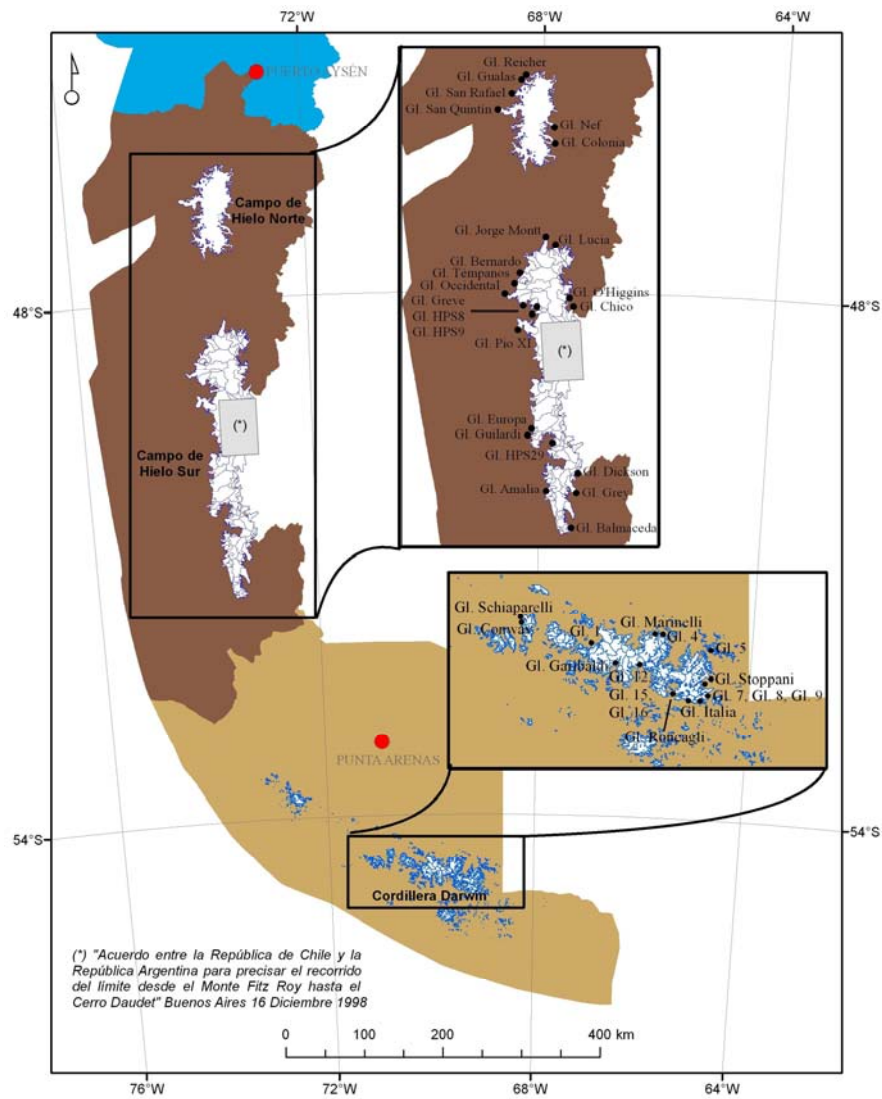


Figura 5. Variaciones de los glaciares del Volcán Pomerape y Volcán Parinacota (Zona Norte A).

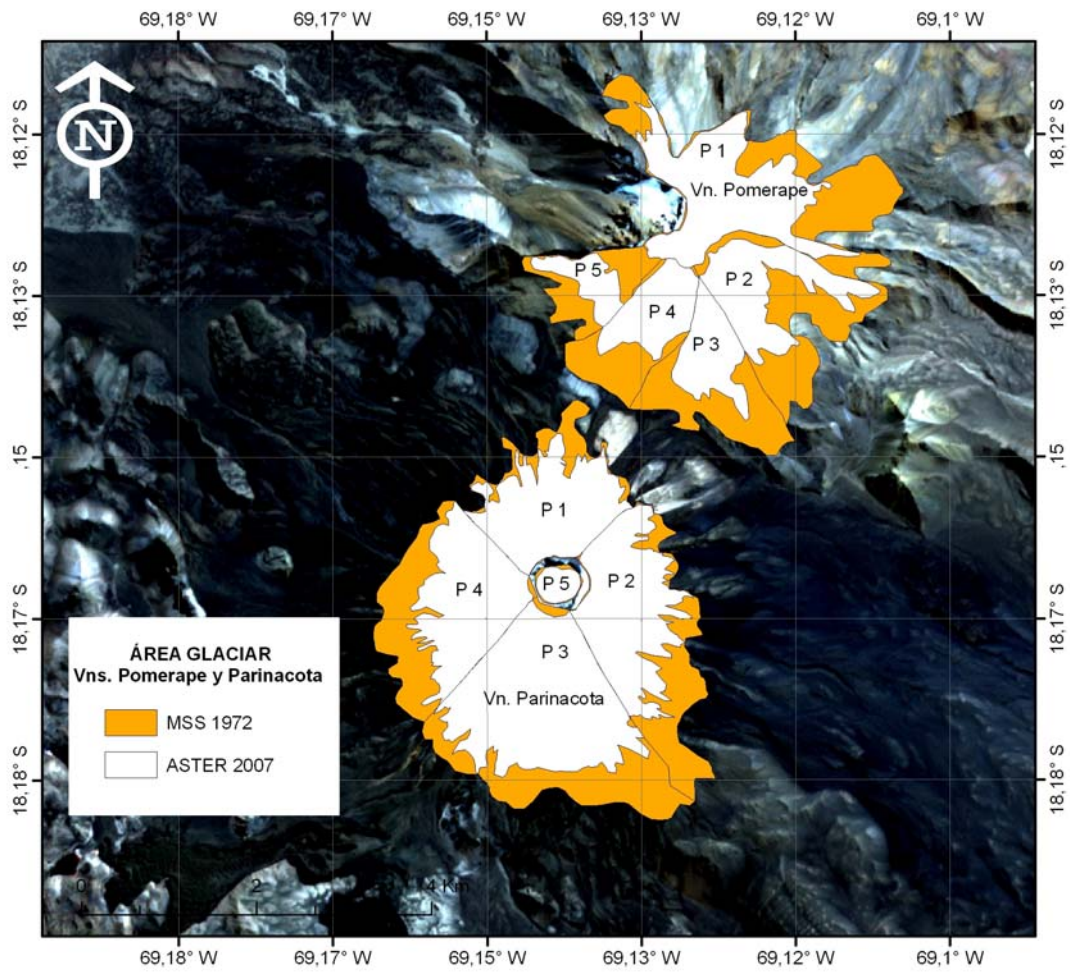


Figura 6. Variaciones de los glaciares del Volcán Guallatiri (Zona Norte A).

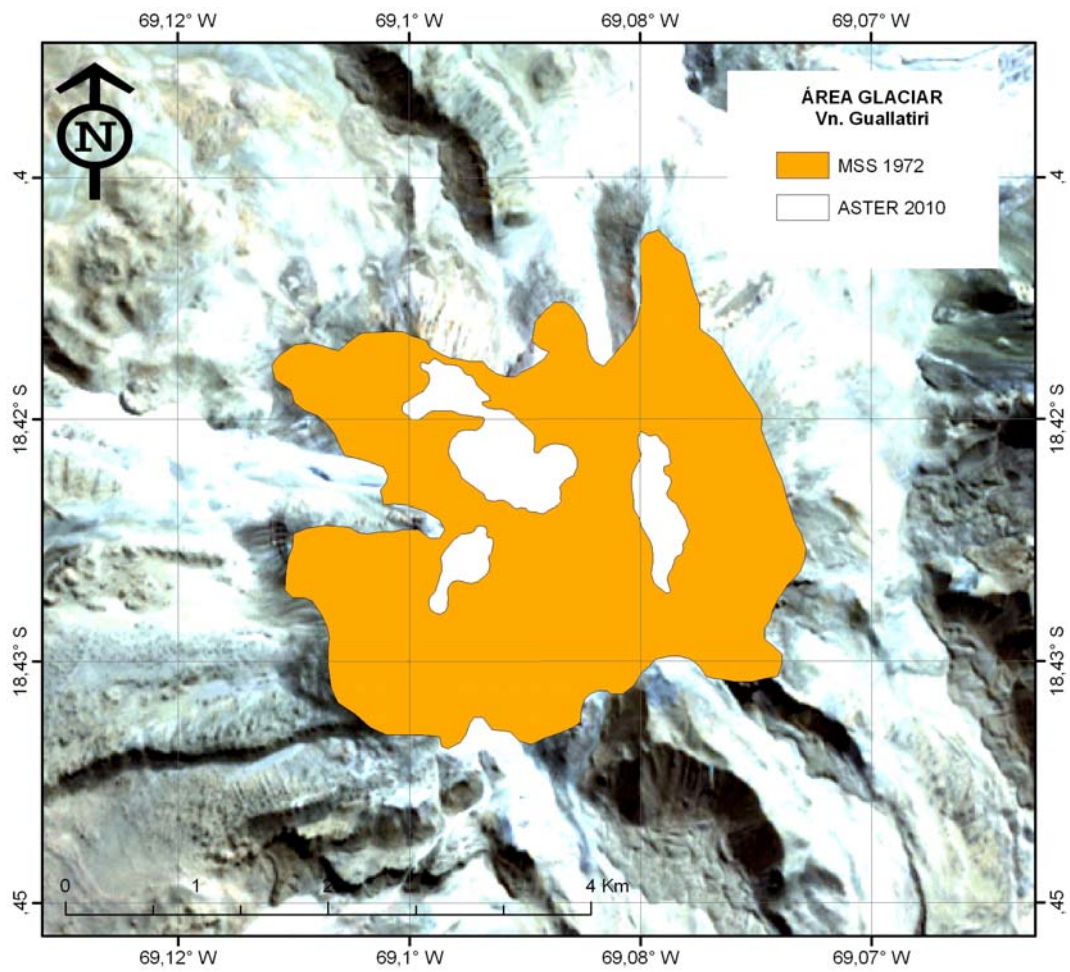


Figura 7. Variaciones de los glaciares del Volcán Sillajhuay (Zona Norte A).

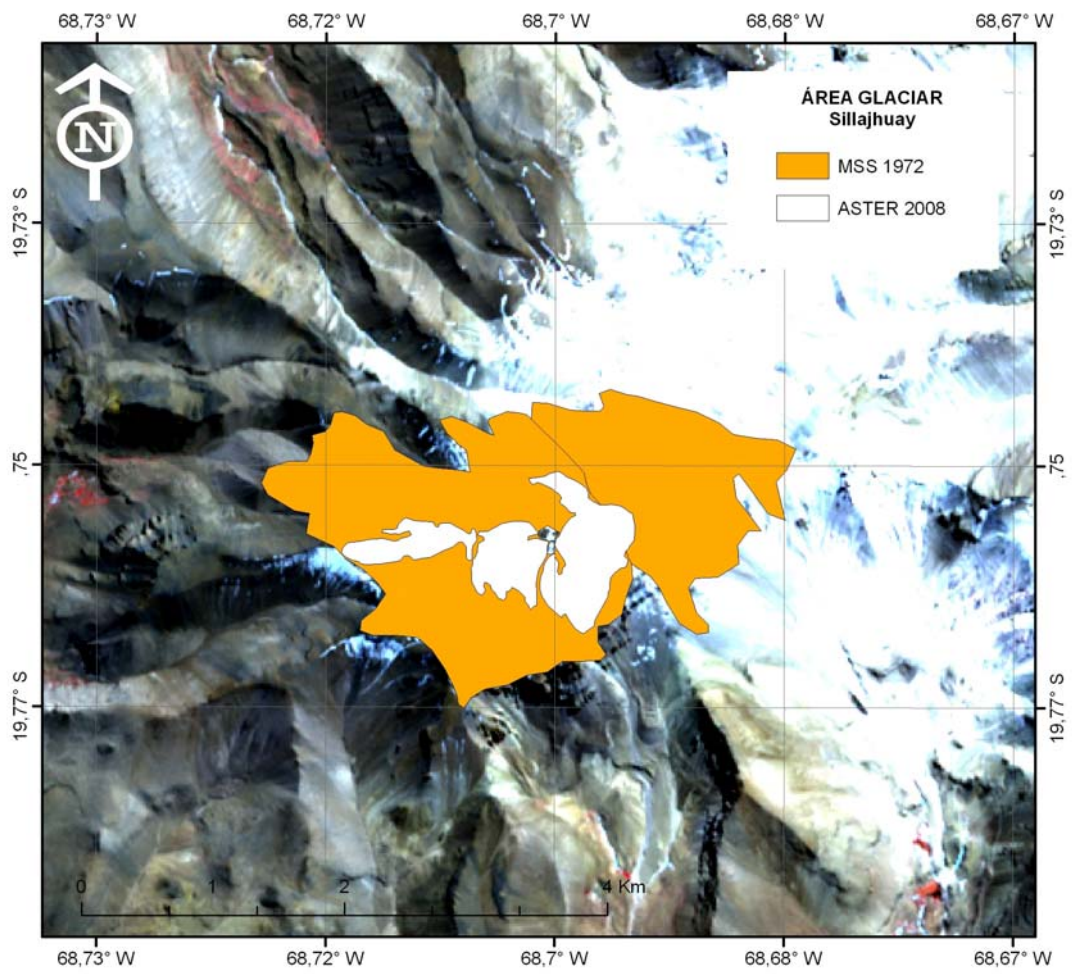


Figura 8. Variaciones de los glaciares del Cerro el Muerto (Zona Norte A).

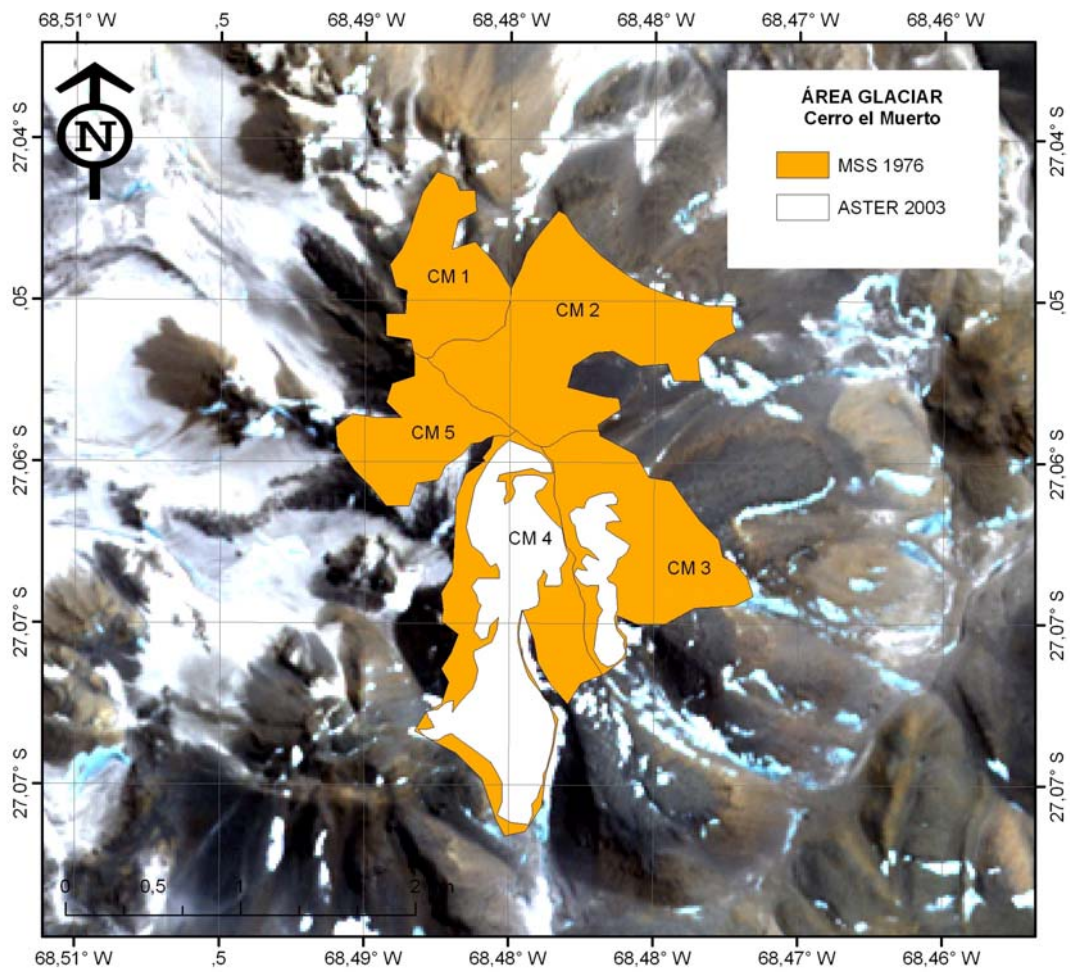


Figura 9. Variaciones de los glaciares del Nevado Ojos del Salado (Zona Norte A).

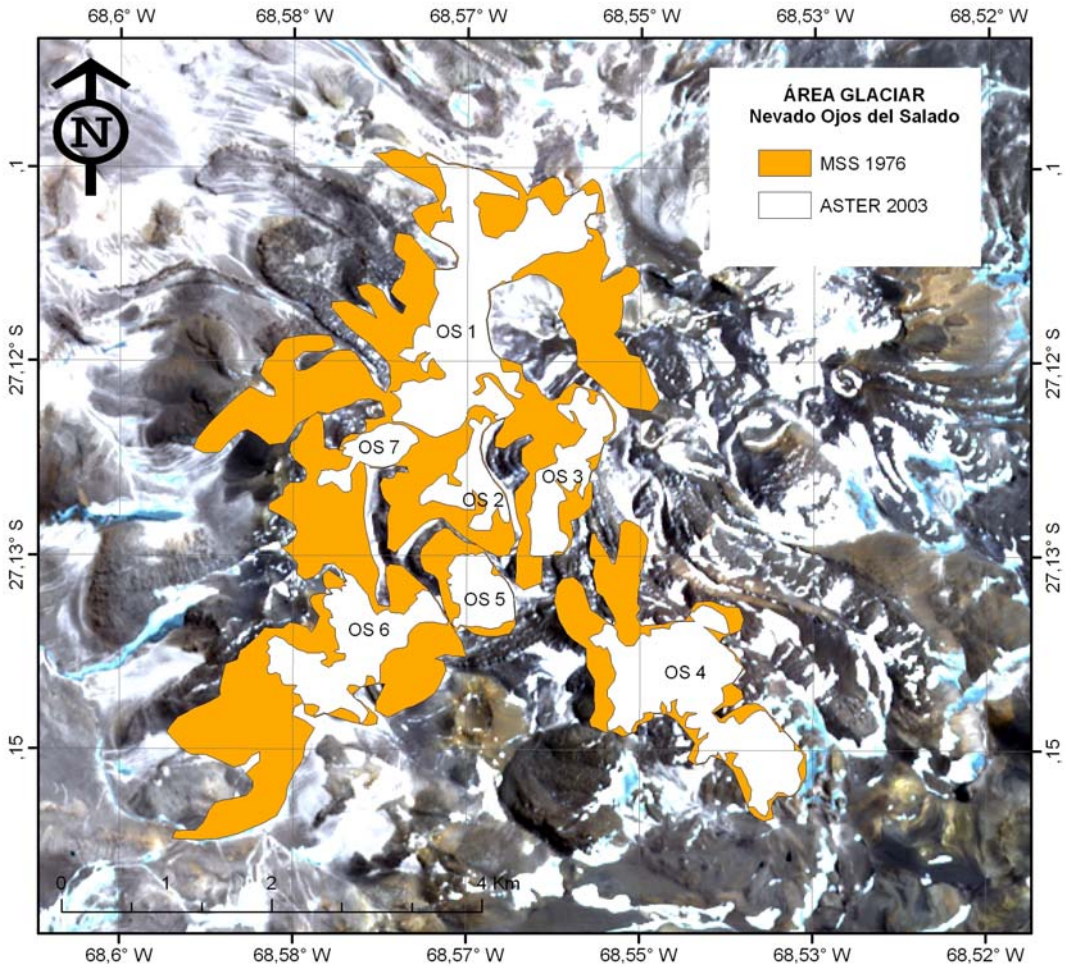


Figura 10. Variaciones de los glaciares del Nevado Tres Cruces (Zona Norte A).

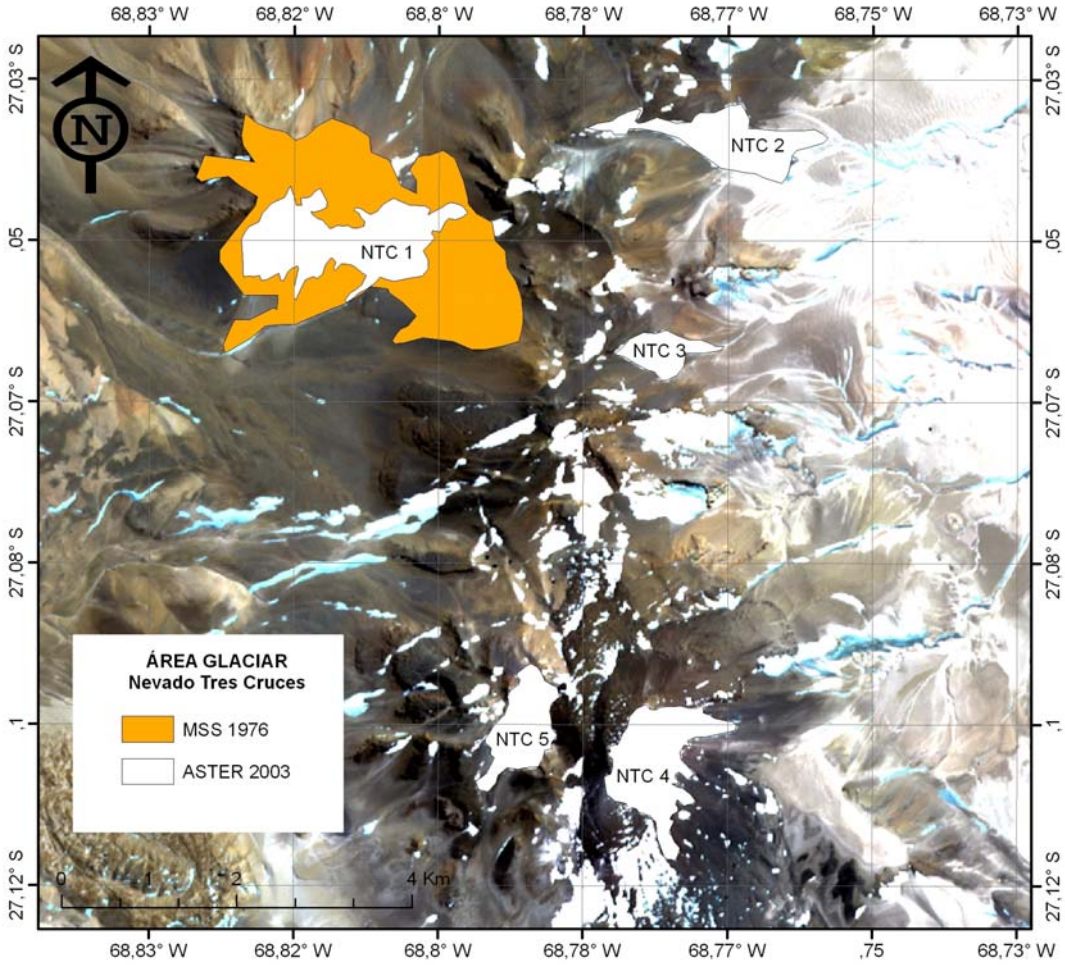


Figura 11. Variaciones del Glaciar Tronquitos (Zona Norte B).

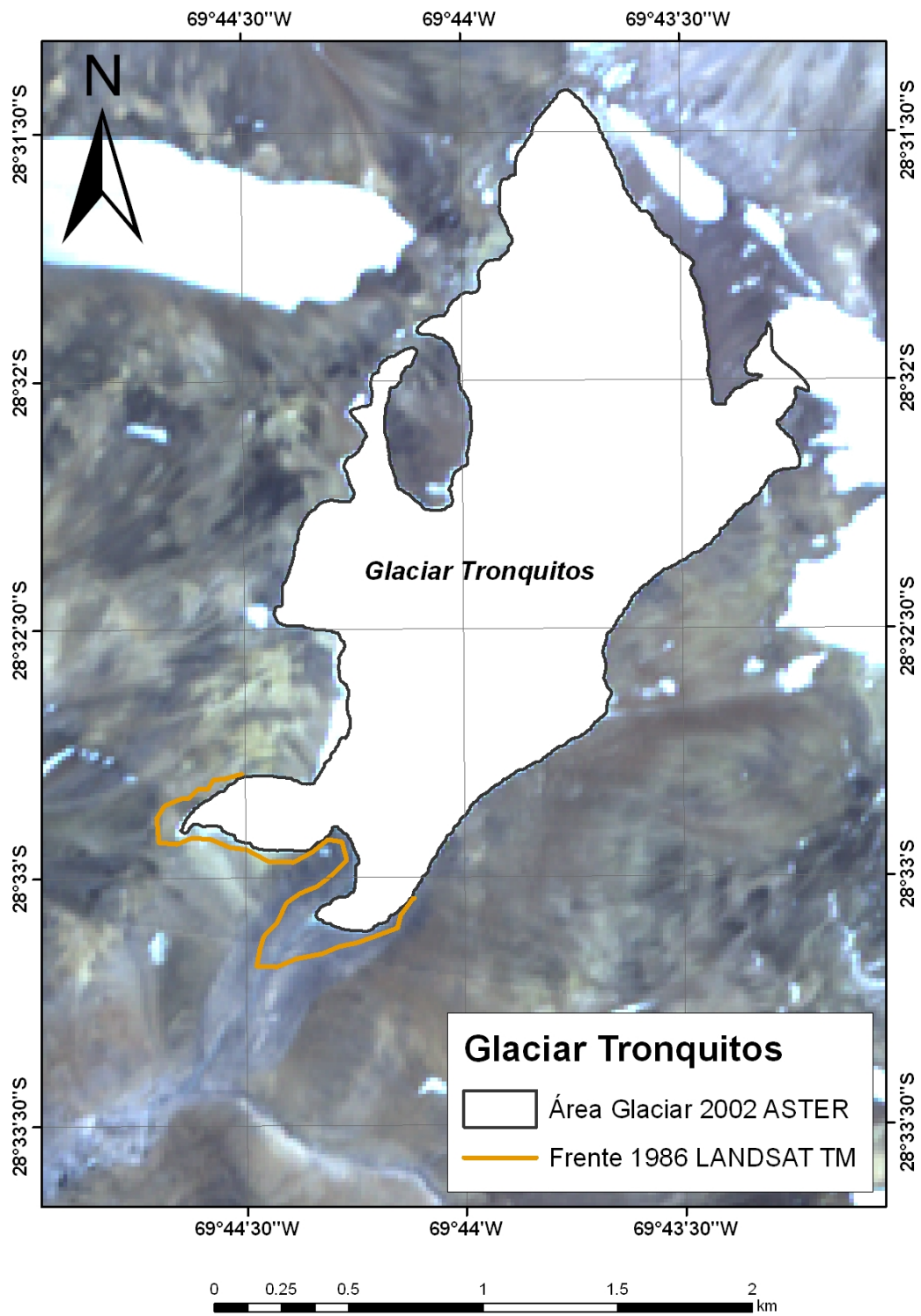


Figura 12. Variaciones del Glaciar Estrecho (Zona Norte B).

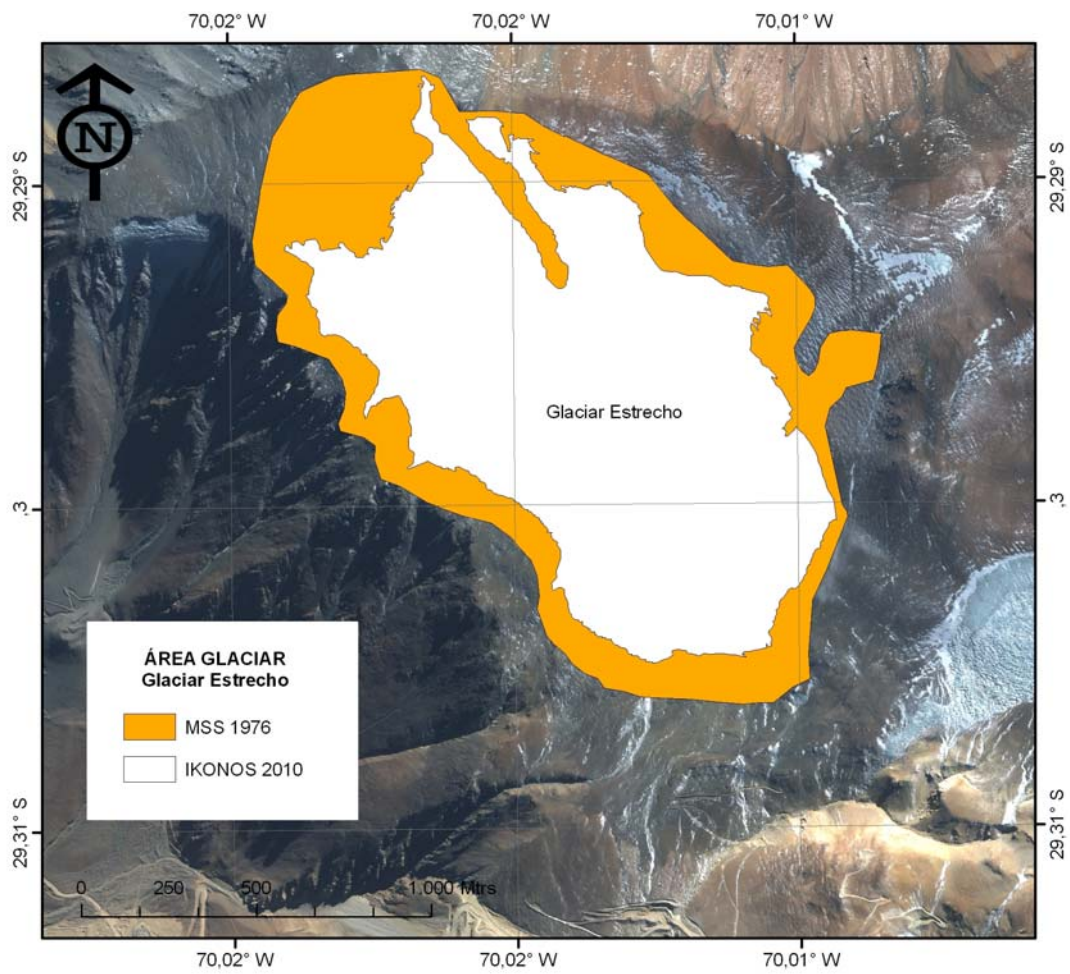


Figura 13. Variaciones del Glaciar Guanaco (Zona Norte B).

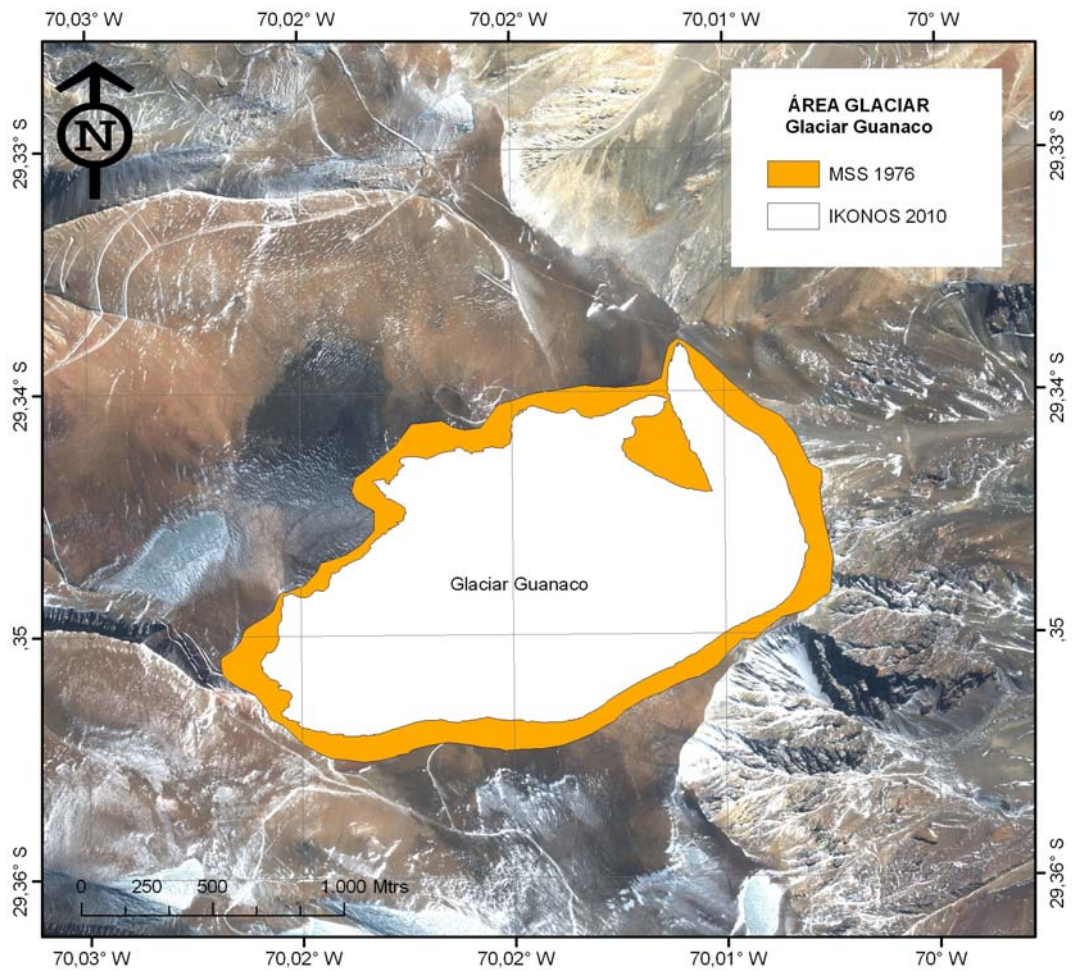


Figura 14. Variaciones de los Glaciares Ortigas 1 y Ortigas 2 (Zona Norte B).

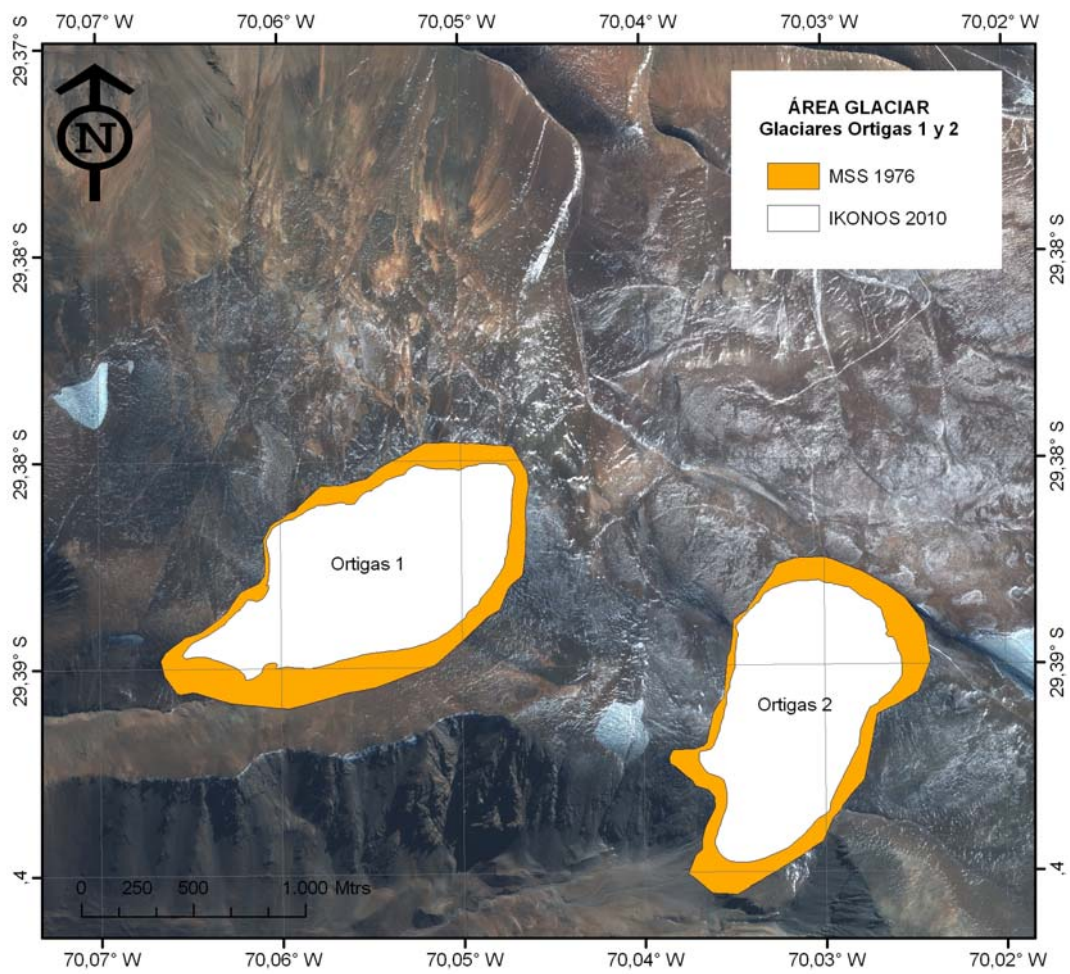


Figura 15. Variaciones del Glaciar Tapado (Zona Norte B).

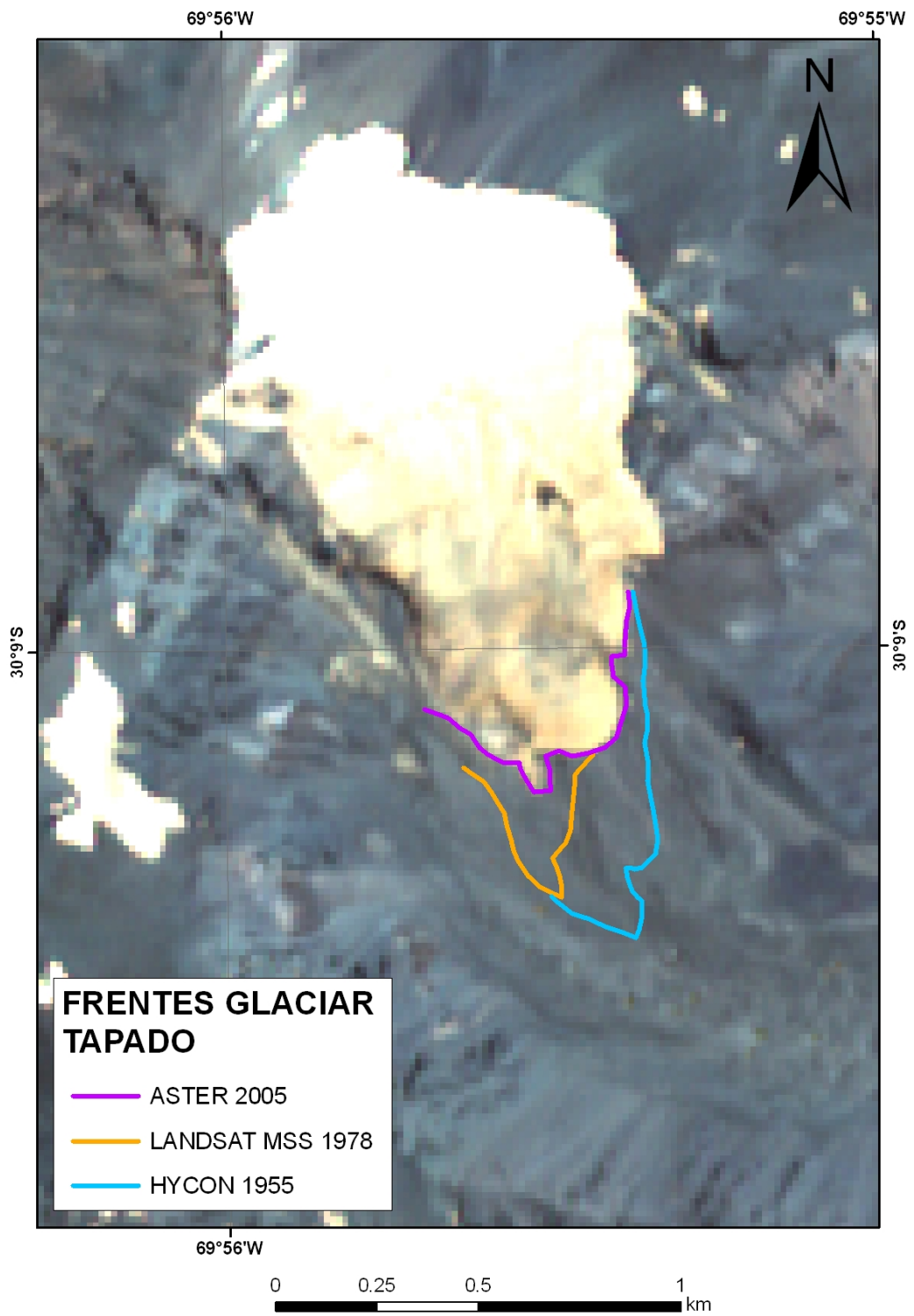


Figura 16. Variaciones del Glaciar Cerro Volcán (Zona Norte C).

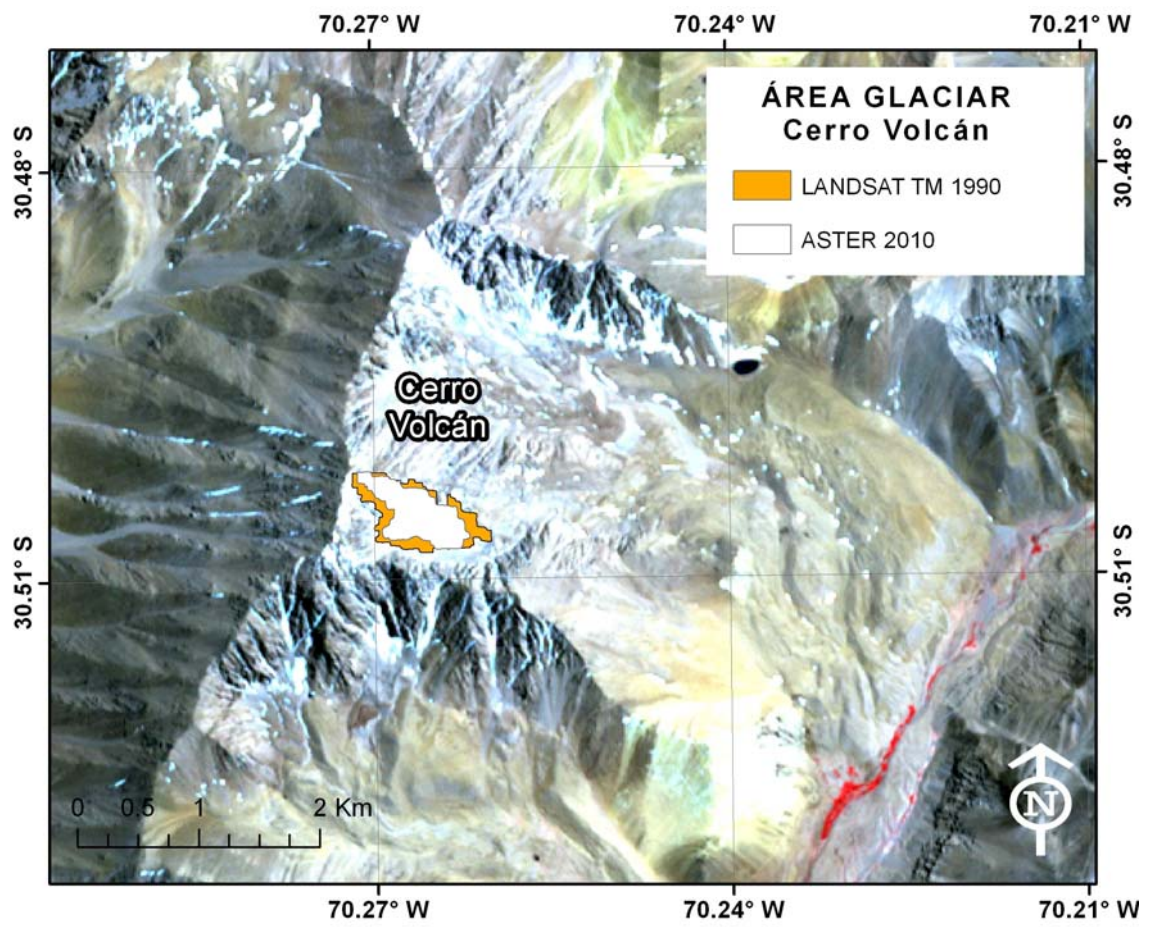


Figura 17. Variaciones del Glaciar Monos de Agua (Zona Centro).

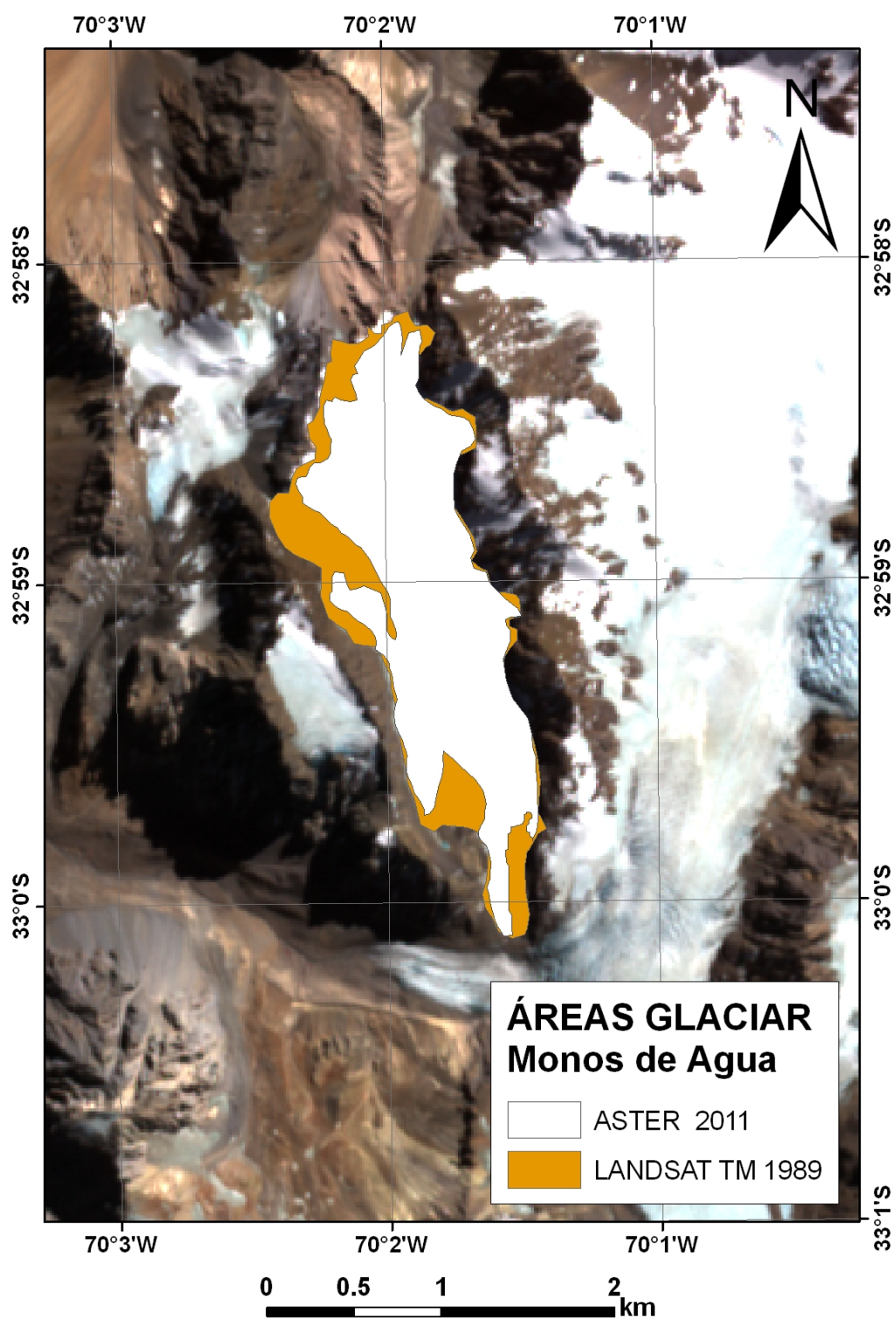


Figura 18. Variaciones del Glaciar Juncal Norte (Zona Centro).

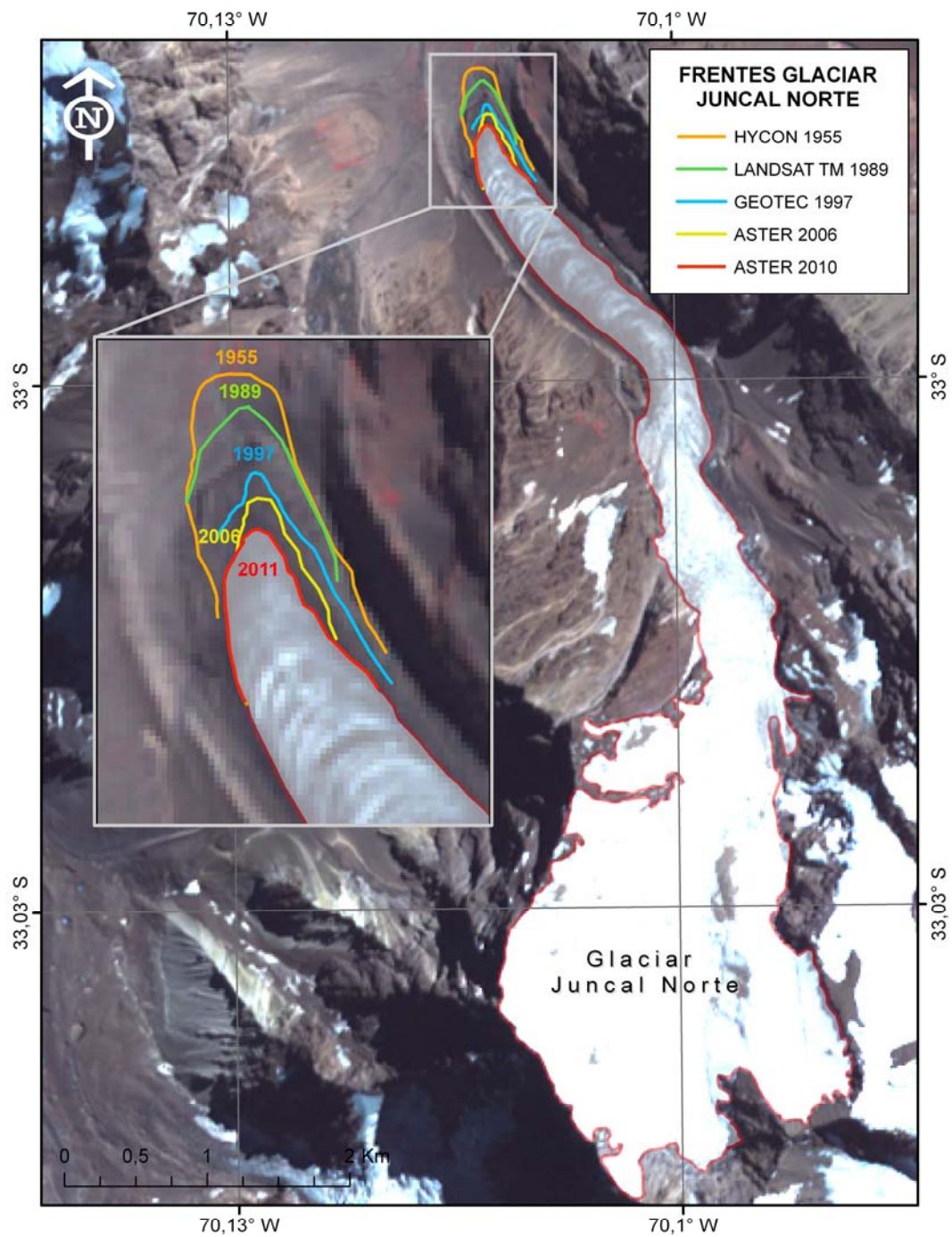


Figura 19. Variaciones del Glaciar Juncal Sur (Zona Centro).

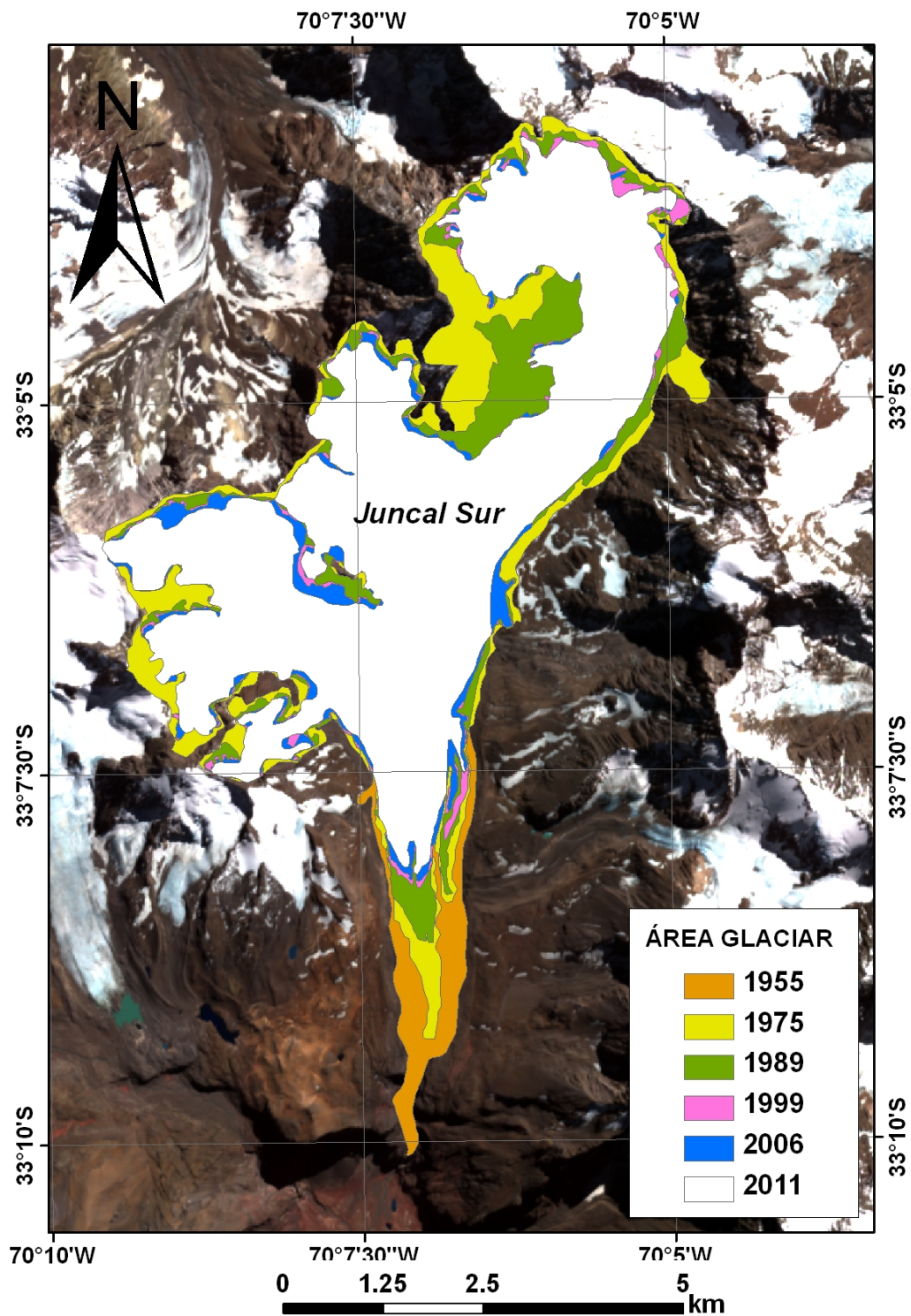


Figura 20. Variaciones de los Glaciares Olivares Gama y Olivares Beta (Zona Centro).

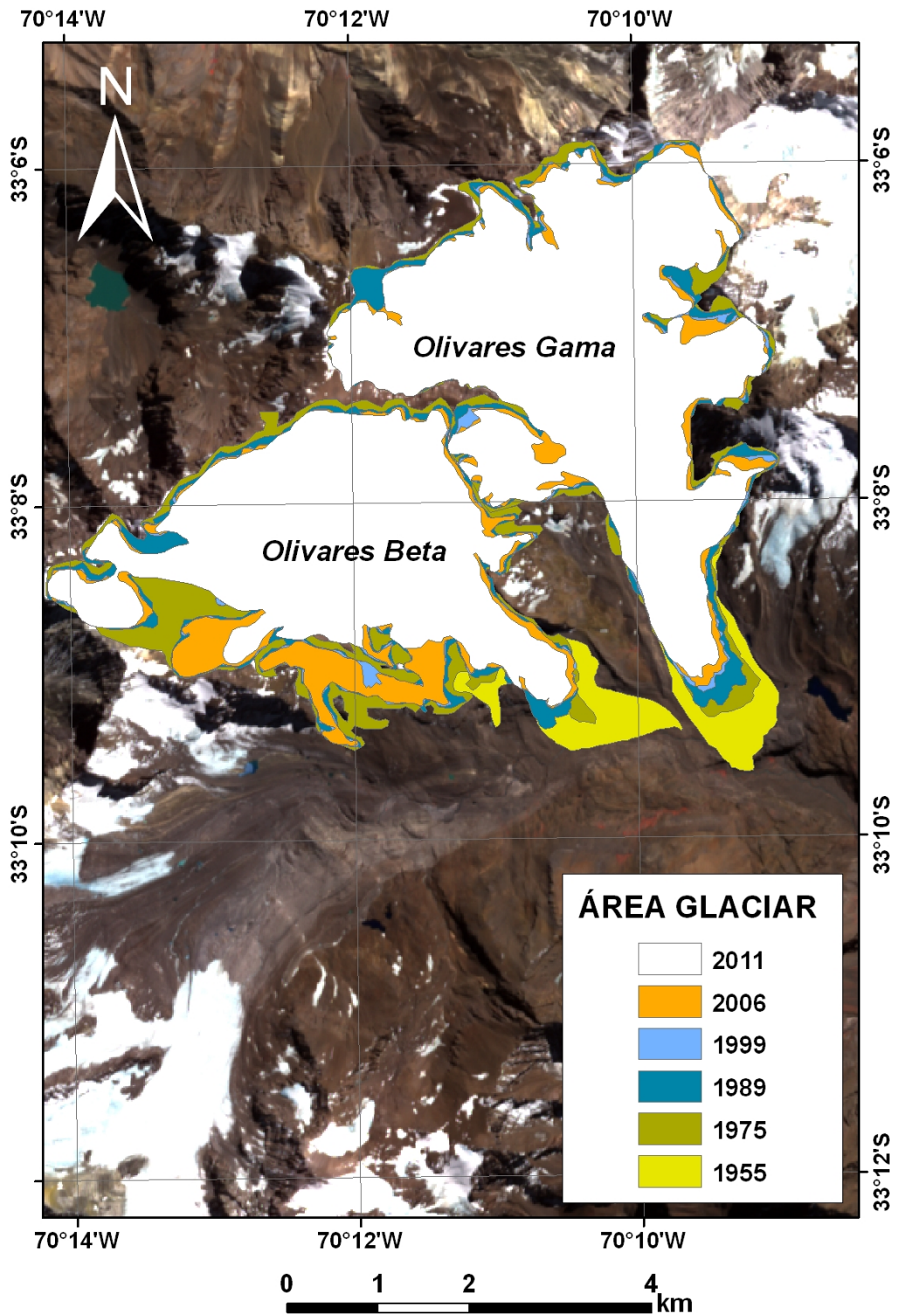


Figura 21. Variaciones de los Glaciares Rincón, La Paloma y Olivares Alfa (Zona Centro).

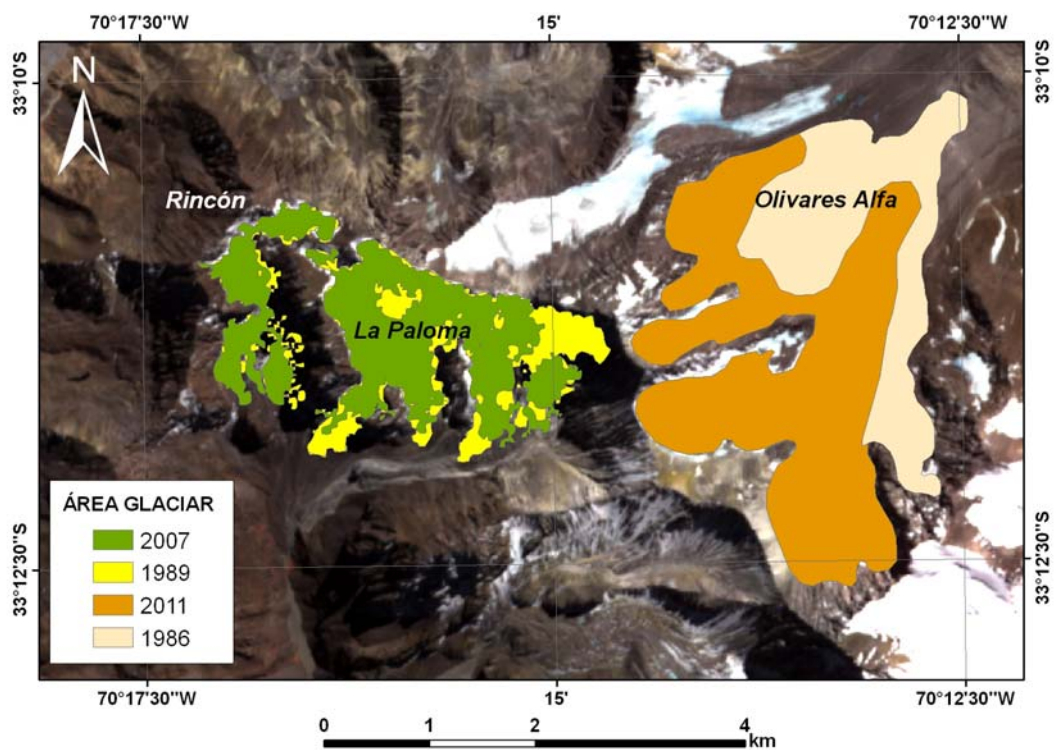


Figura 22. Variaciones de los glaciares de los Volcanes Marmolejo y San José (Zona Centro).

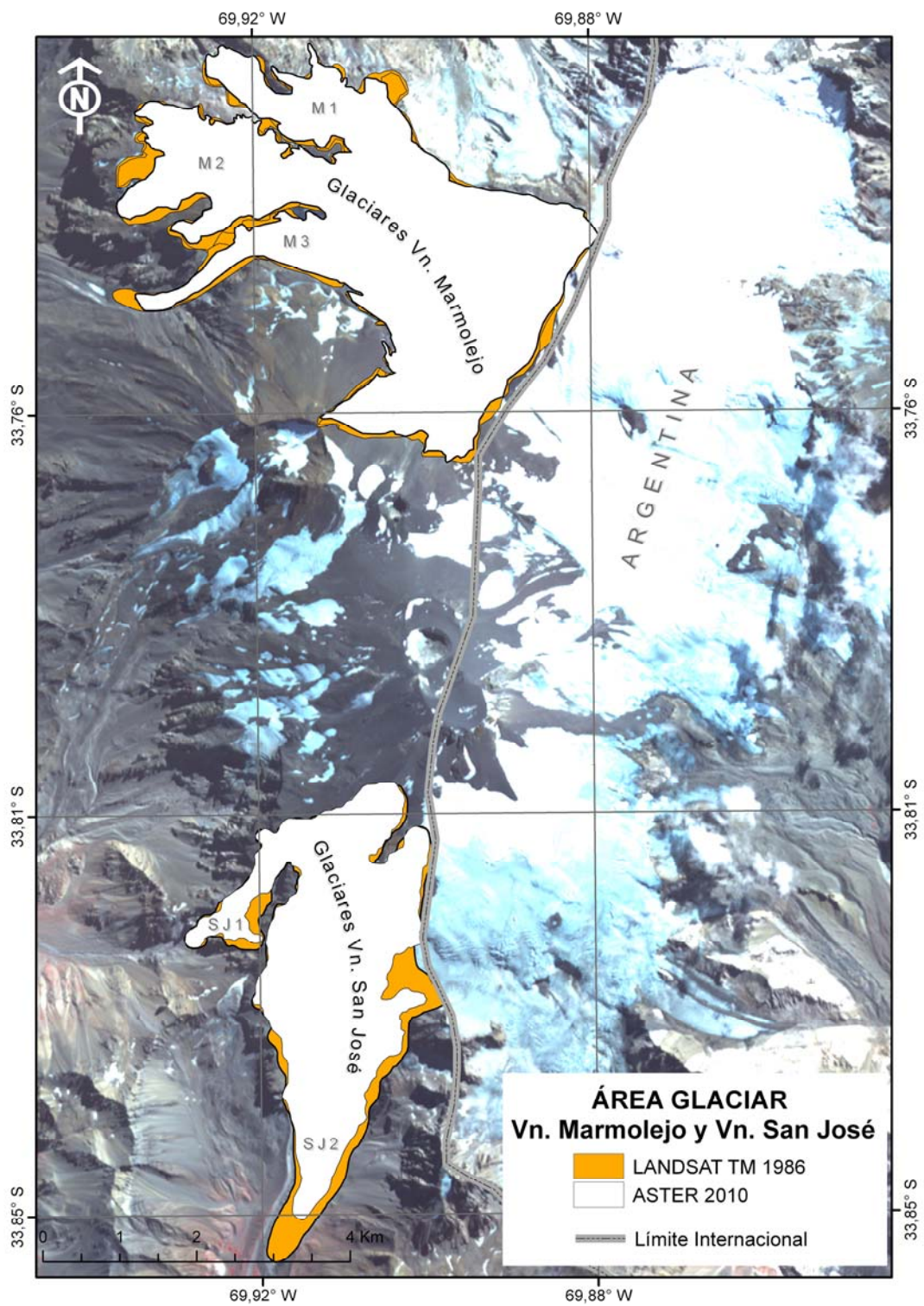


Figura 23. Variaciones del Glaciar Echaurren (Zona Centro).

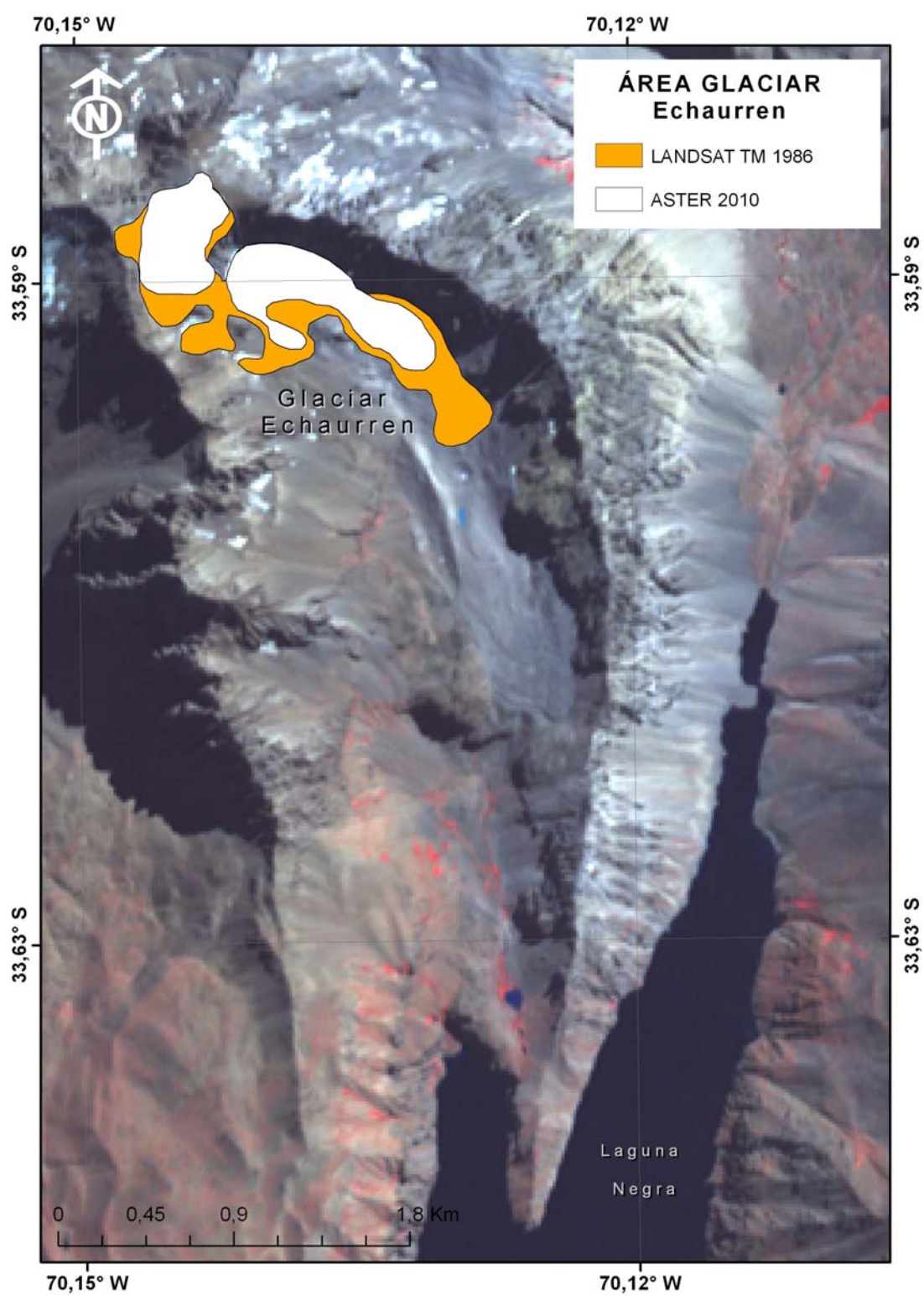


Figura 24. Variaciones del Glaciar Pirámide (Zona Centro).

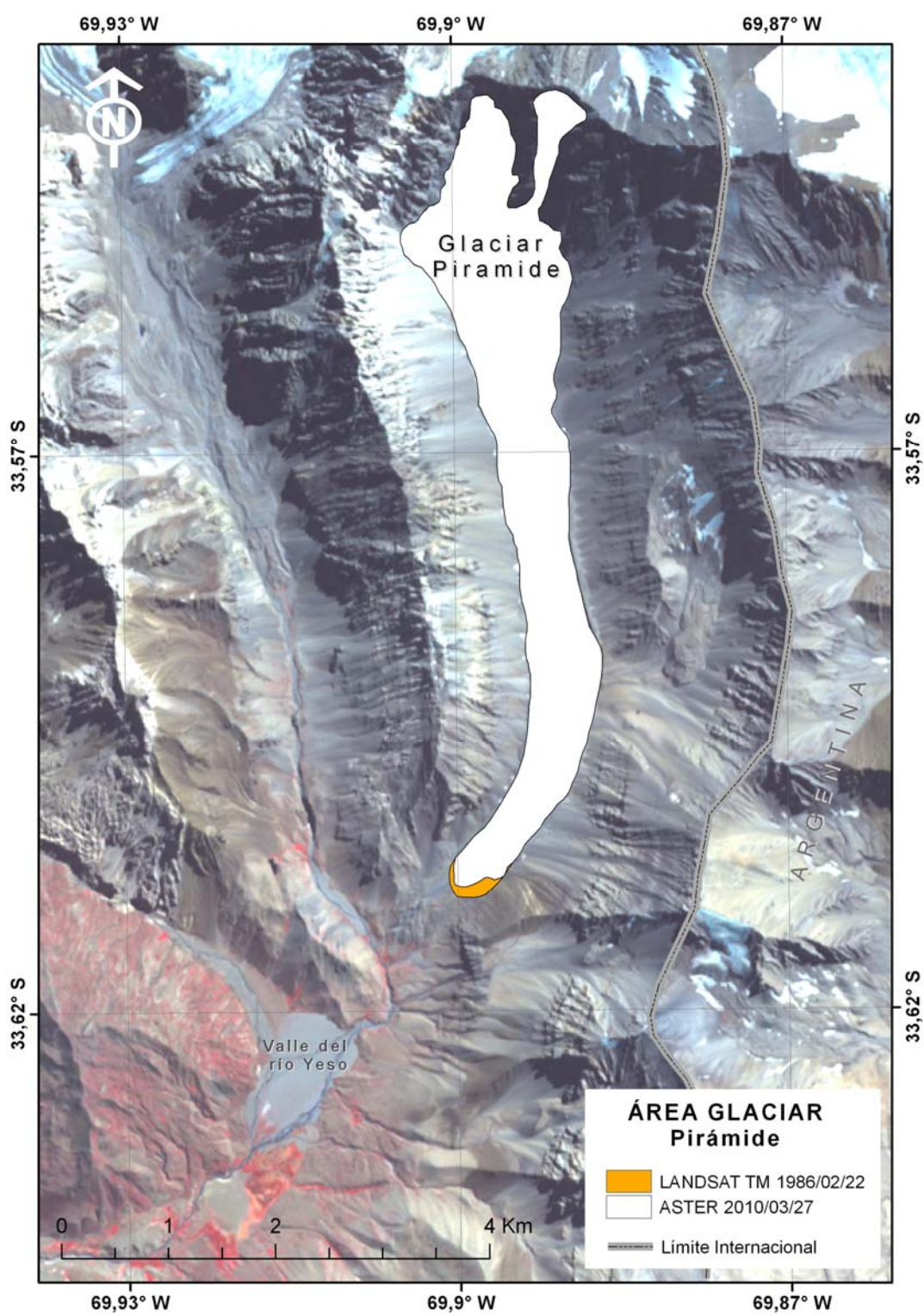


Figura 25. Variaciones de los glaciares del Volcán Tupungatito (Zona Centro).

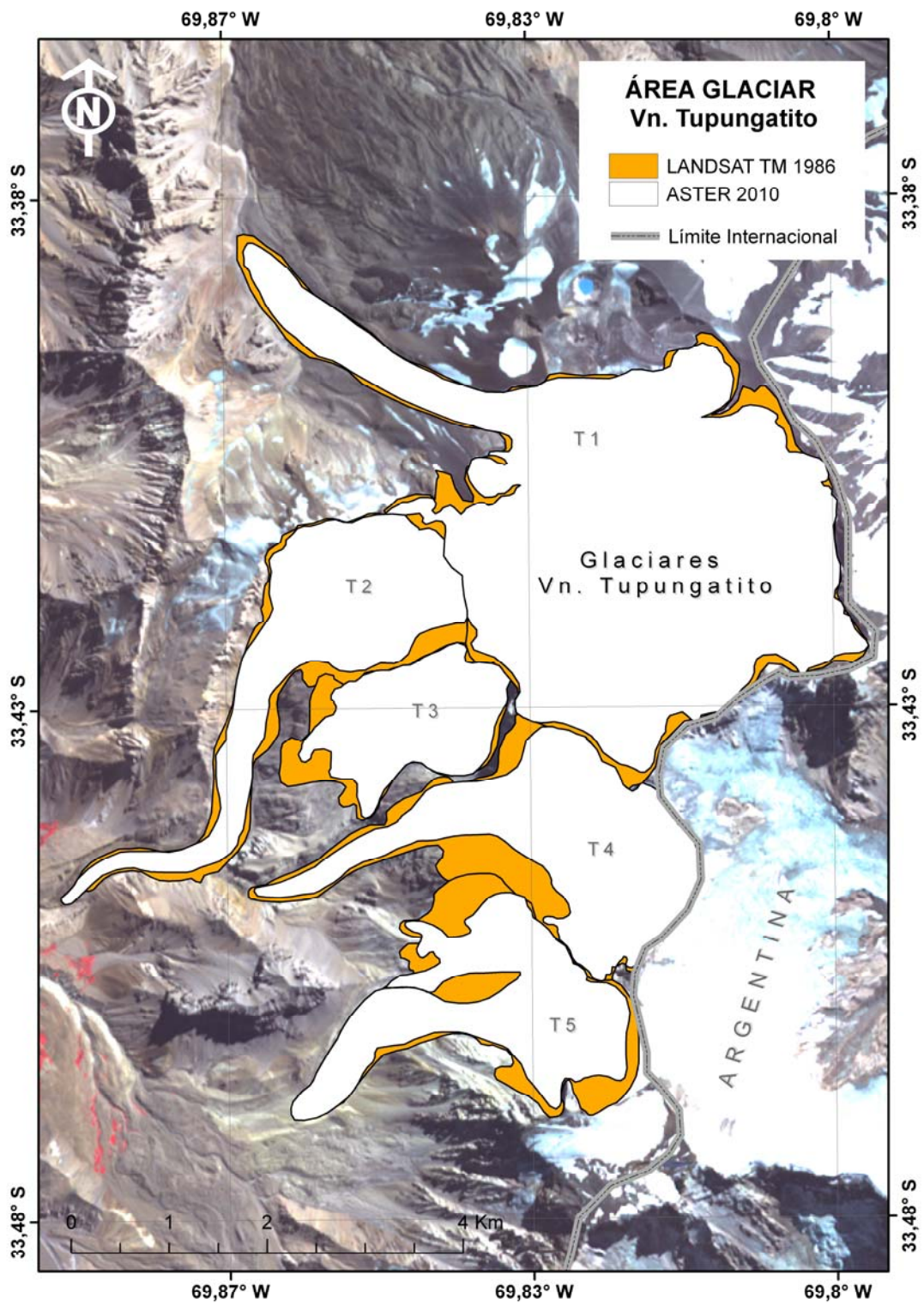


Figura 26. Variaciones de los Glaciares Palomo y Cortaderal (Zona Centro).

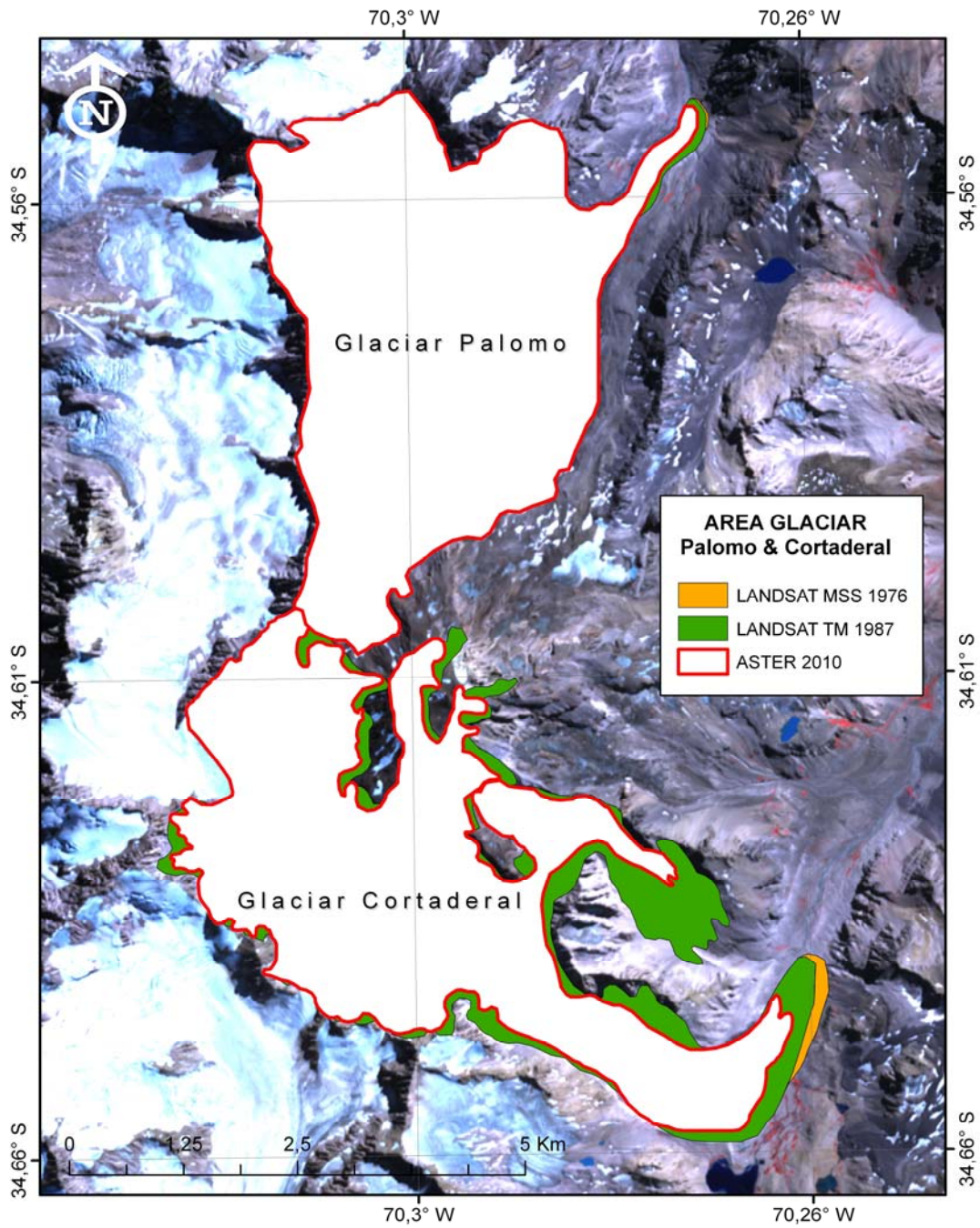


Figura 27. Variaciones del Glaciar Universidad (Zona Centro).

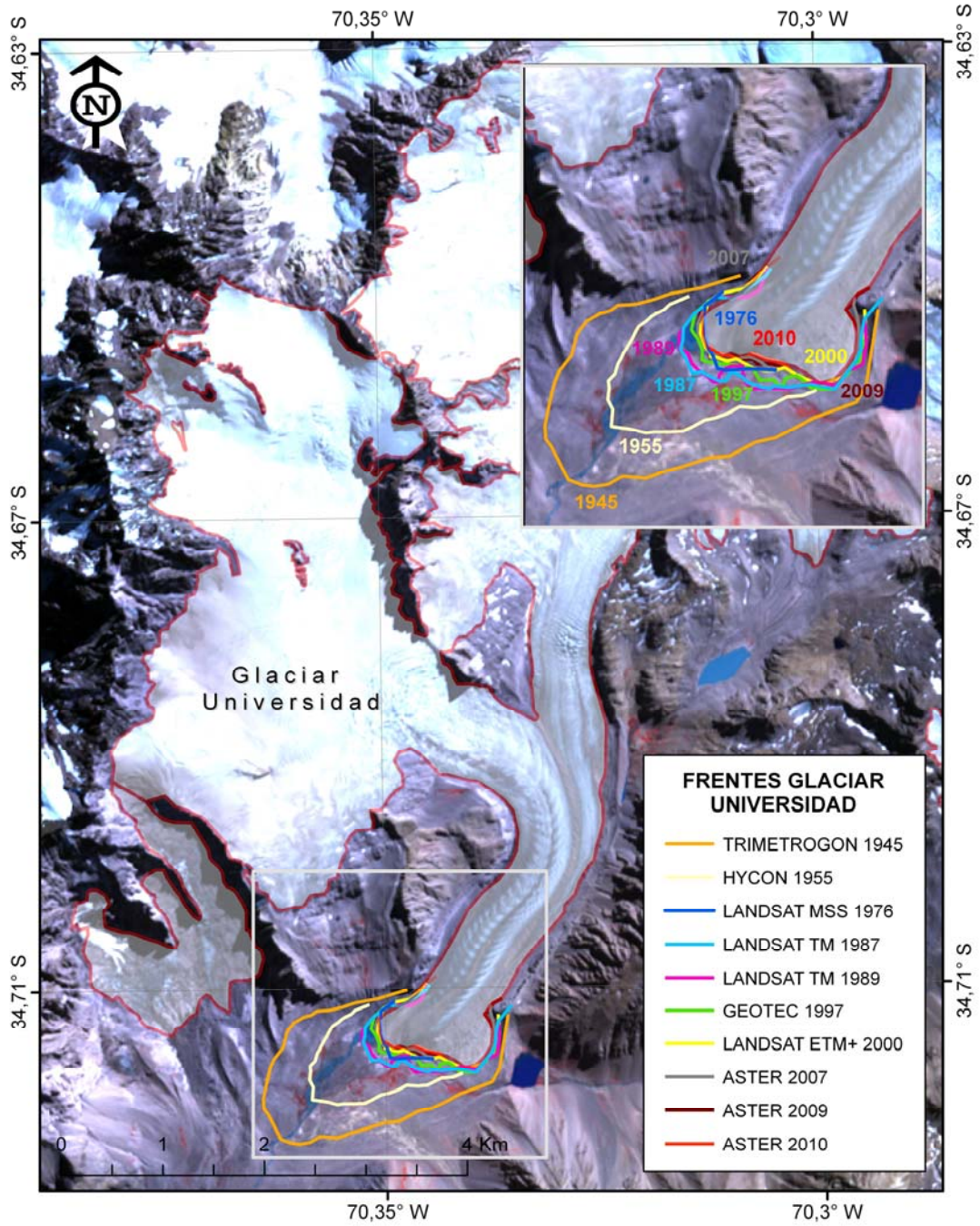


Figura 28. Variaciones del Glaciar Cipreses (Zona Centro).

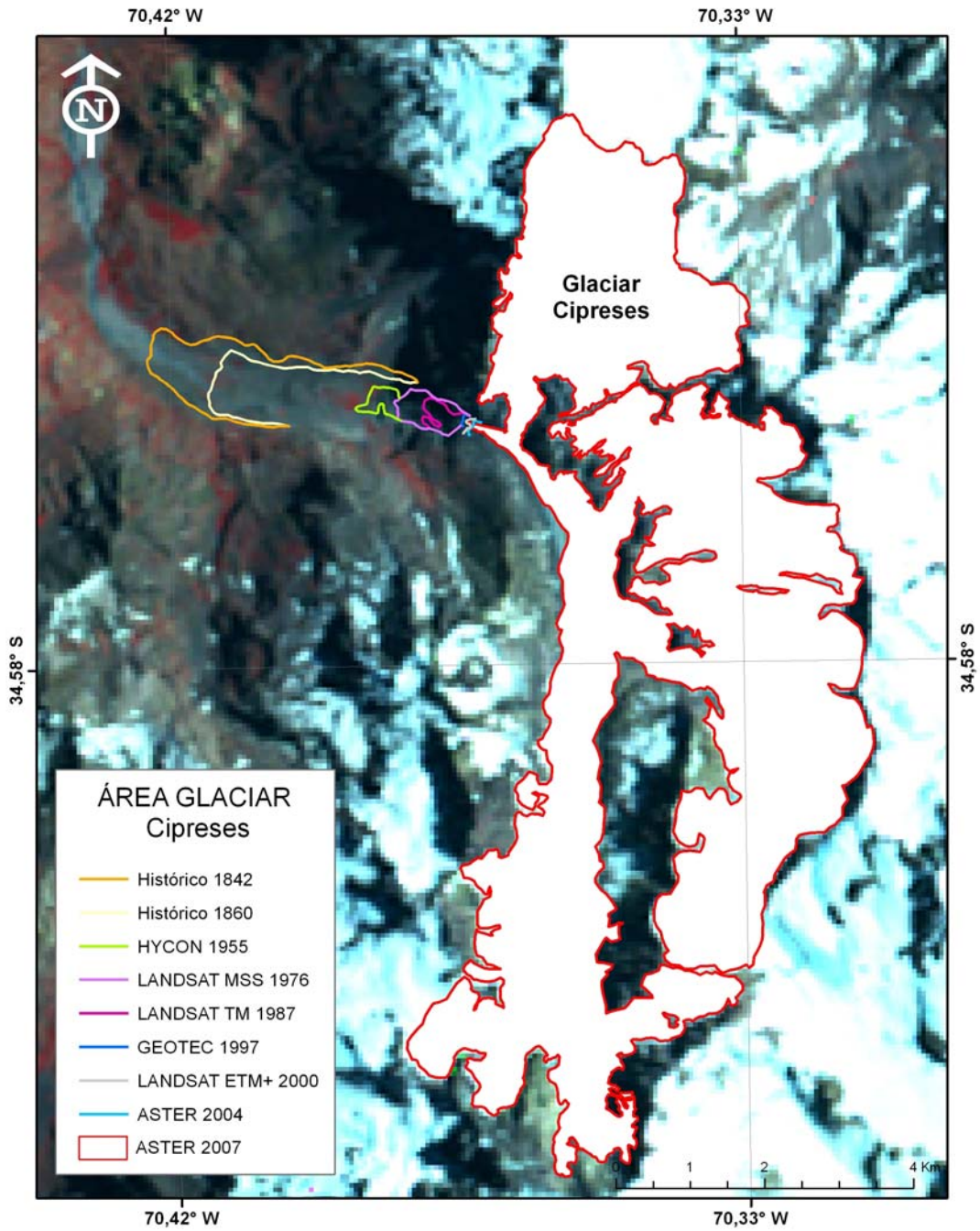


Figura 29. Variaciones de los glaciares de los Volcanes Peteroa y Azufre (Zona Centro).

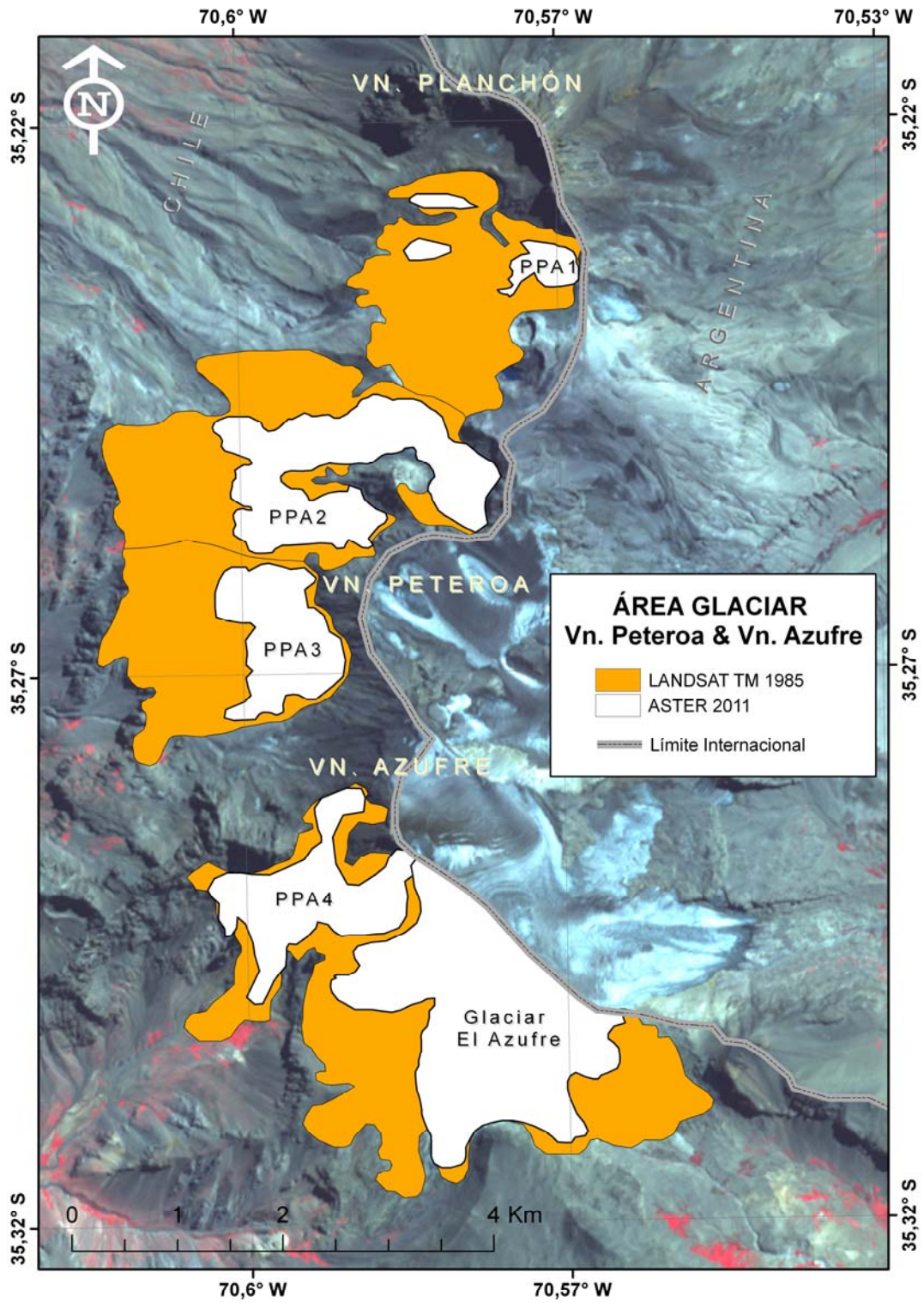


Figura 30. Variaciones de los glaciares de Nevados de Chillán (Zona Sur A).

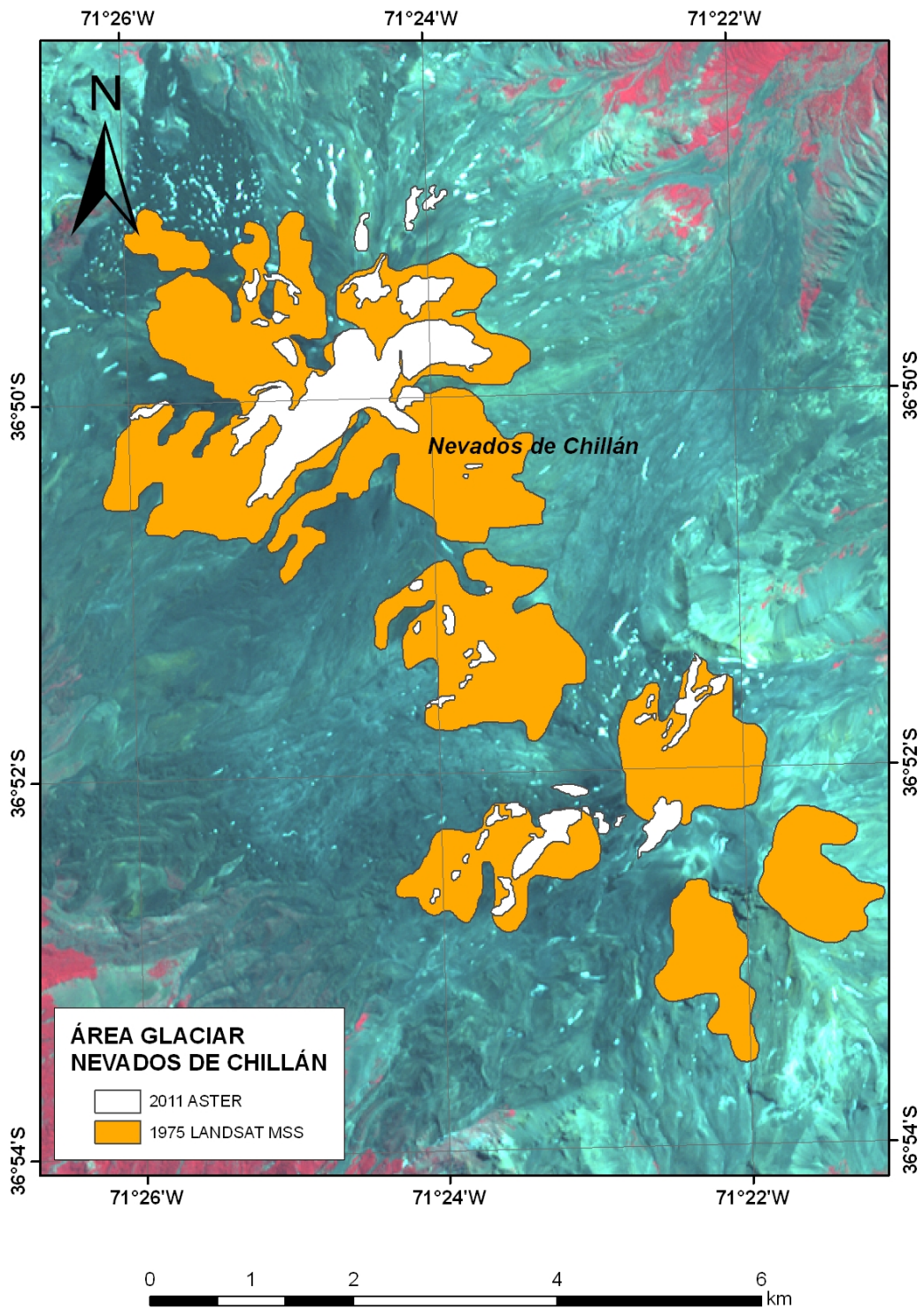


Figura 31. Variaciones de los glaciares de Sierra Velluda y Volcán Antuco (Zona Sur A).

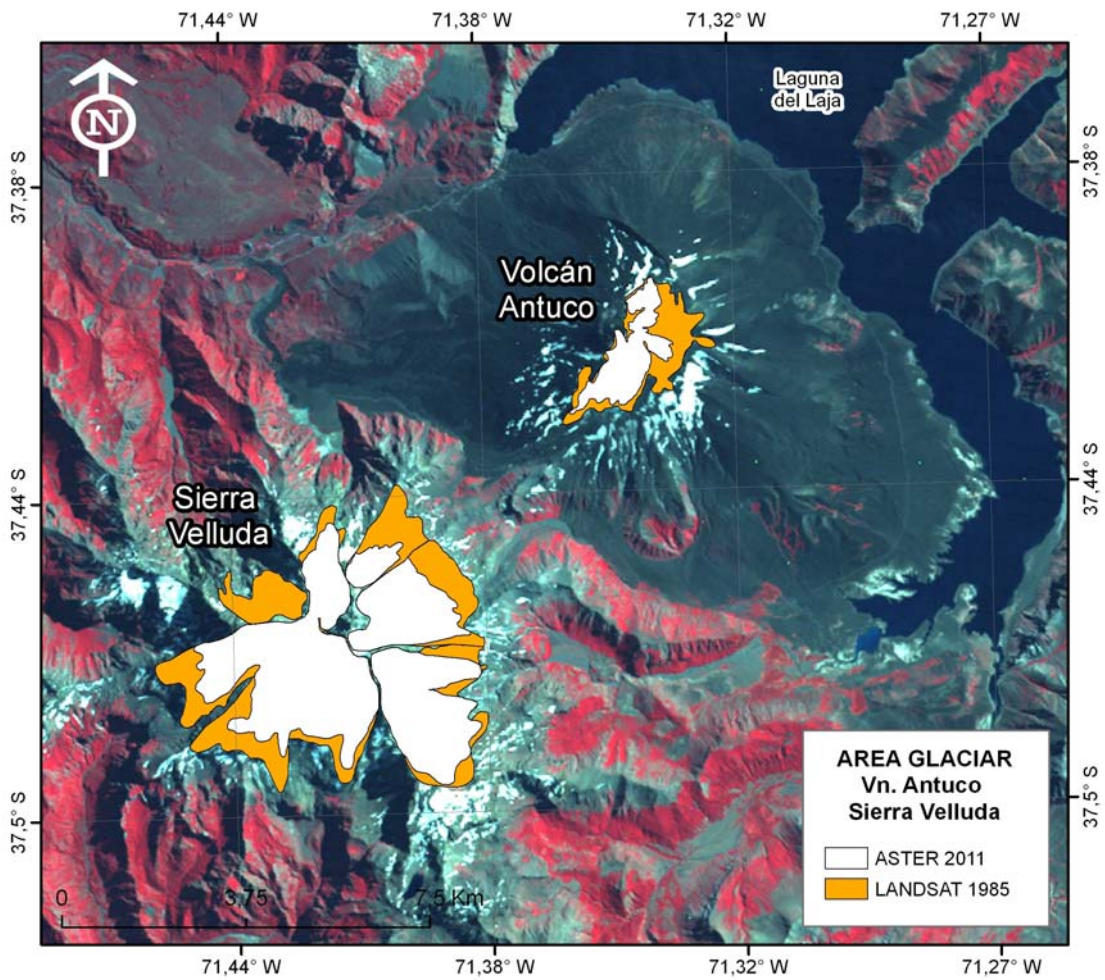


Figura 32. Variaciones de los glaciares del Volcán Callaqui (Zona Sur A).

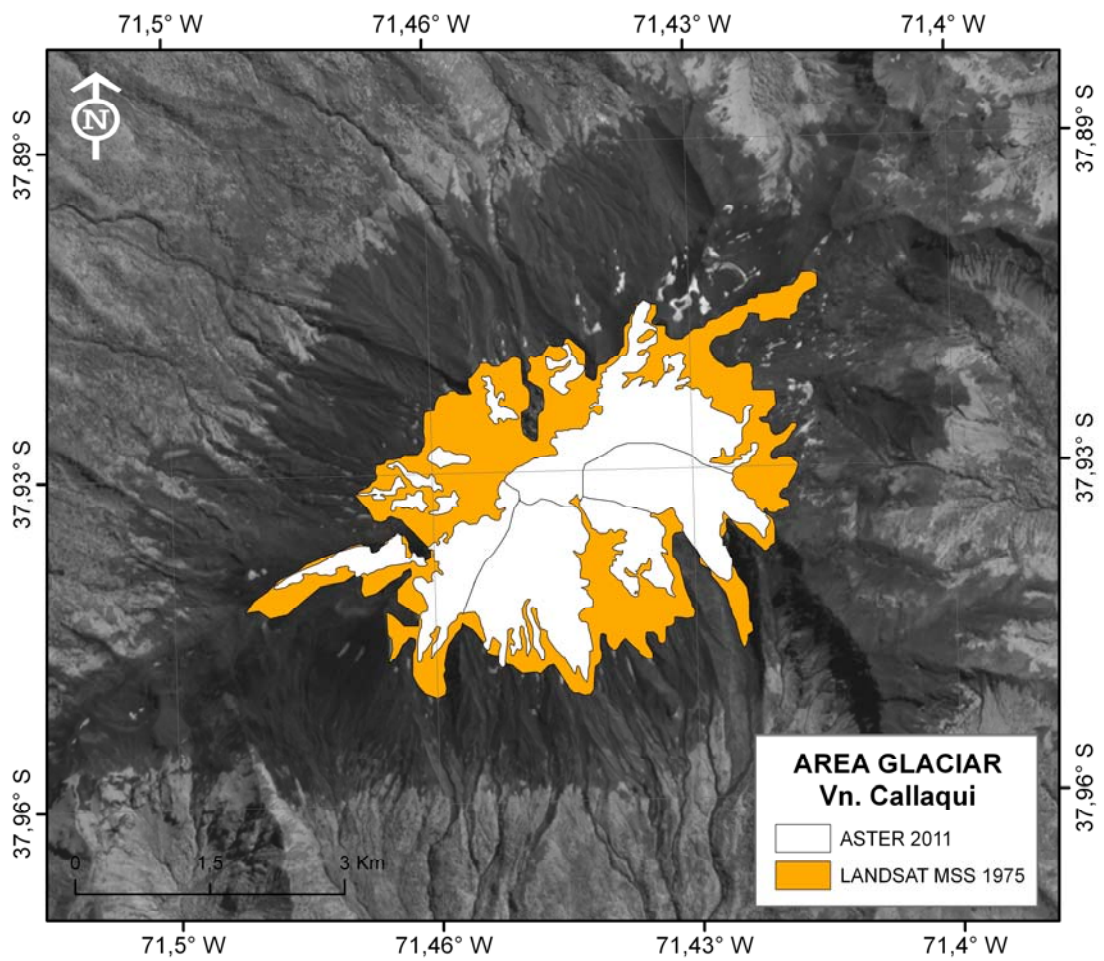


Figura 33. Variaciones de los glaciares de los Volcanes Tolhuaca y Lonquimay (Zona Sur A).

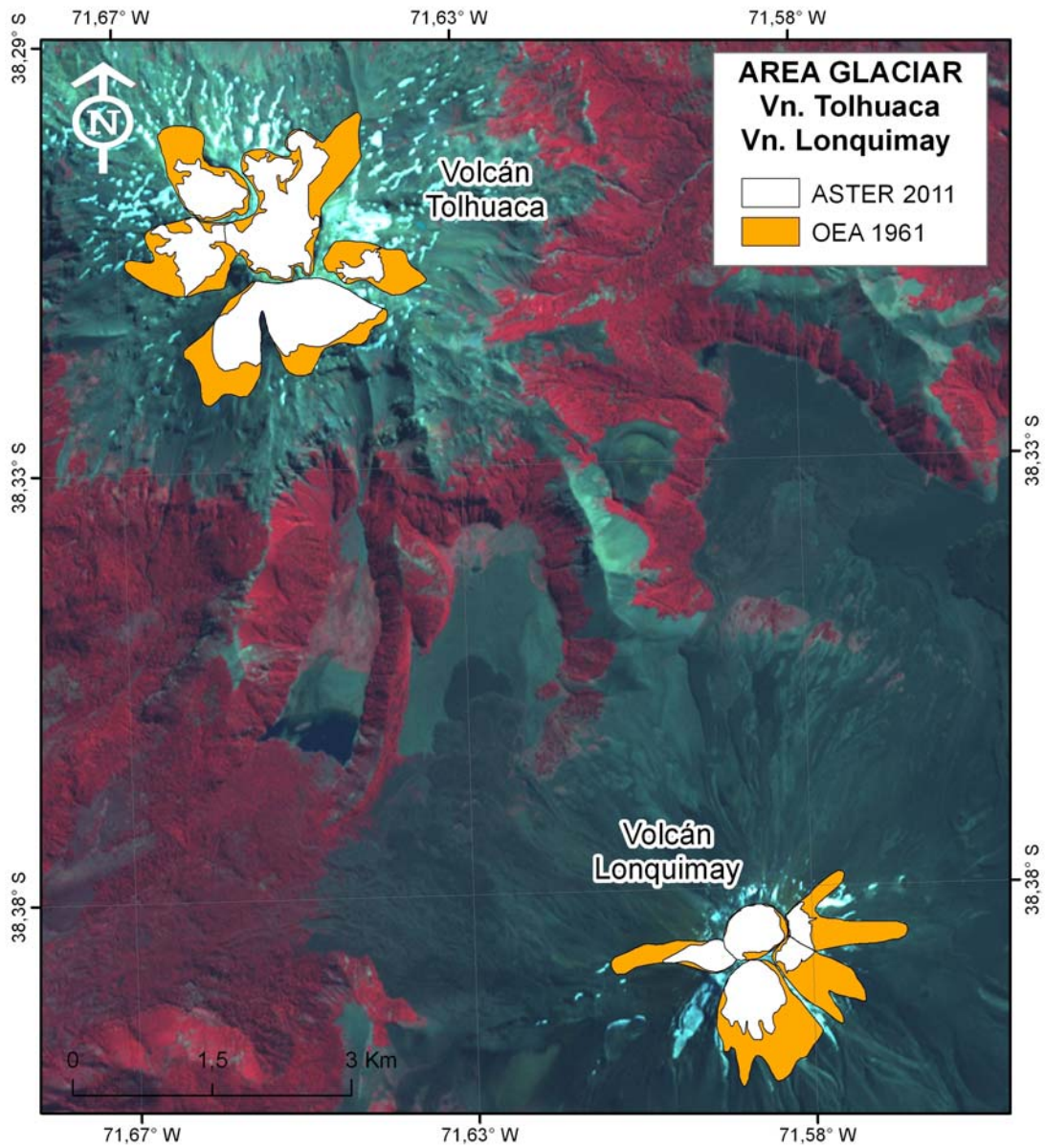


Figura 34. Variaciones de los glaciares de Sierra Nevada y Volcán Llaima (Zona Sur A).

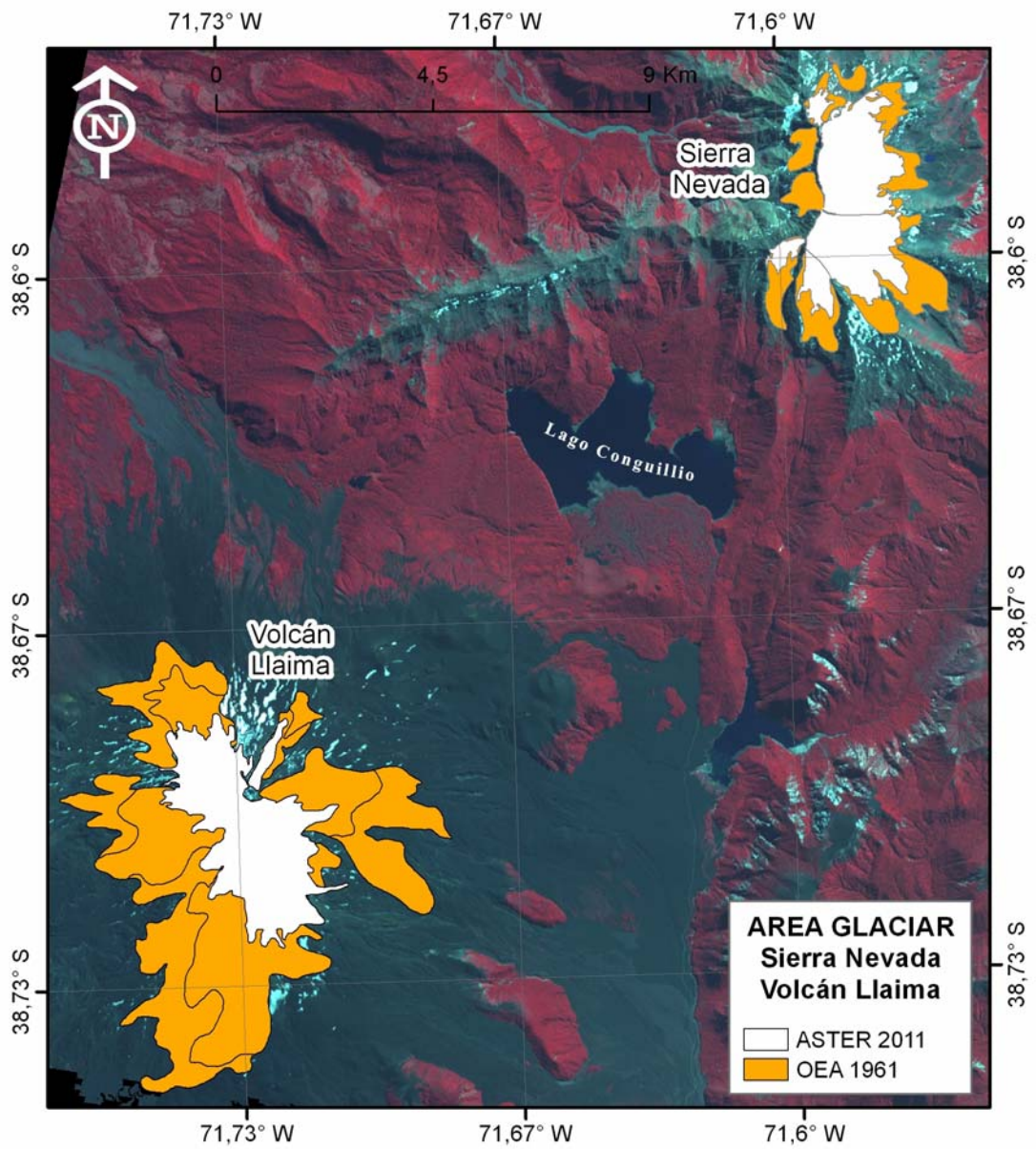


Figura 35. Variaciones del Glaciar Nevados de Sollipulli (Zona Sur A).

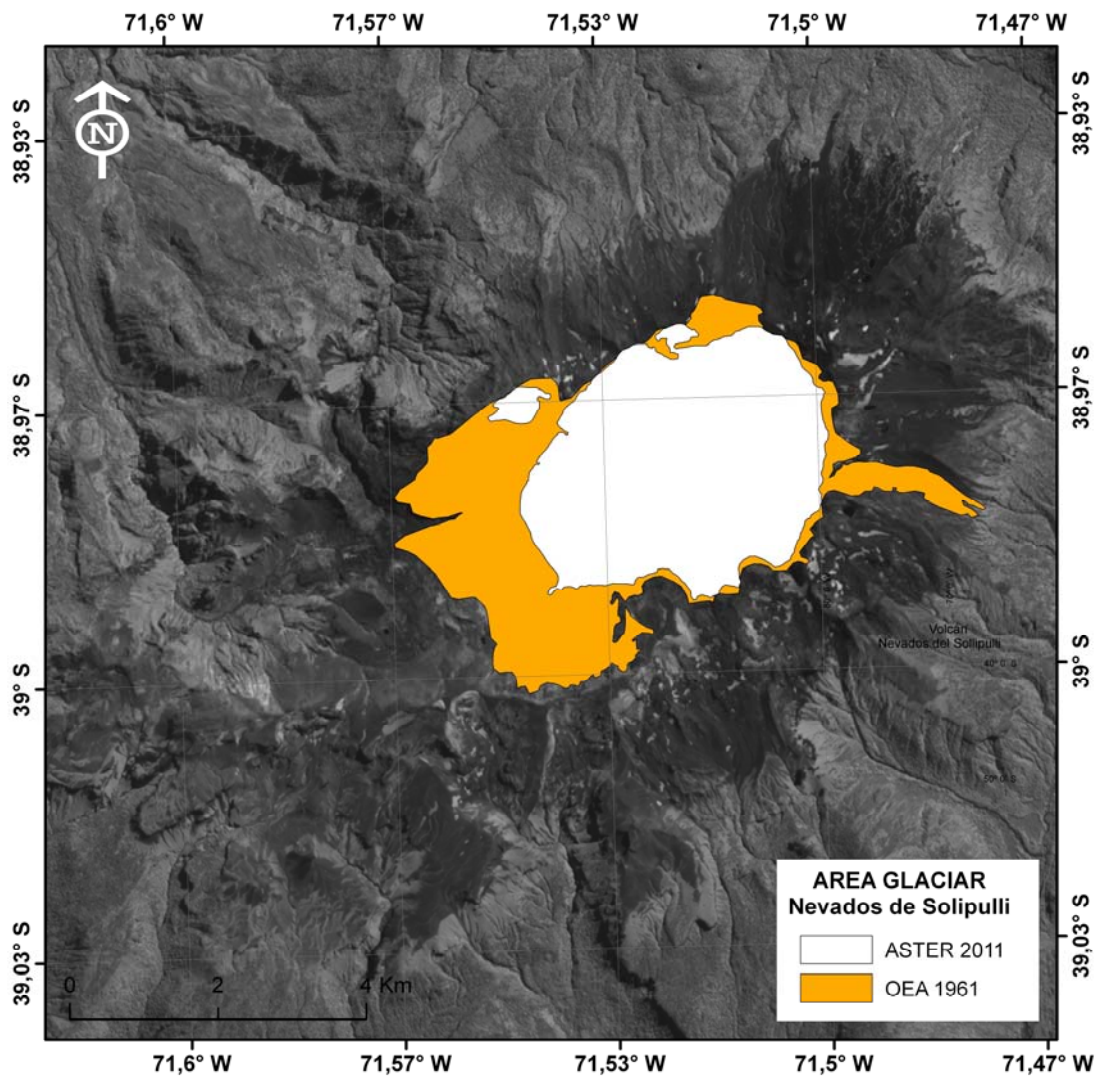


Figura 36. Variaciones de los glaciares del Volcán Villarrica (Zona Sur A).

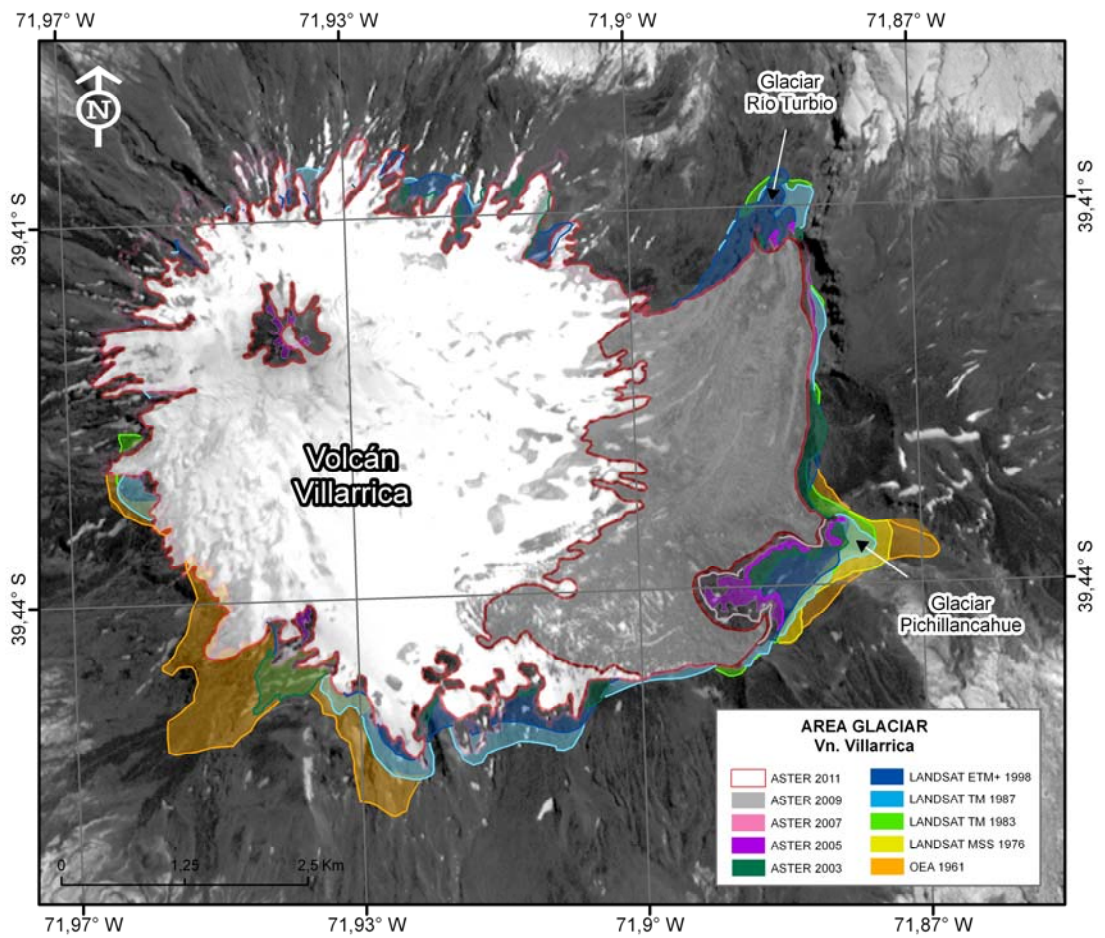


Figura 37. Variaciones de los glaciares del Volcán Mocho (Zona Sur A).

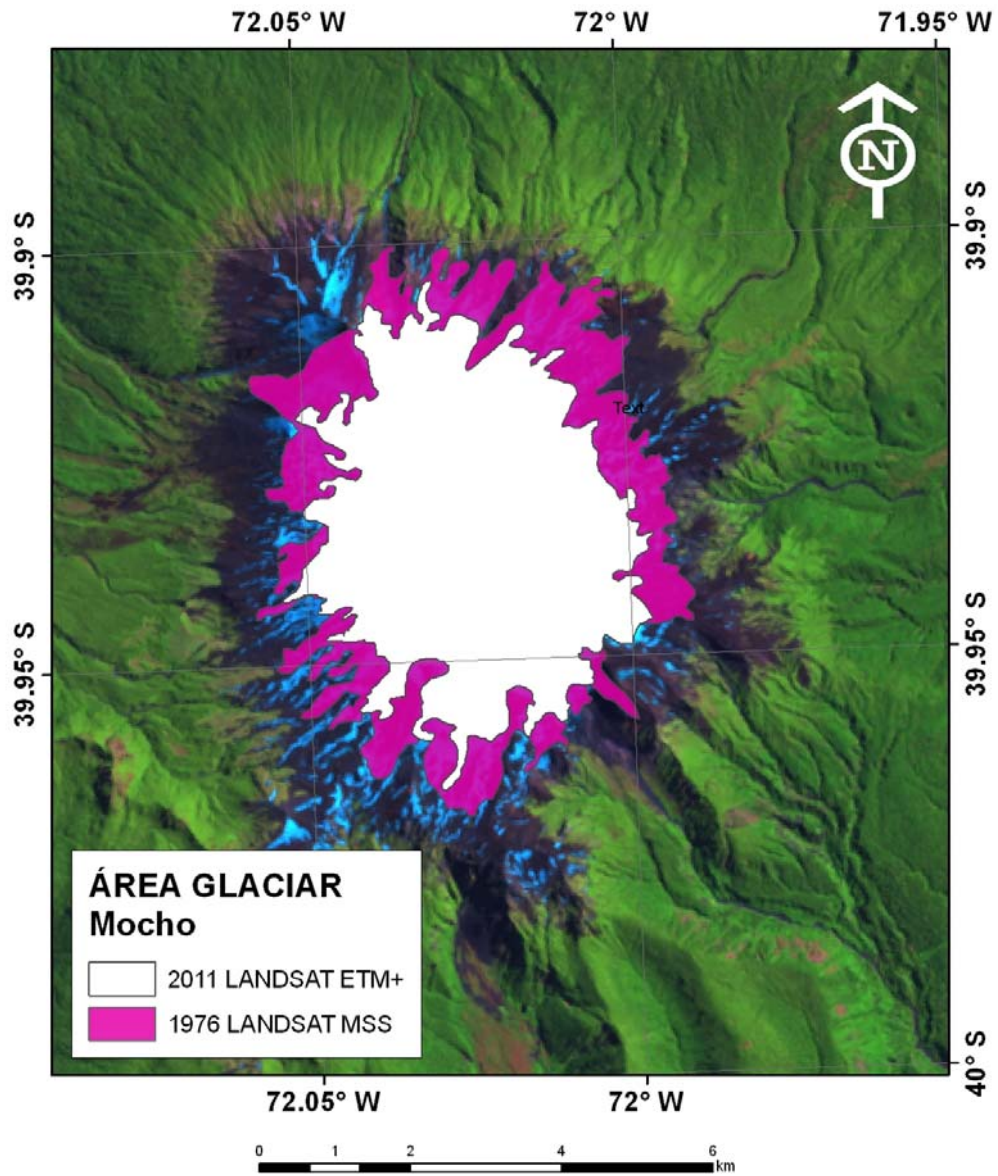


Figura 38. Variaciones del glaciar del Volcán Puyehue (Zona Sur A).

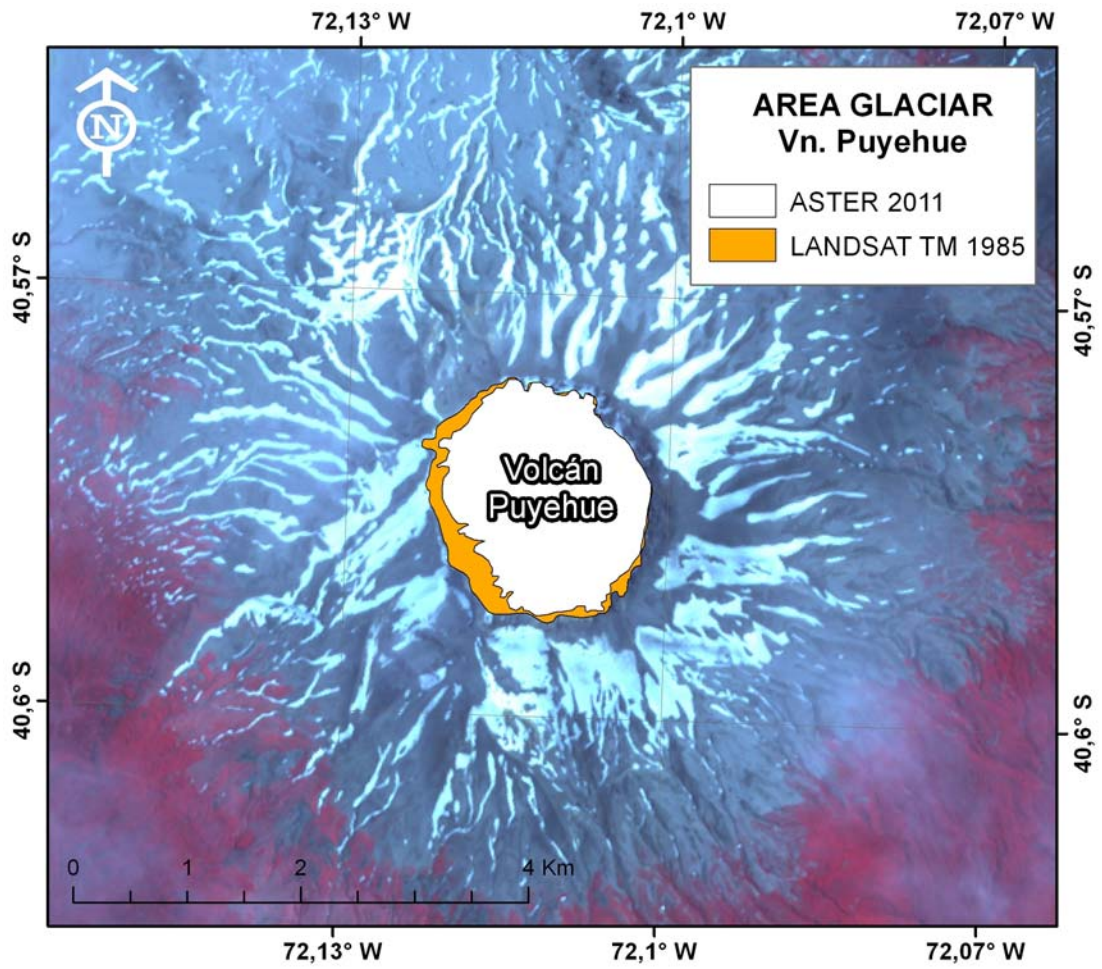


Figura 39. Variaciones de los glaciares del Volcán Puntia gudo (Zona Sur A).

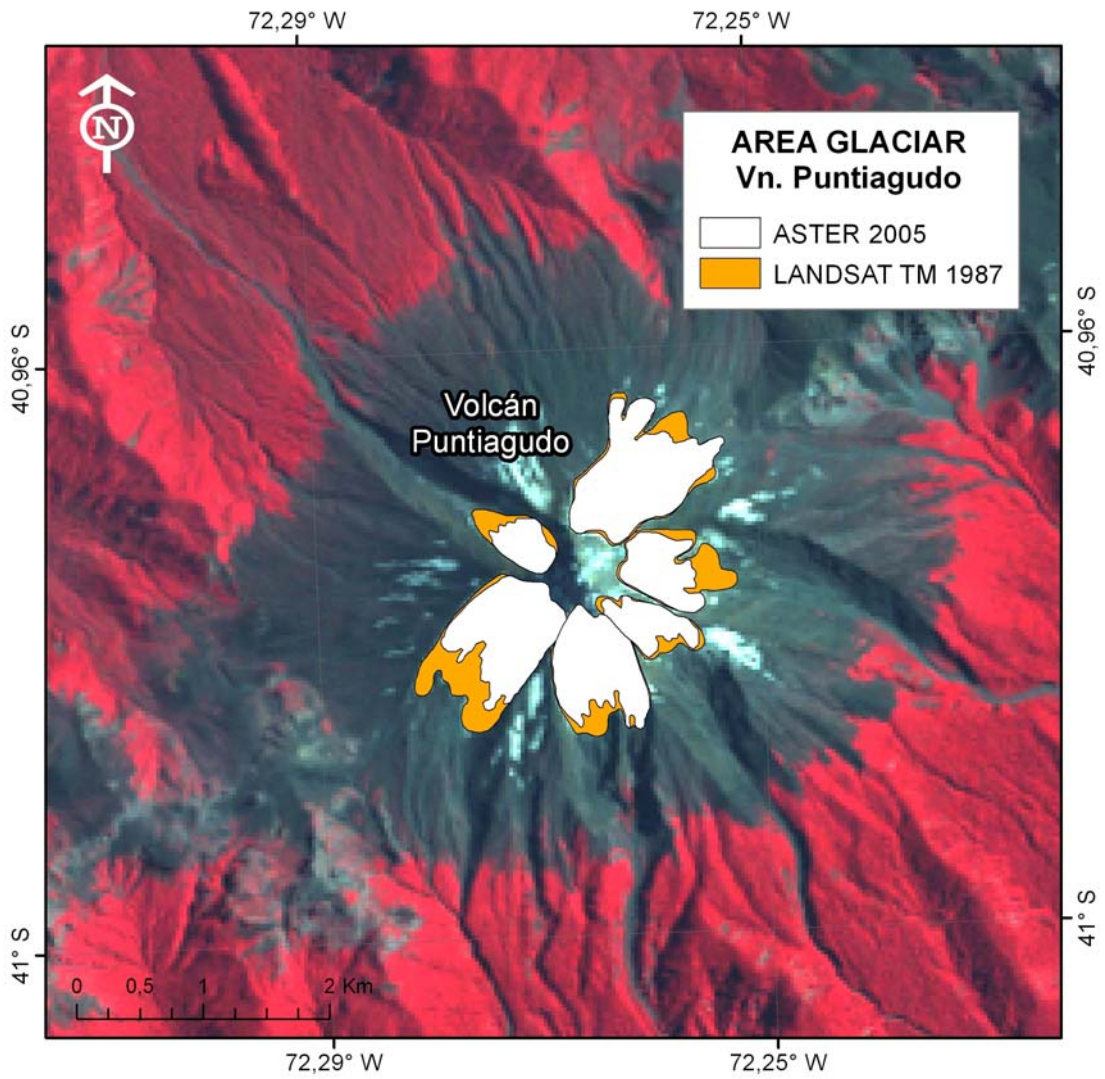


Figura 40. Variaciones de los glaciares del Volcán Osorno (Zona Sur A).

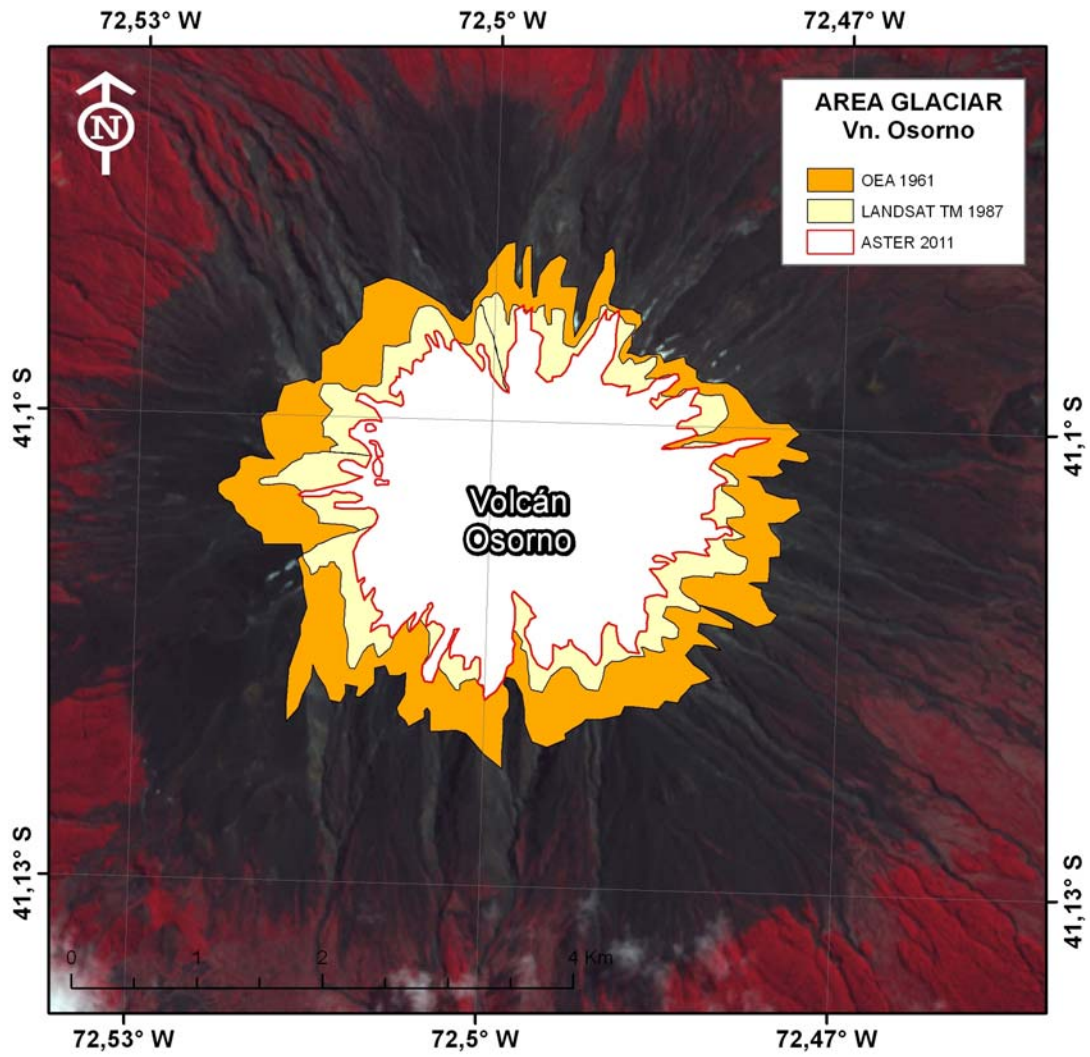


Figura 41. Variaciones del Glaciar Casa Pangué (Zona Sur B).

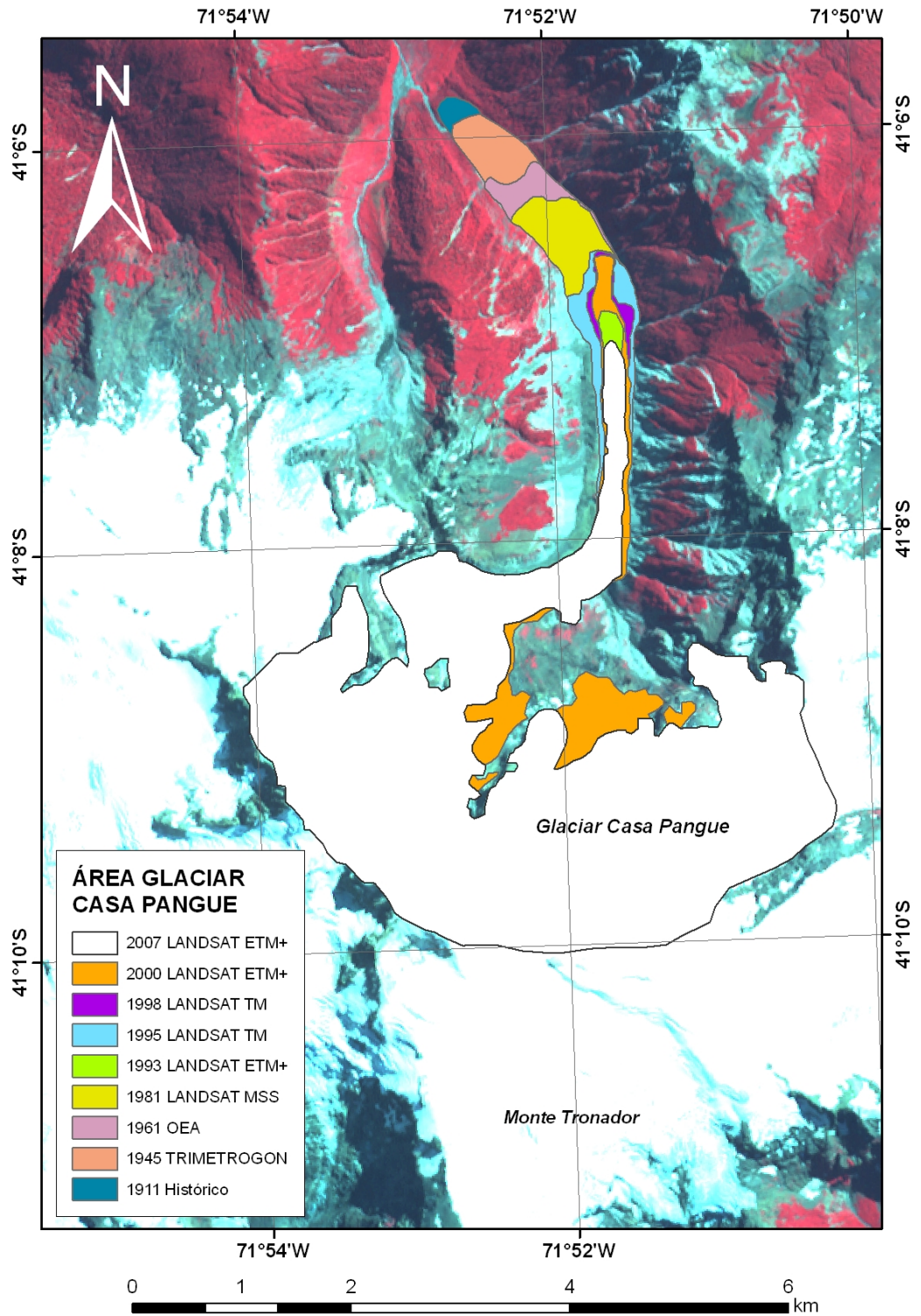


Figura 42. Variaciones de los glaciares del Volcán Yates (Zona Sur B).

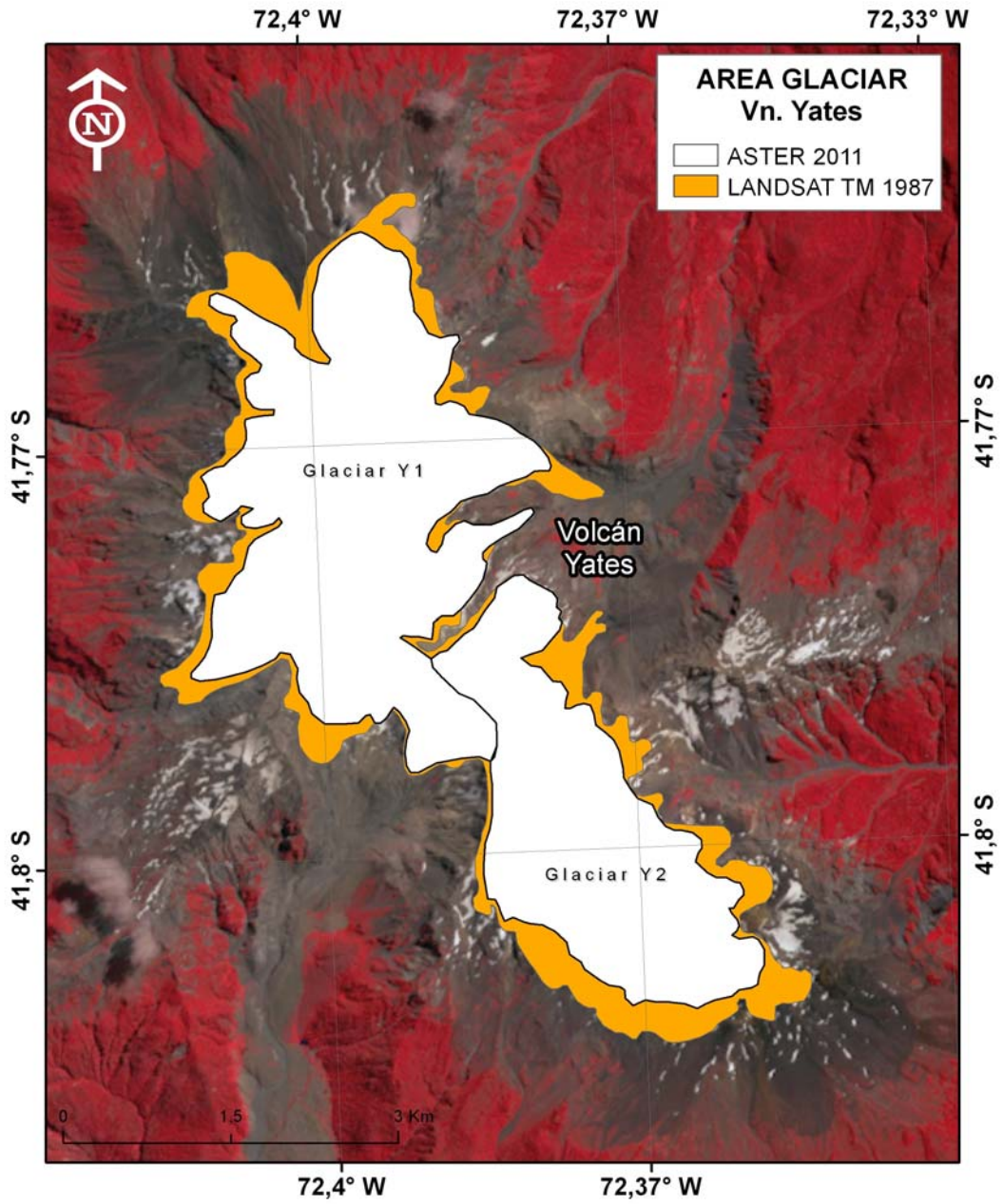


Figura 43. Variaciones de los glaciares del Monte Inexplorado (Zona Sur B).

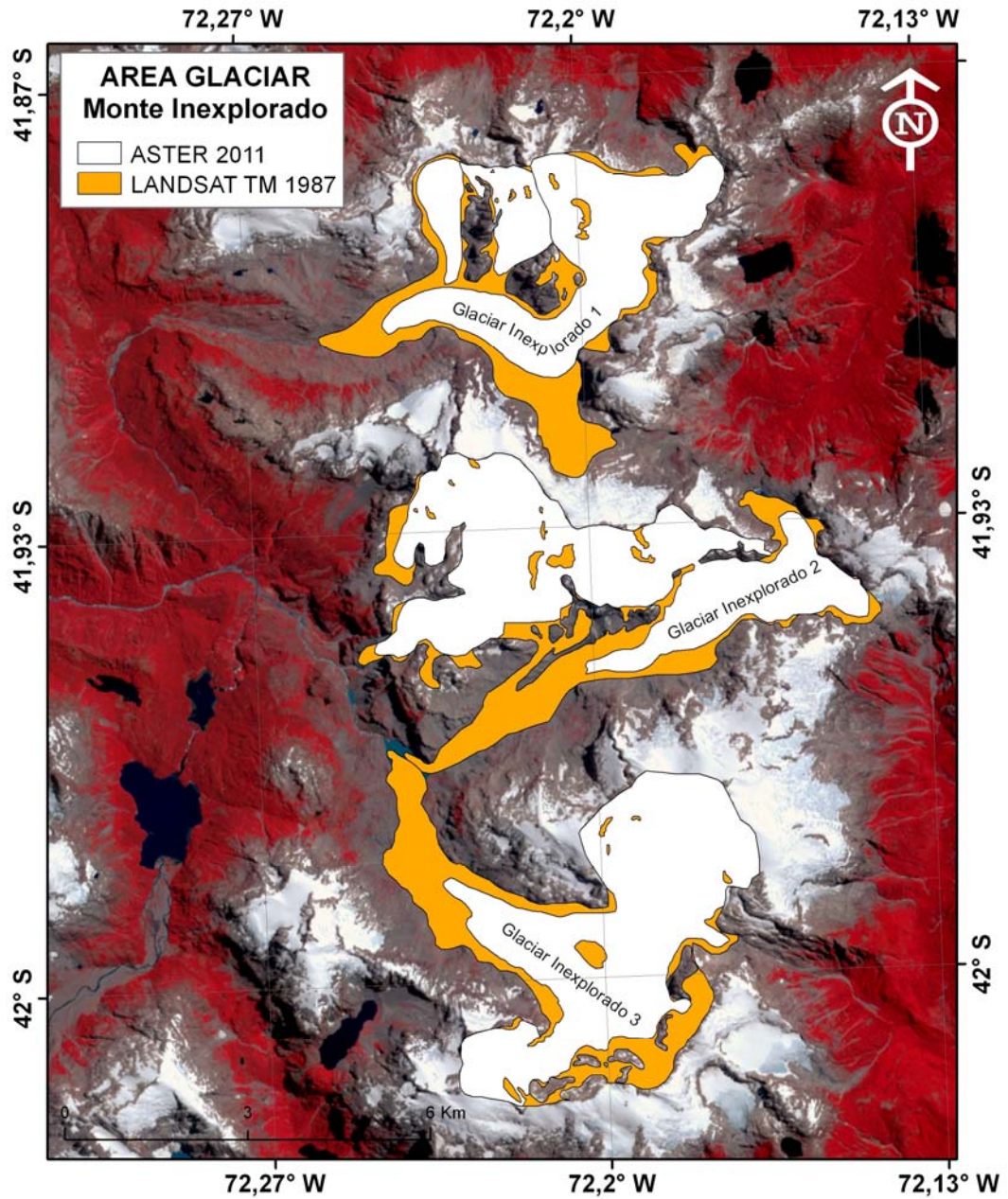


Figura 44. Variaciones de los glaciares del Volcán Michinmahuida (Zona Sur B).

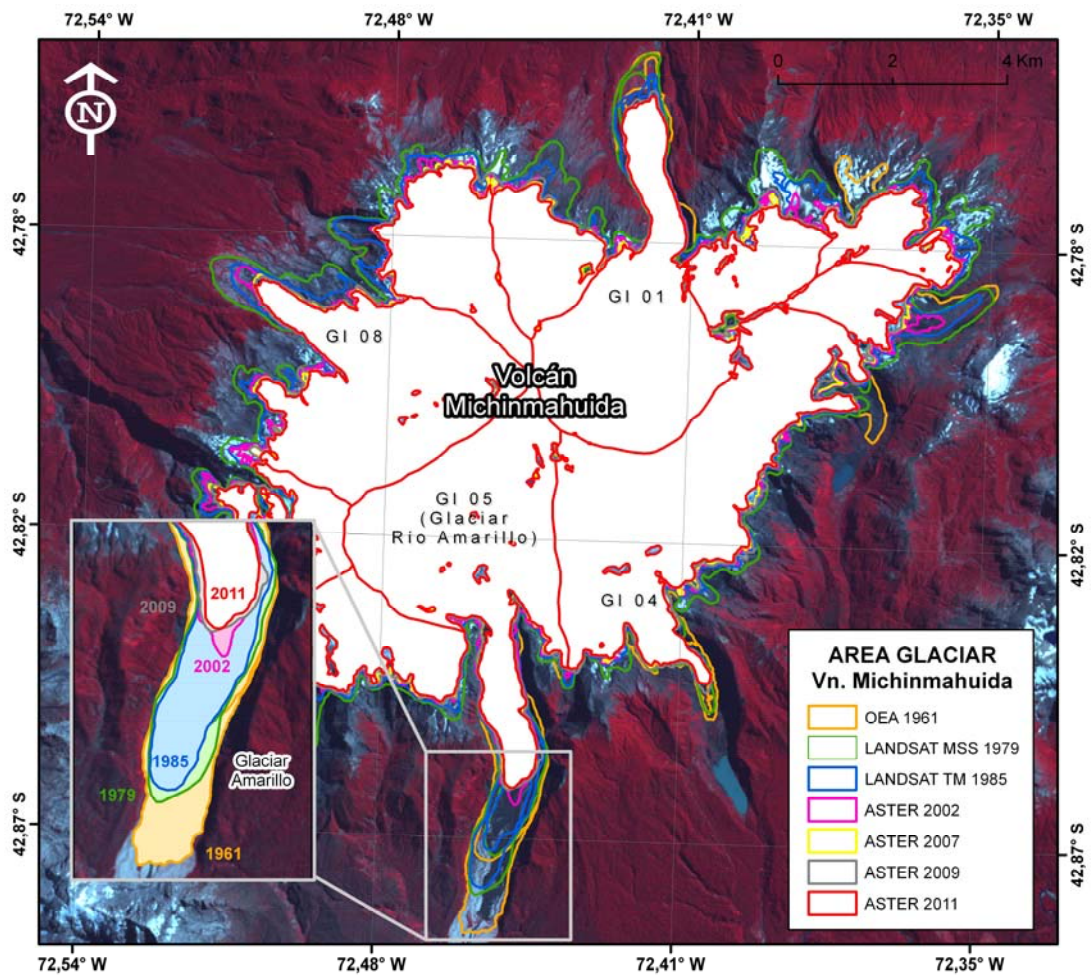


Figura 45. Variaciones de los glaciares del Volcán Corcovado (Zona Sur B).

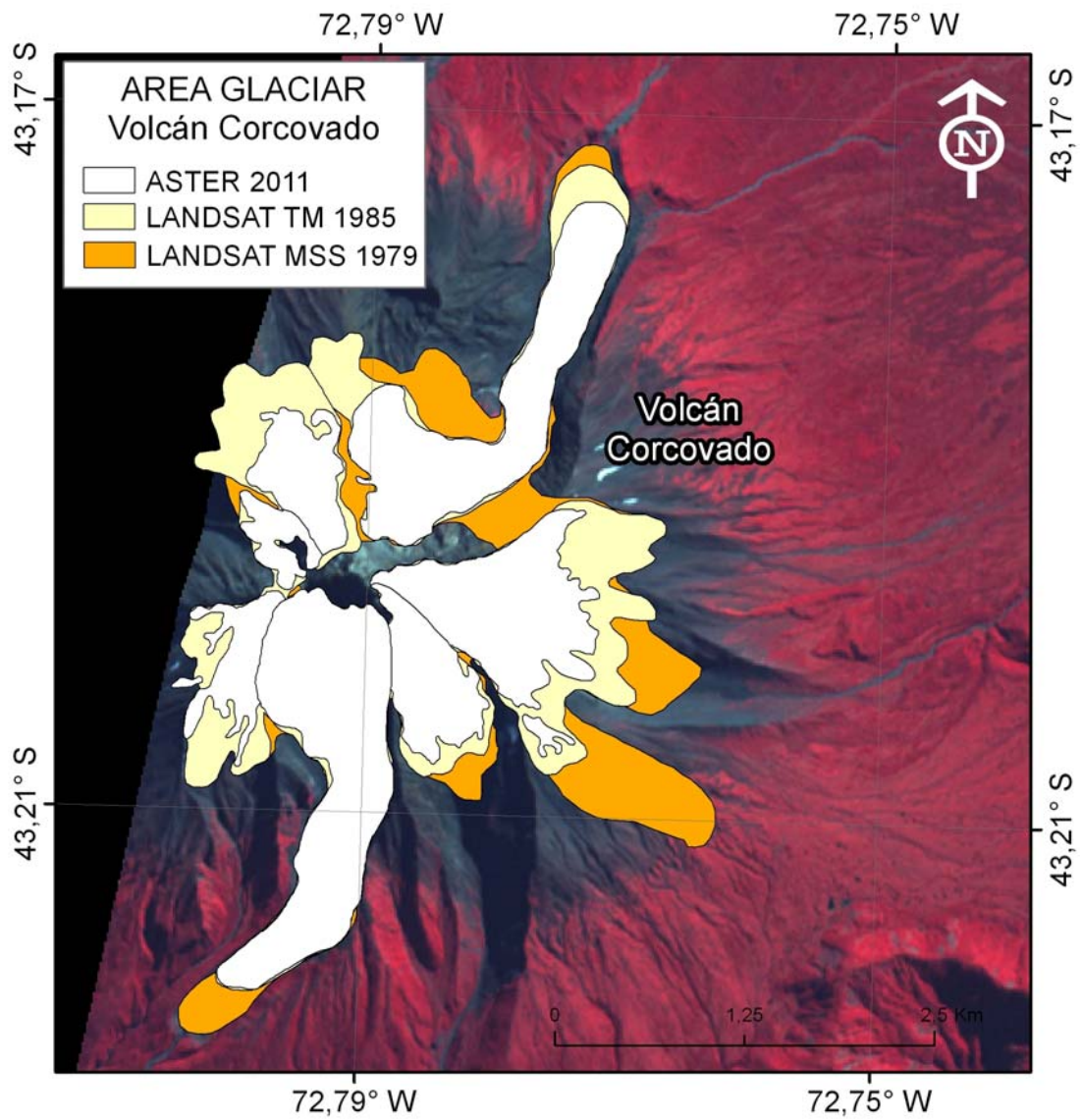


Figura 46. Variaciones de los glaciares del Volcán Yanteles (Zona Sur B).

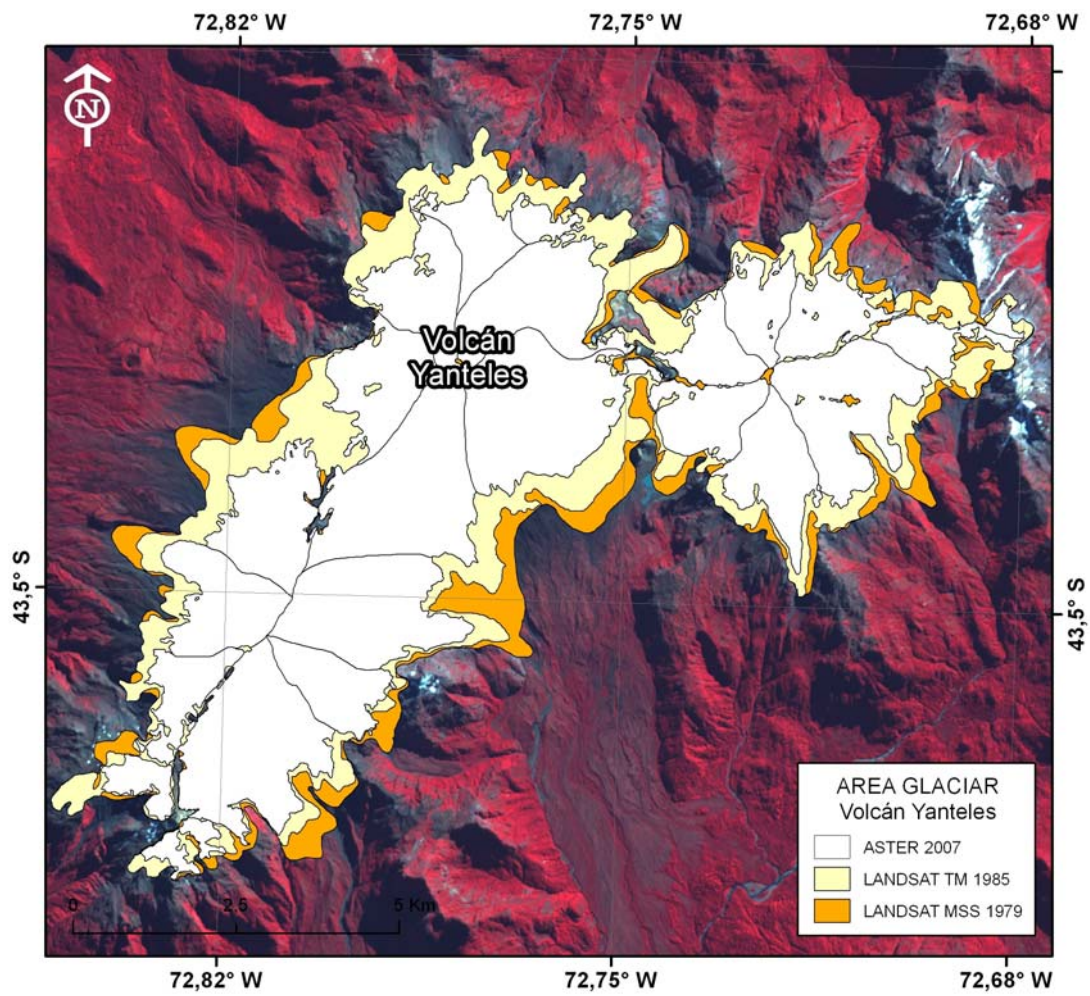


Figura 47. Variaciones de los glaciares del Volcán Melimoyu (Zona Sur B).

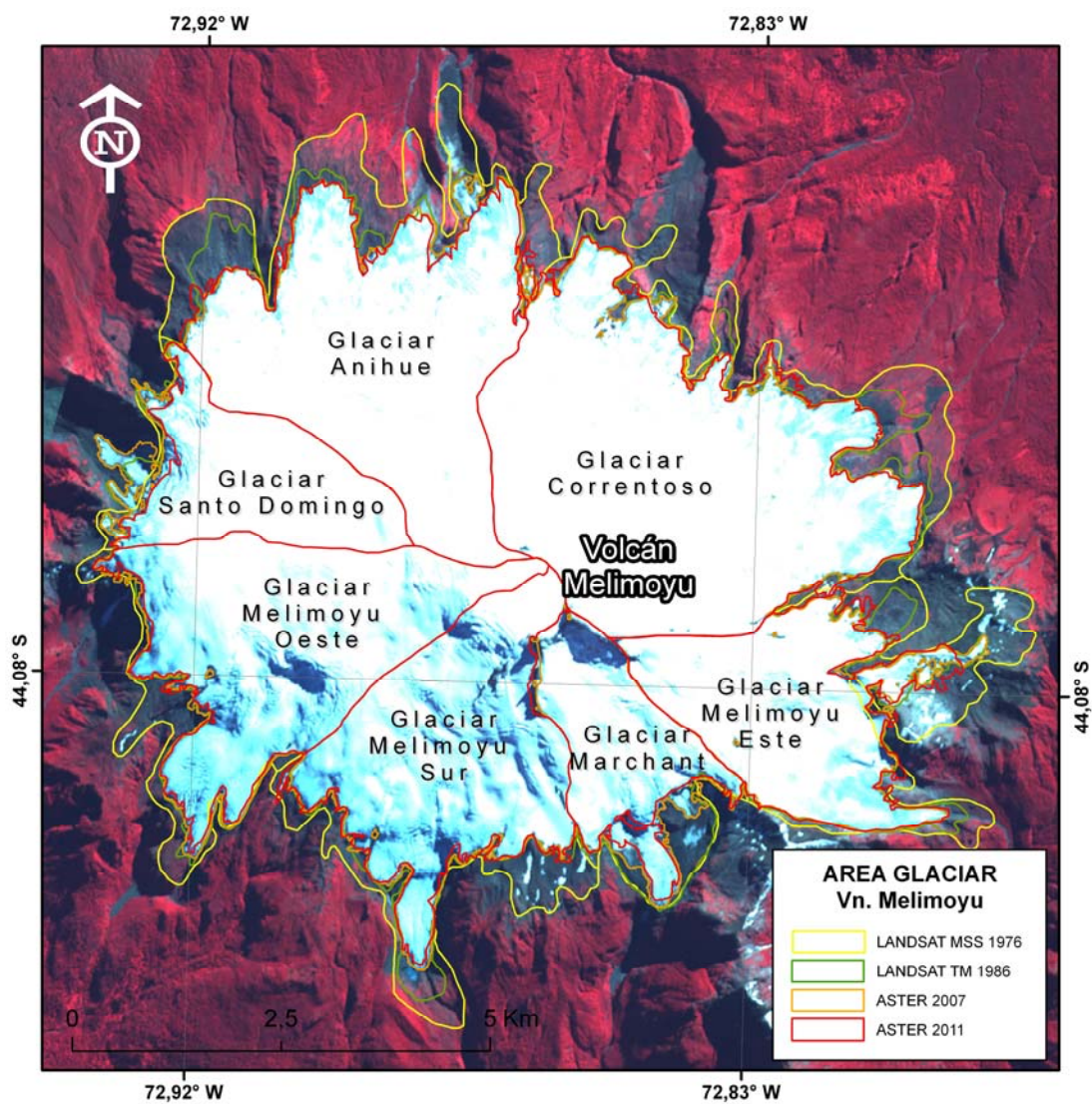


Figura 48. Variaciones de los glaciares del Nevado de Queulat (Zona Sur B).

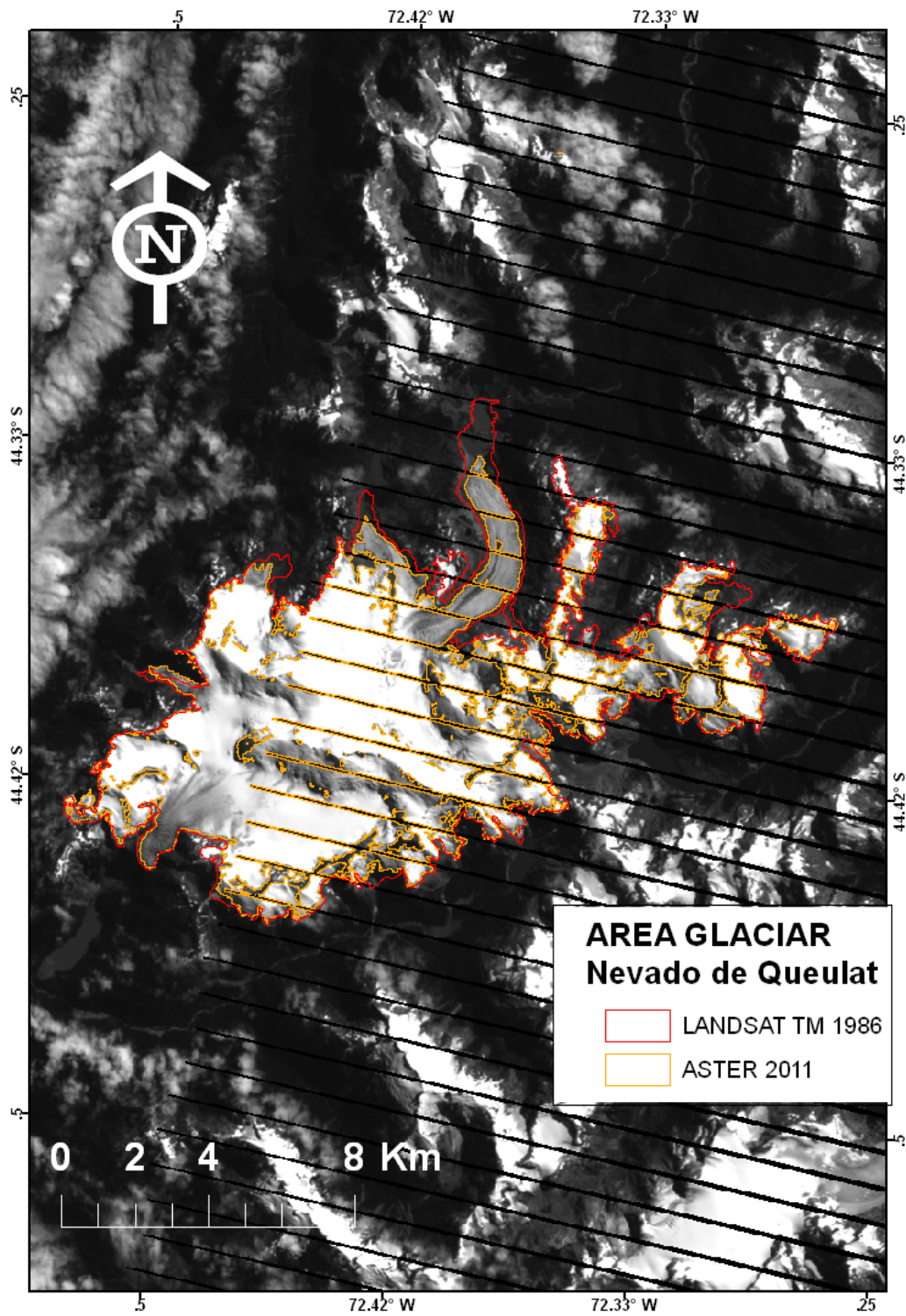


Figura 49. Variaciones de los glaciares del Volcán Mentolat (Zona Sur B).

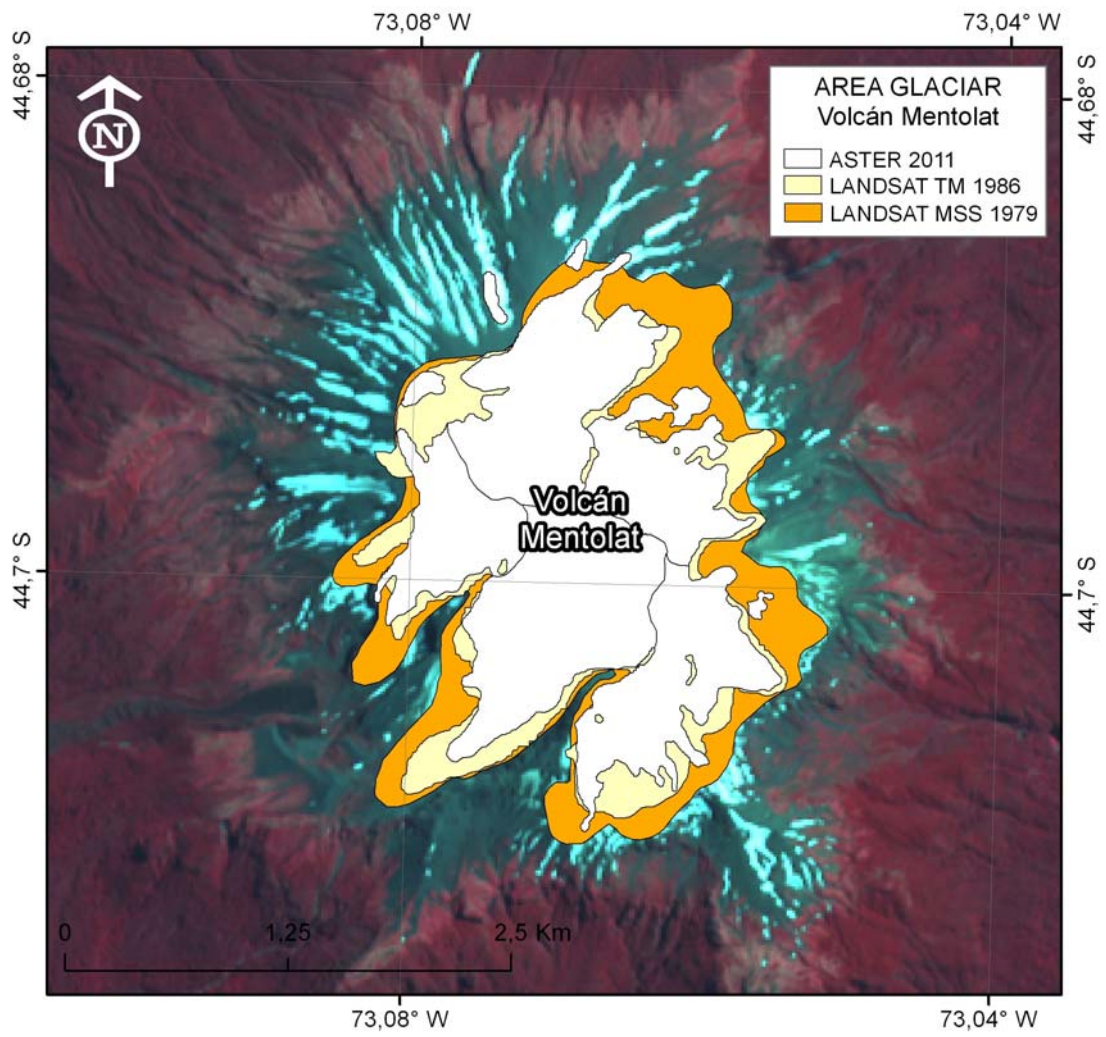


Figura 50. Variaciones de los glaciares del Volcán Cay (Zona Sur B).

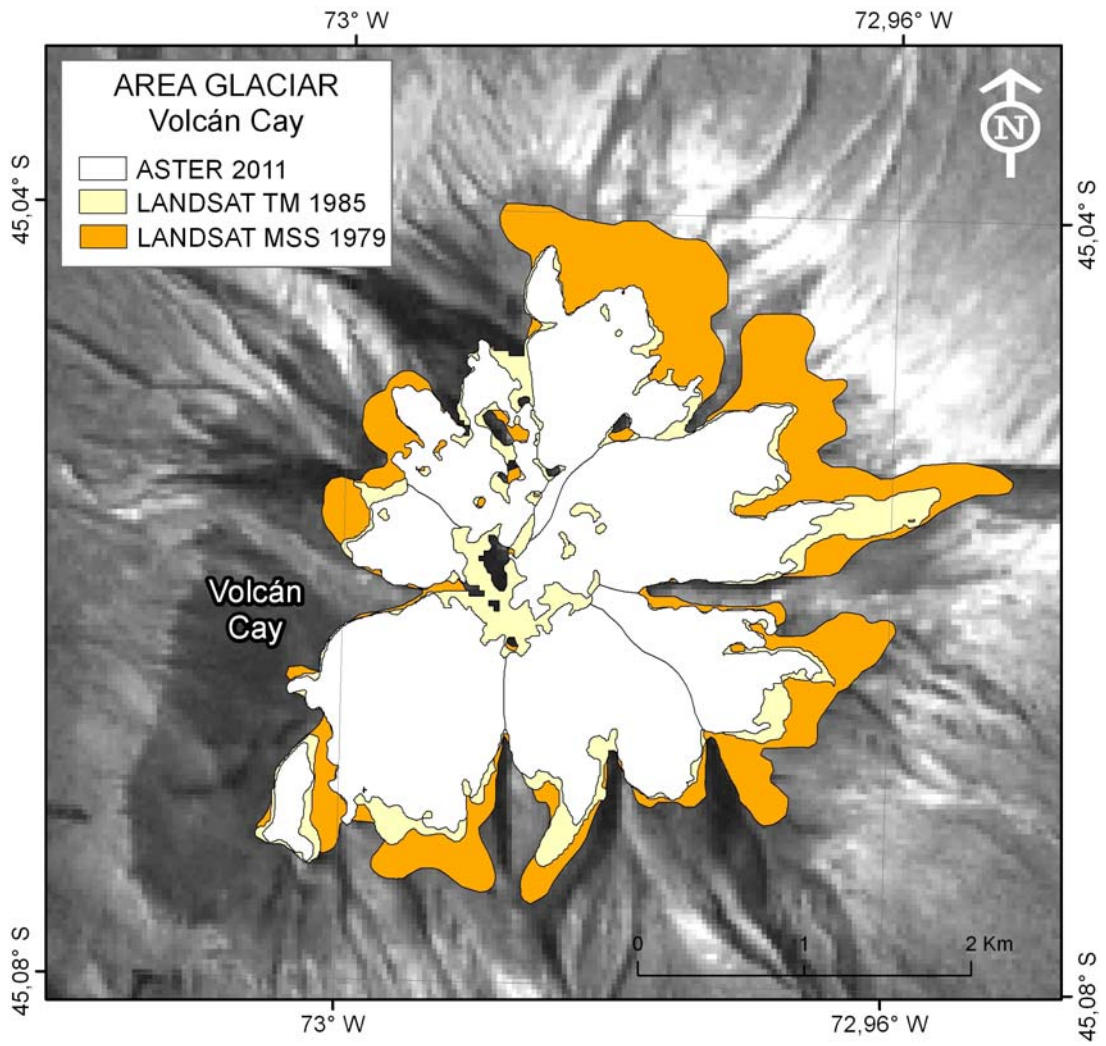


Figura 51. Variaciones de los glaciares del Volcán Macá (Zona Sur B).

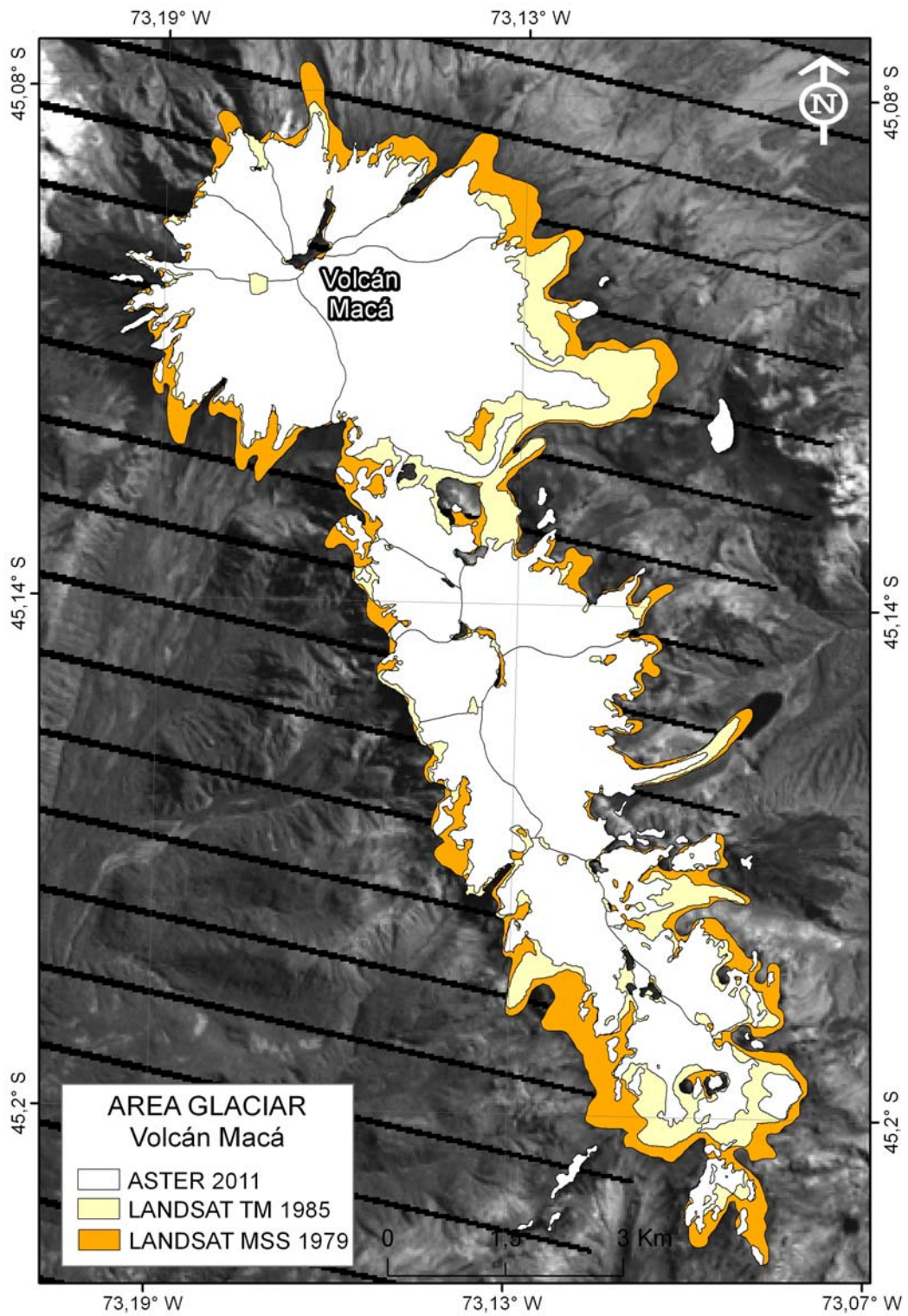


Figura 52. Variaciones de los glaciares del Volcán Hudson (Zona Sur B).

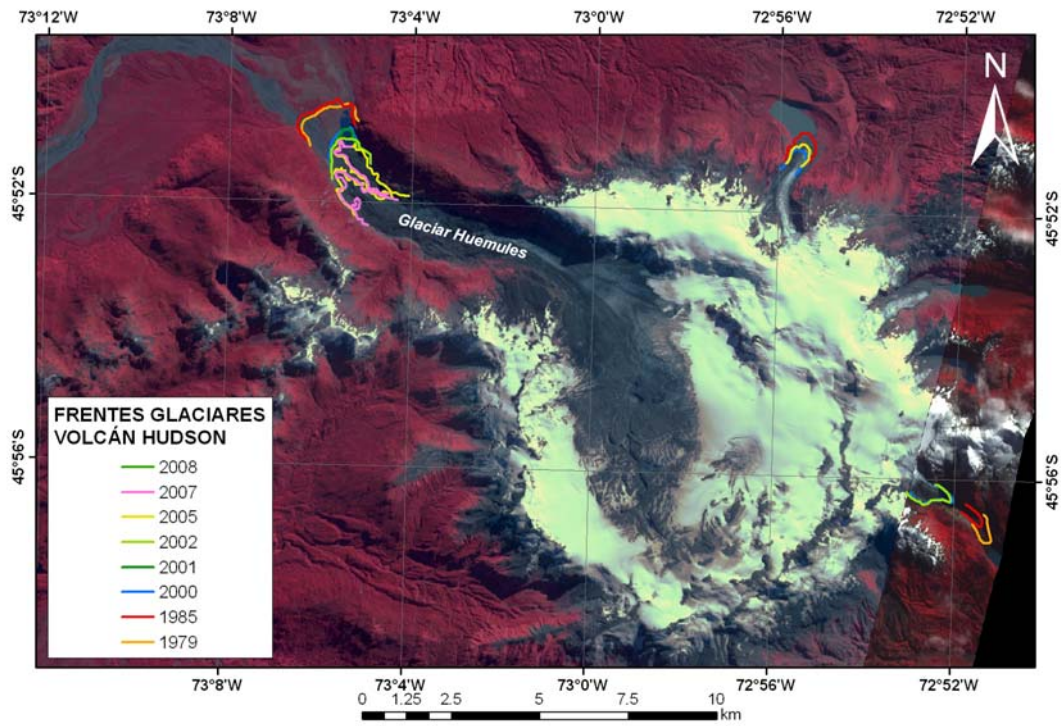


Figura 53. Variaciones del Glaciar Erasmo (Zona Sur B).

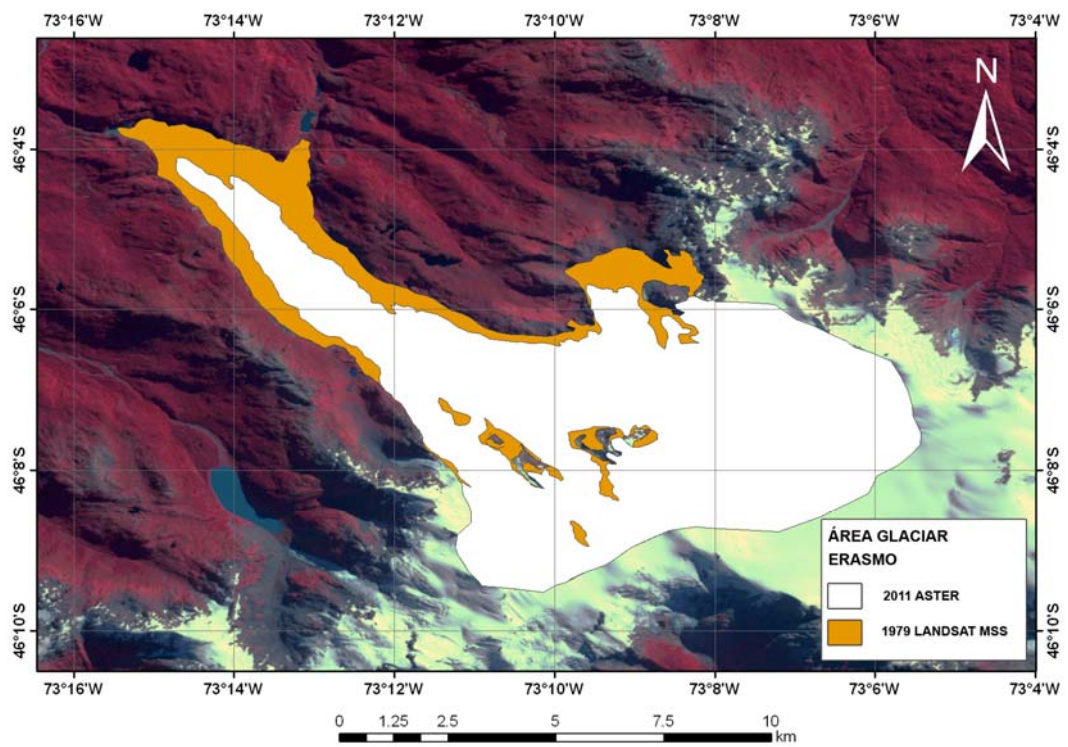


Figura 54. Variaciones de los Glaciares Reicher y Gualas (Zona Austral A).

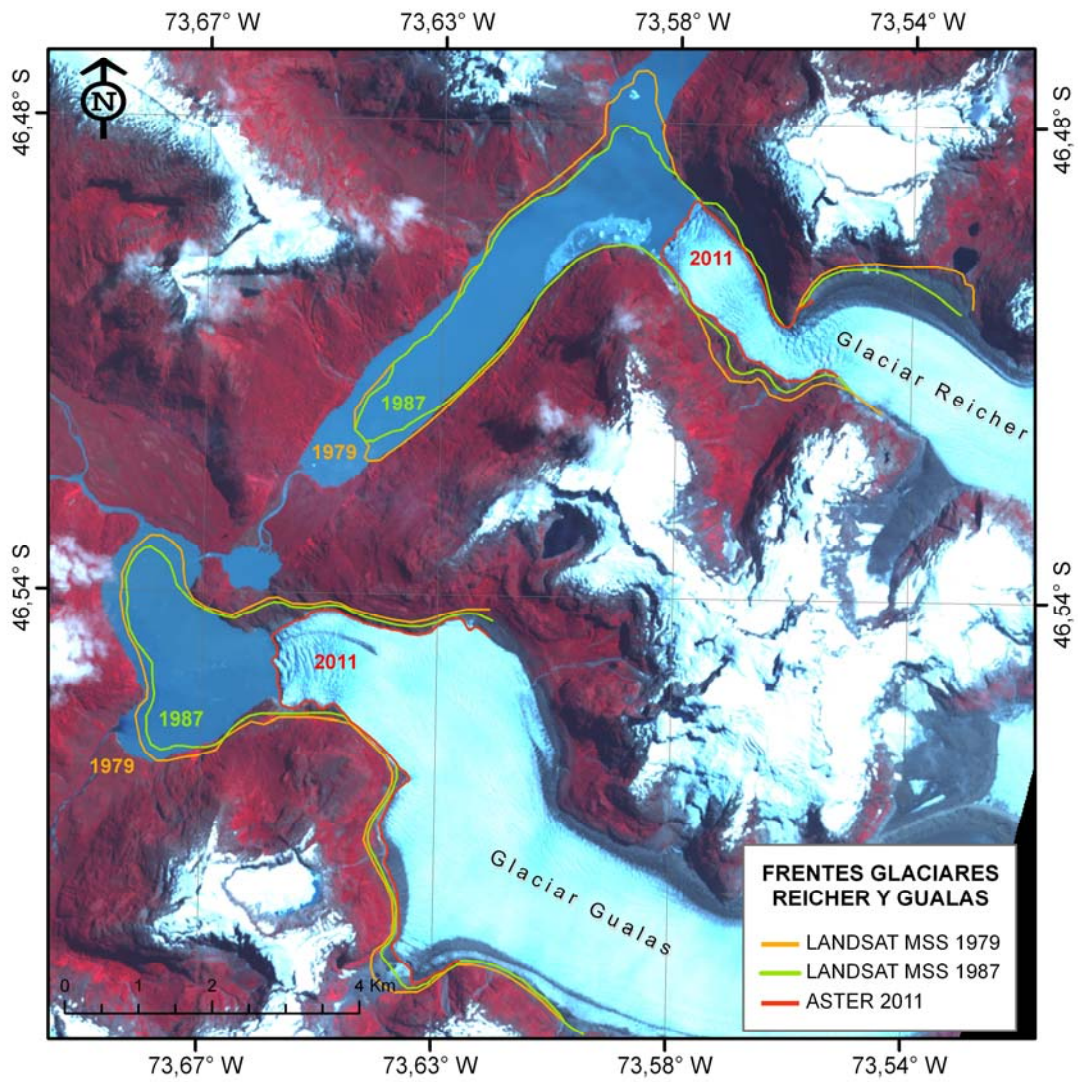


Figura 55. Variaciones del Glaciar San Rafael (Zona Austral A).

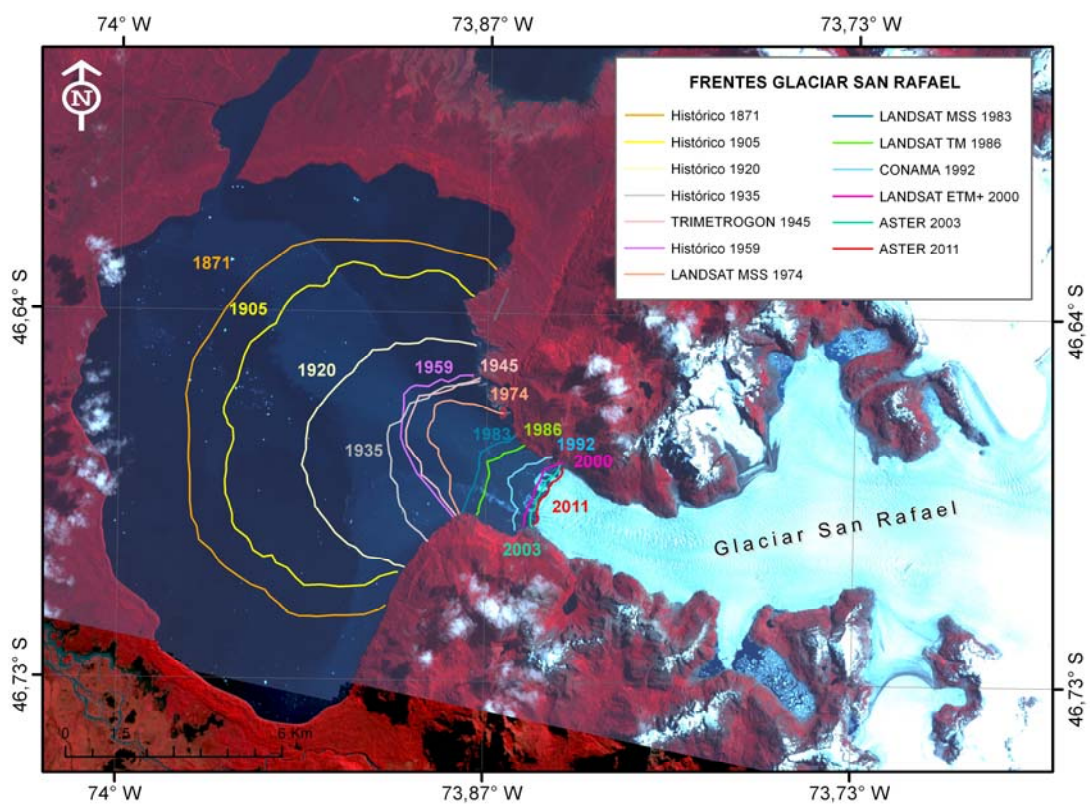


Figura 56. Variaciones del Glaciar San Quintín (Zona Austral A).

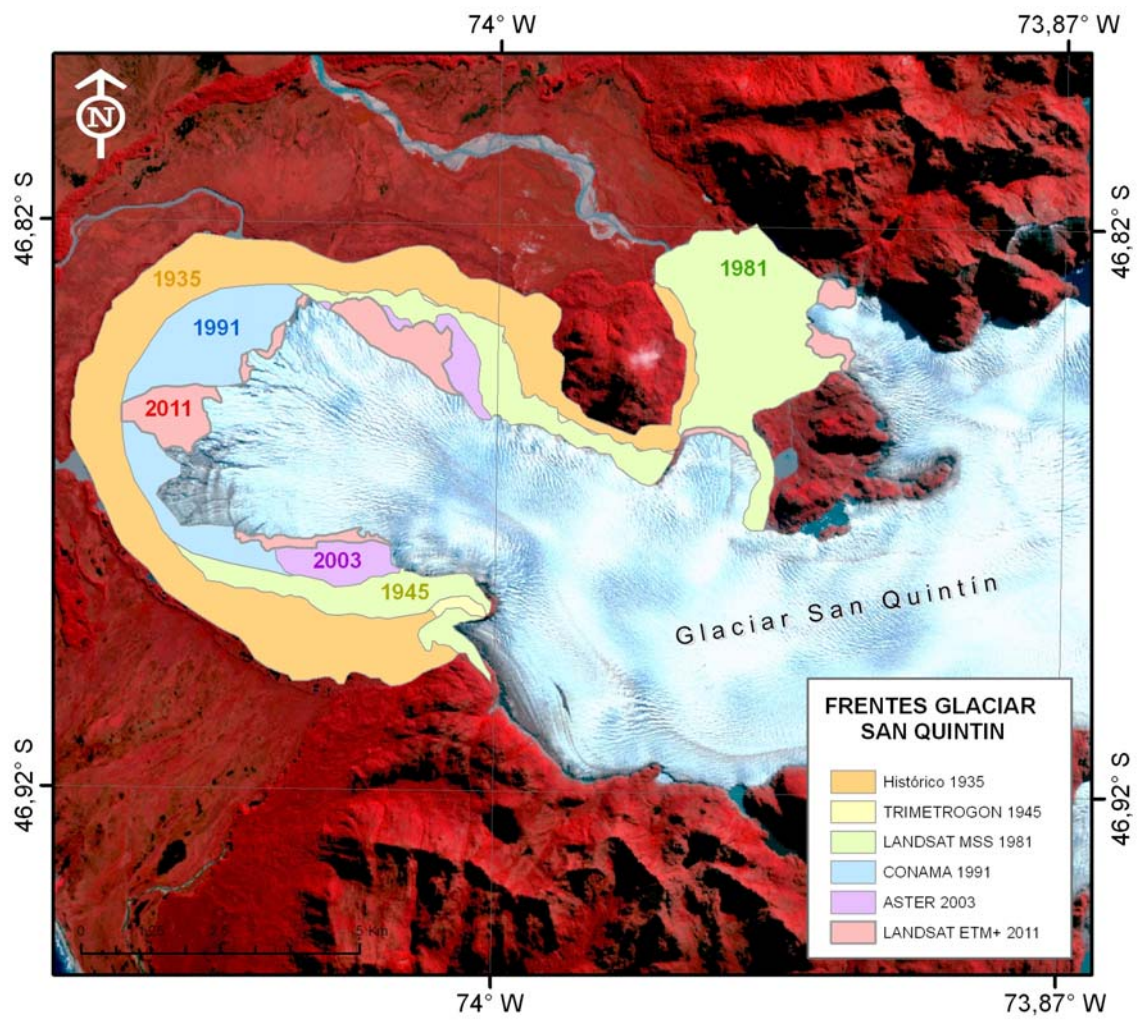


Figura 57. Variaciones de los Glaciares Nef y Colonia (Zona Austral A).

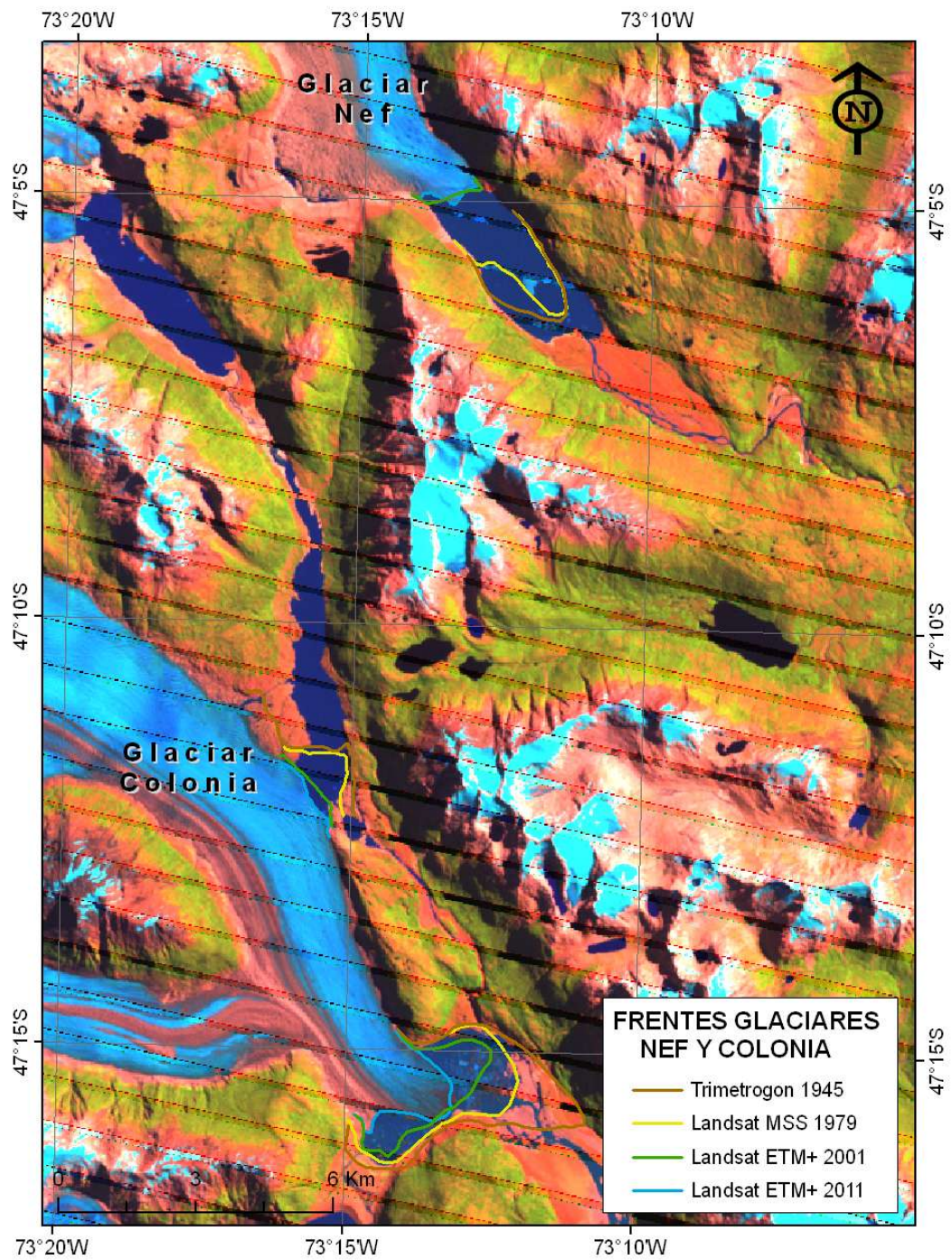


Figura 58. Variaciones del Glaciar Jorge Montt (Zona Austral A).

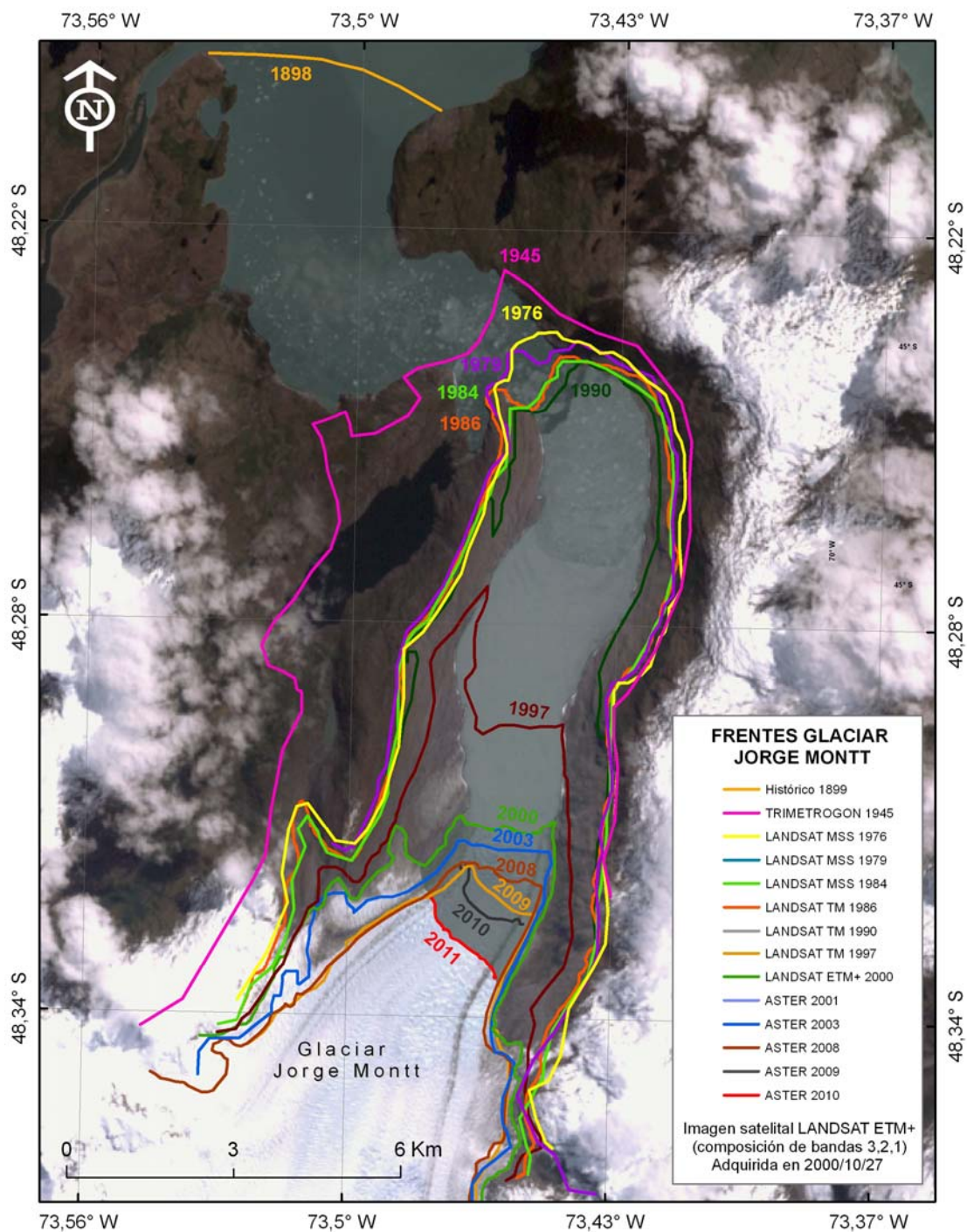


Figura 59. Variaciones de los Glaciares Bernardo y Témpanos (Zona Austral A).

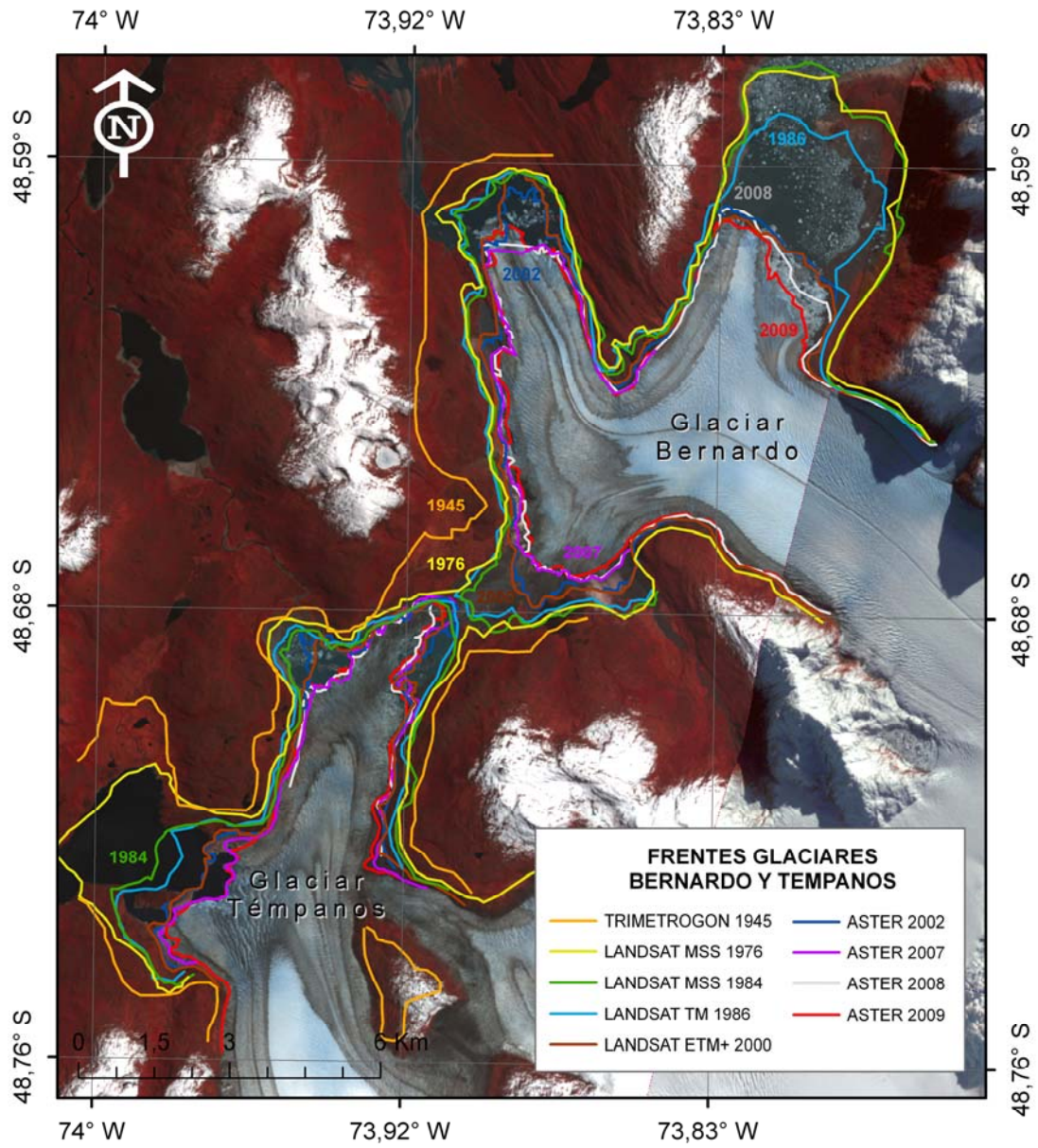


Figura 60. Variaciones de los Glaciares Occidental, Greve, HPS8, HPS9 y Pio XI (Zona Austral A).

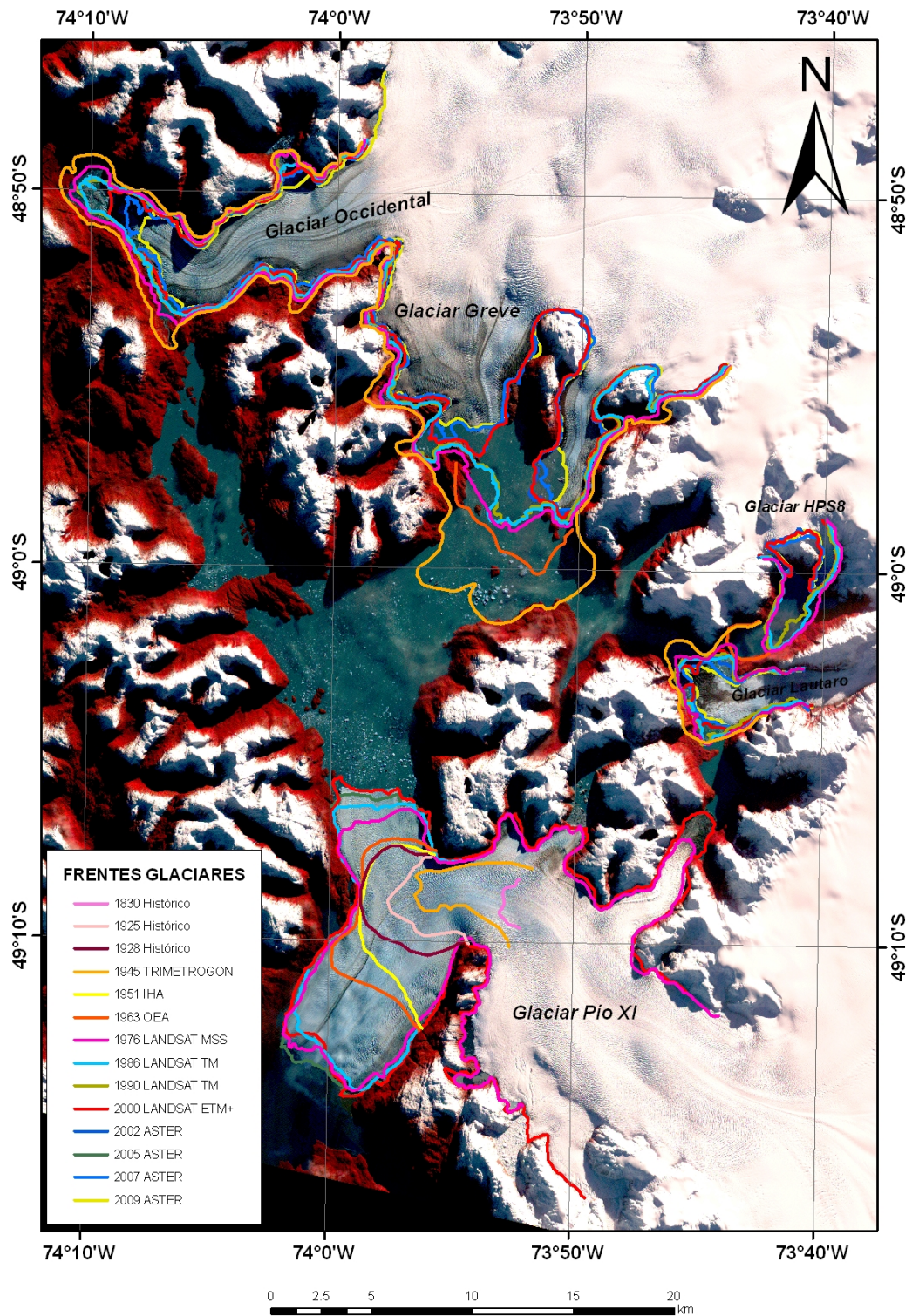


Figura 61. Variaciones de los Glaciares Europa y Guilardi (Zona Austral A).

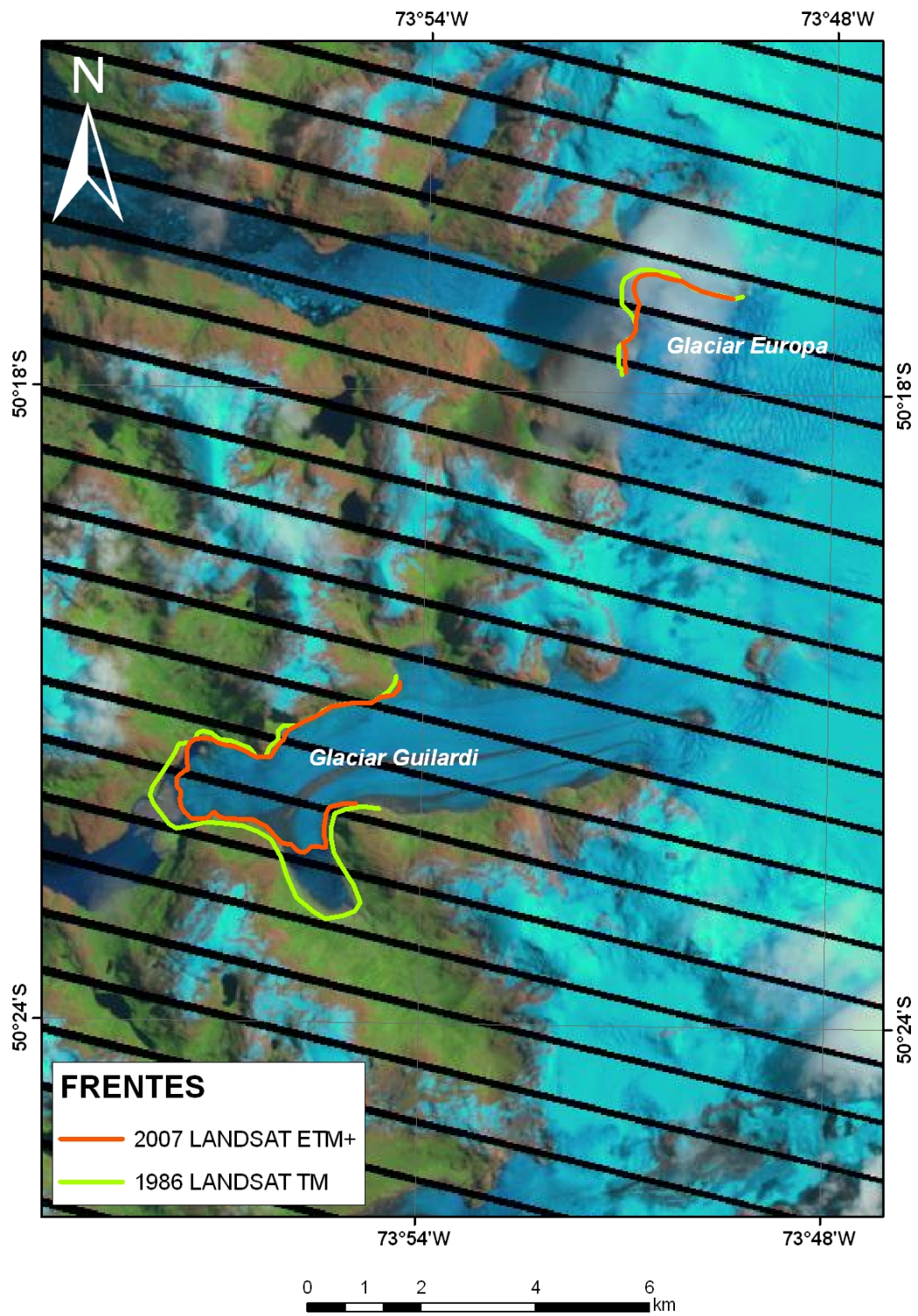


Figura 62. Variaciones del Glaciar HPS29 (Zona Austral A).

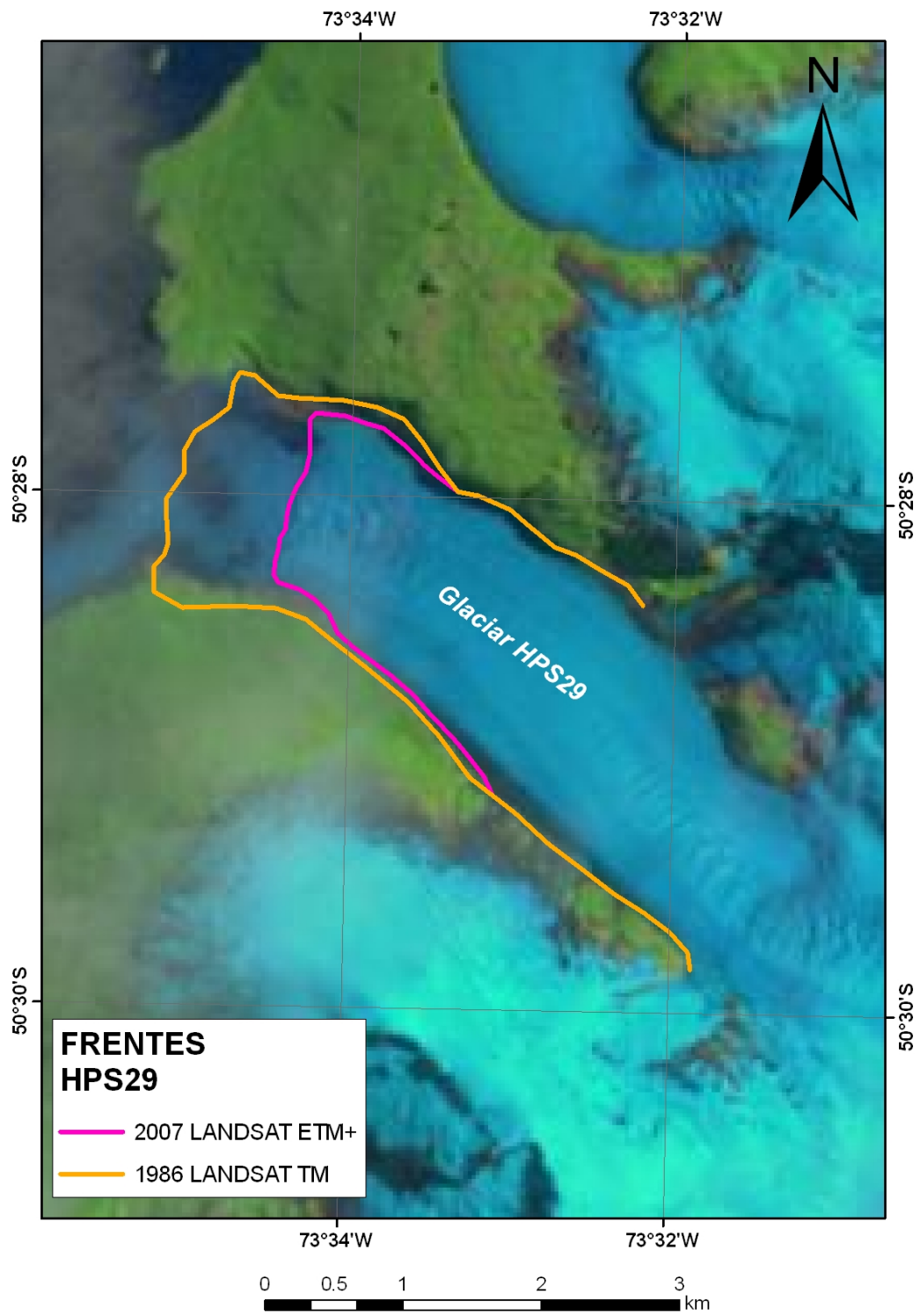


Figura 63. Variaciones del Glaciar Amalia (Zona Austral A).

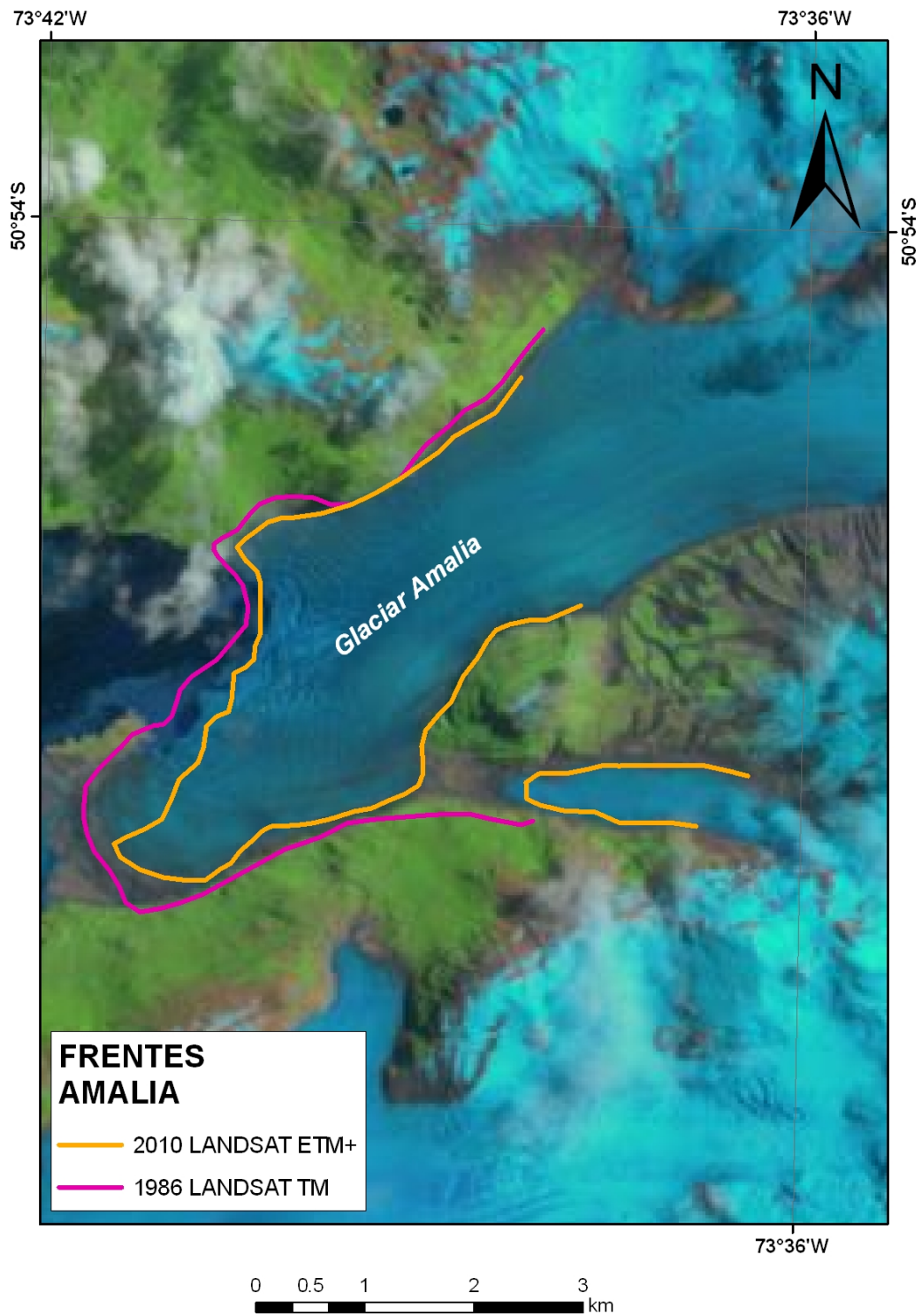


Figura 64. Variaciones del Glaciar Balmaceda (Zona Austral A).

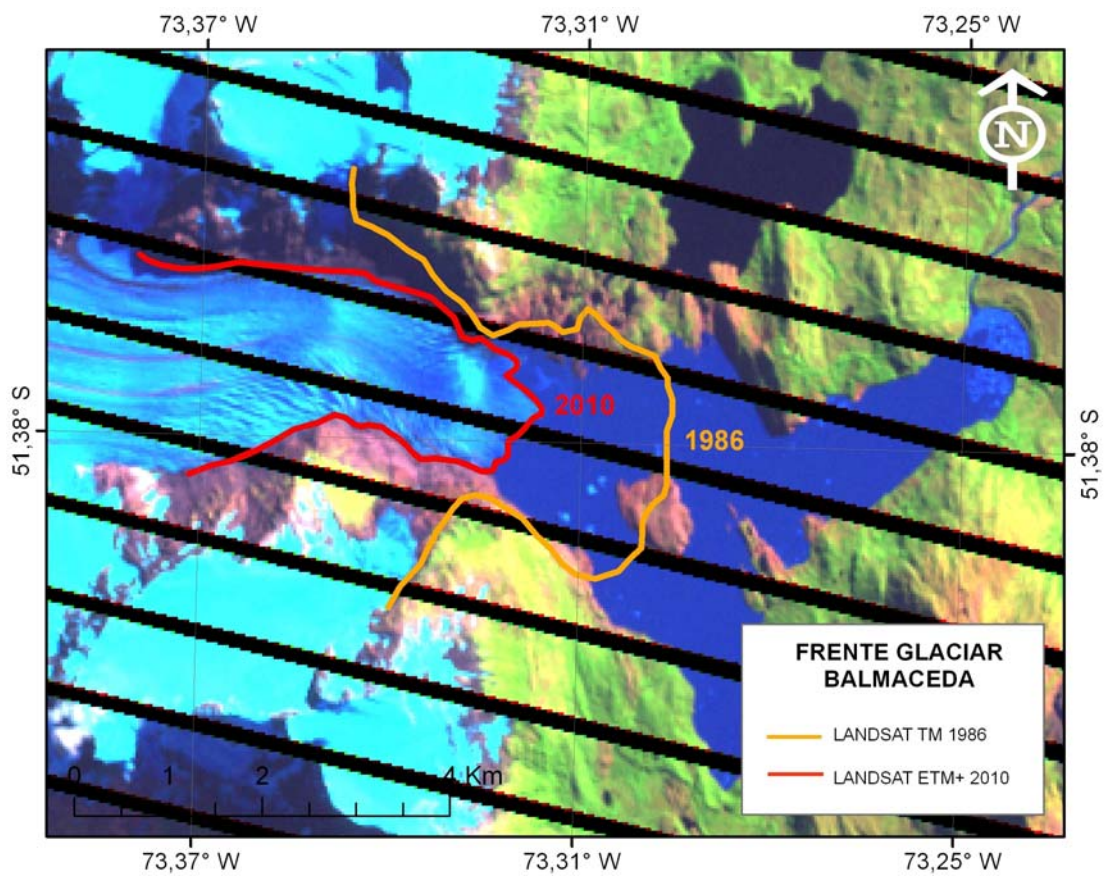


Figura 65. Variaciones del Glaciar Grey (Zona Austral A).

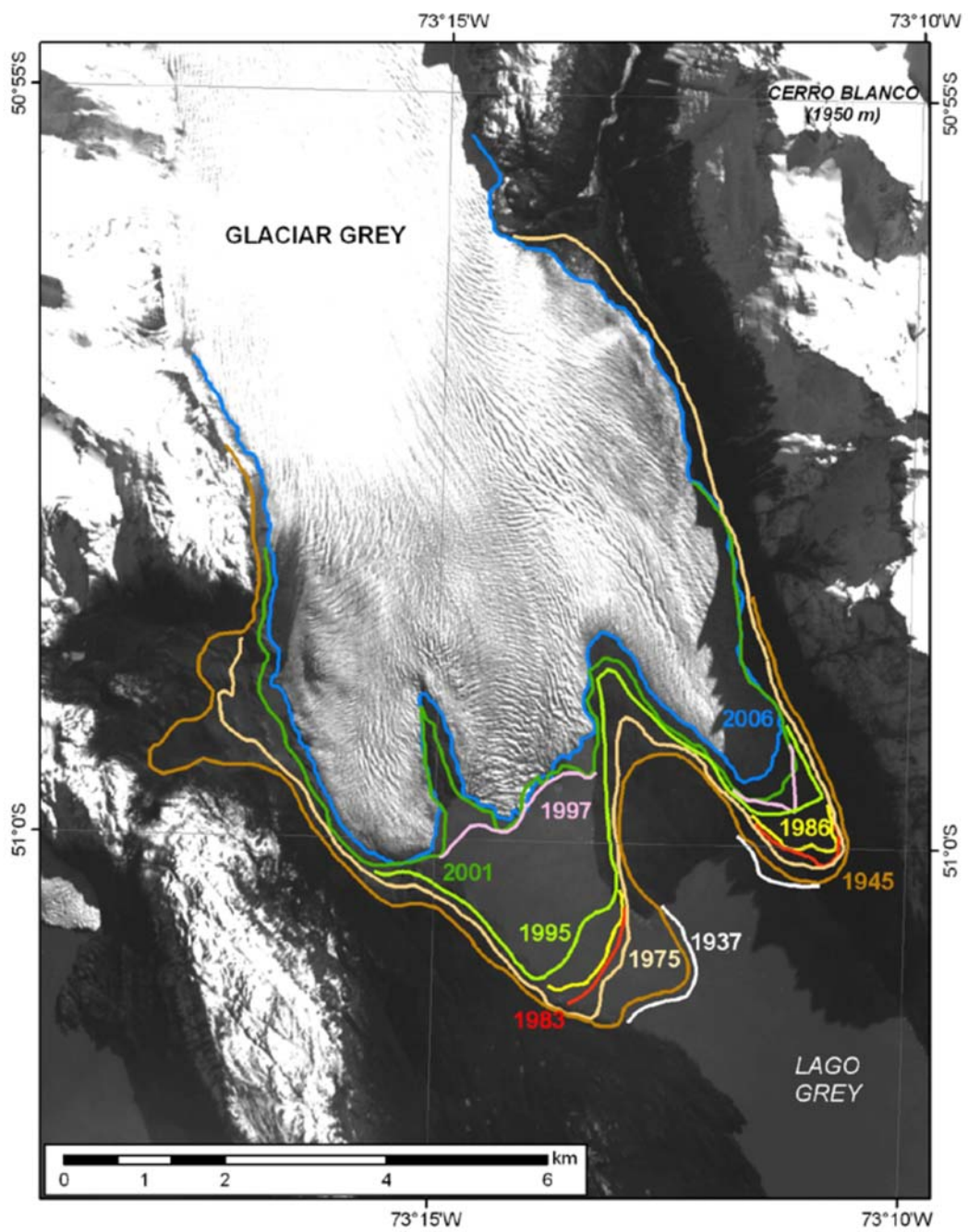


Figura 66. Variaciones del Glaciar Dickson (Zona Austral A).

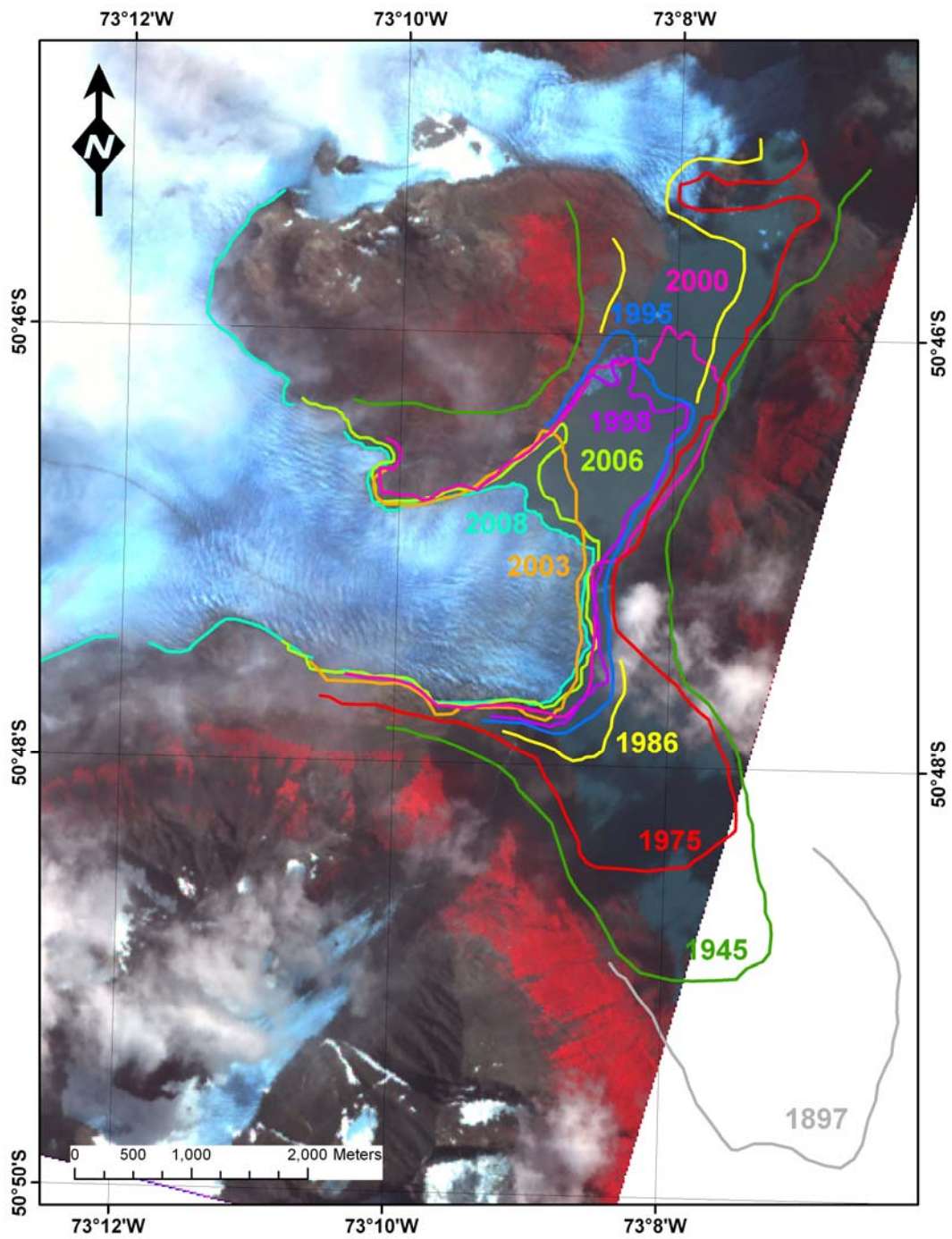


Figura 67. Variaciones de los Glaciares O'Higgins y Chico (Zona Austral A).

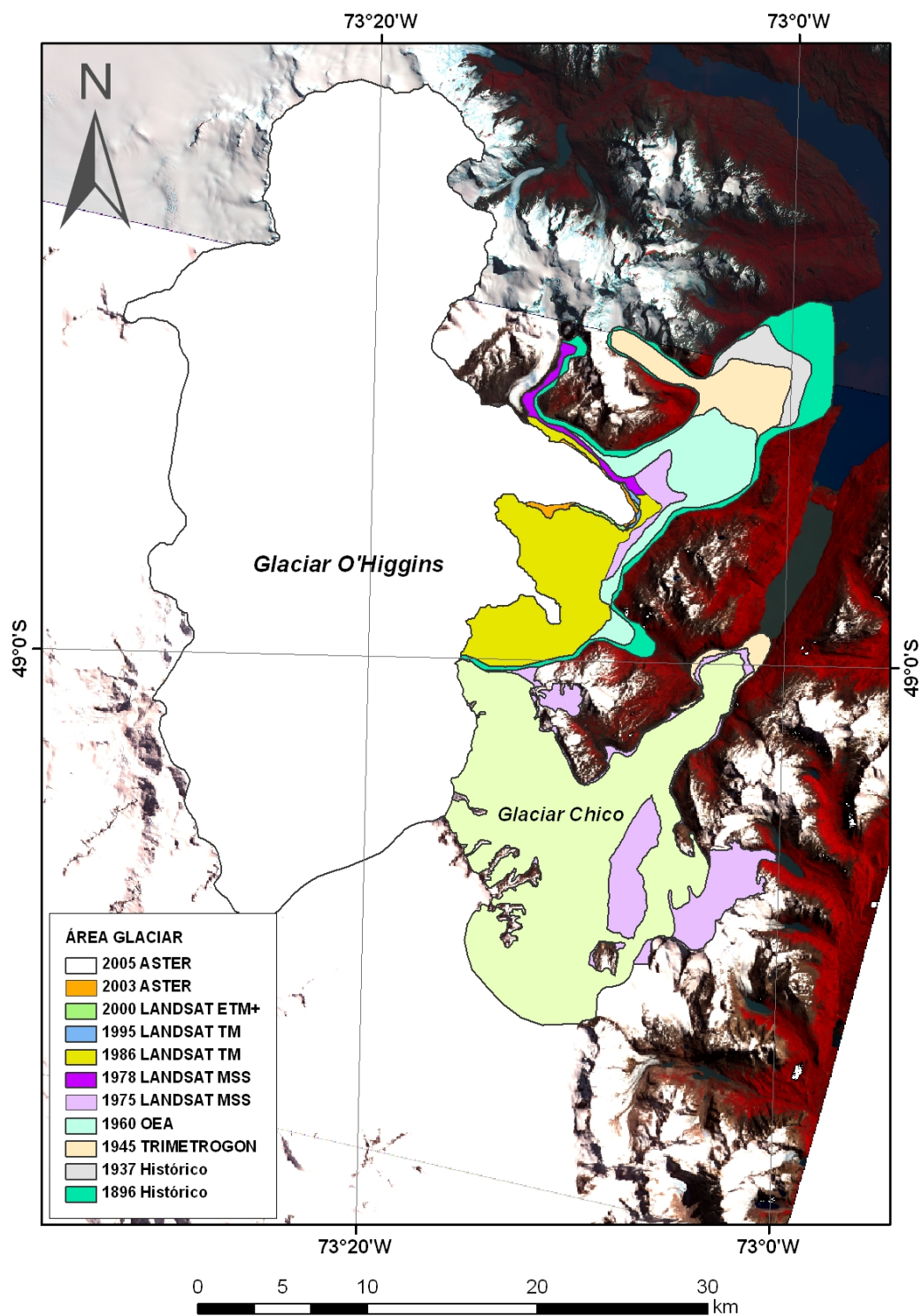


Figura 68. Variaciones del Glaciar Lucía (Zona Austral A).

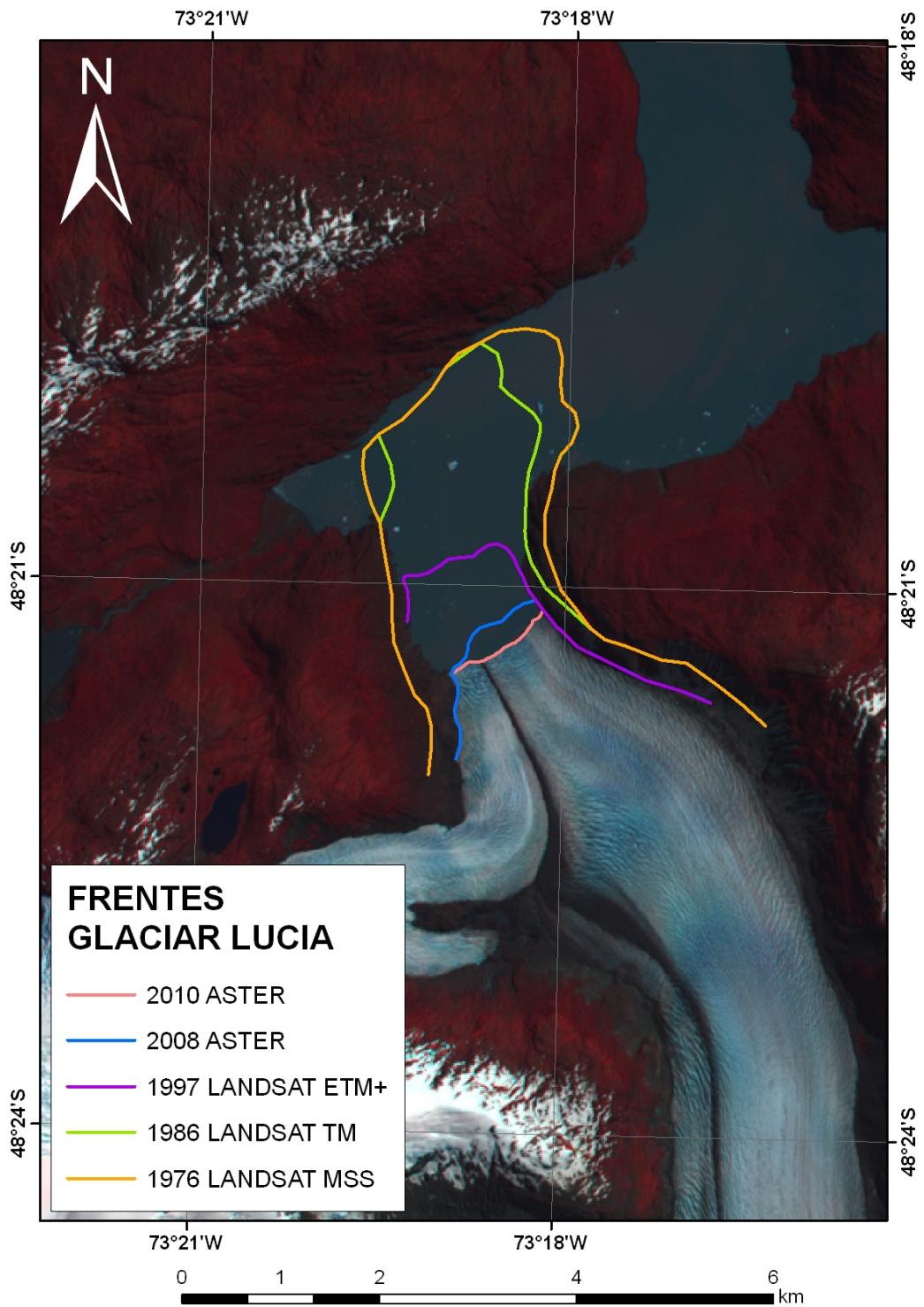


Figura 69. Variaciones de los Glaciares Schiaparelli y Conway (Zona Austral B).

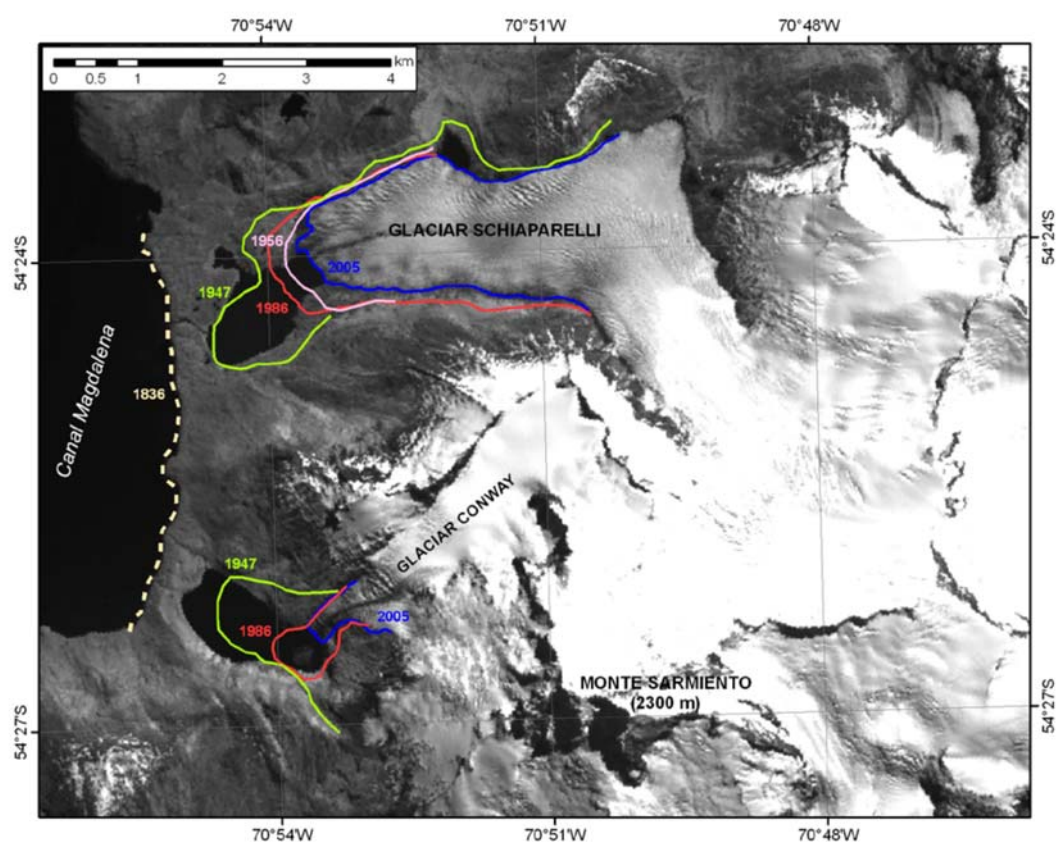


Figura 70. Variaciones del Glaciar Marinelli (Zona Austral B).

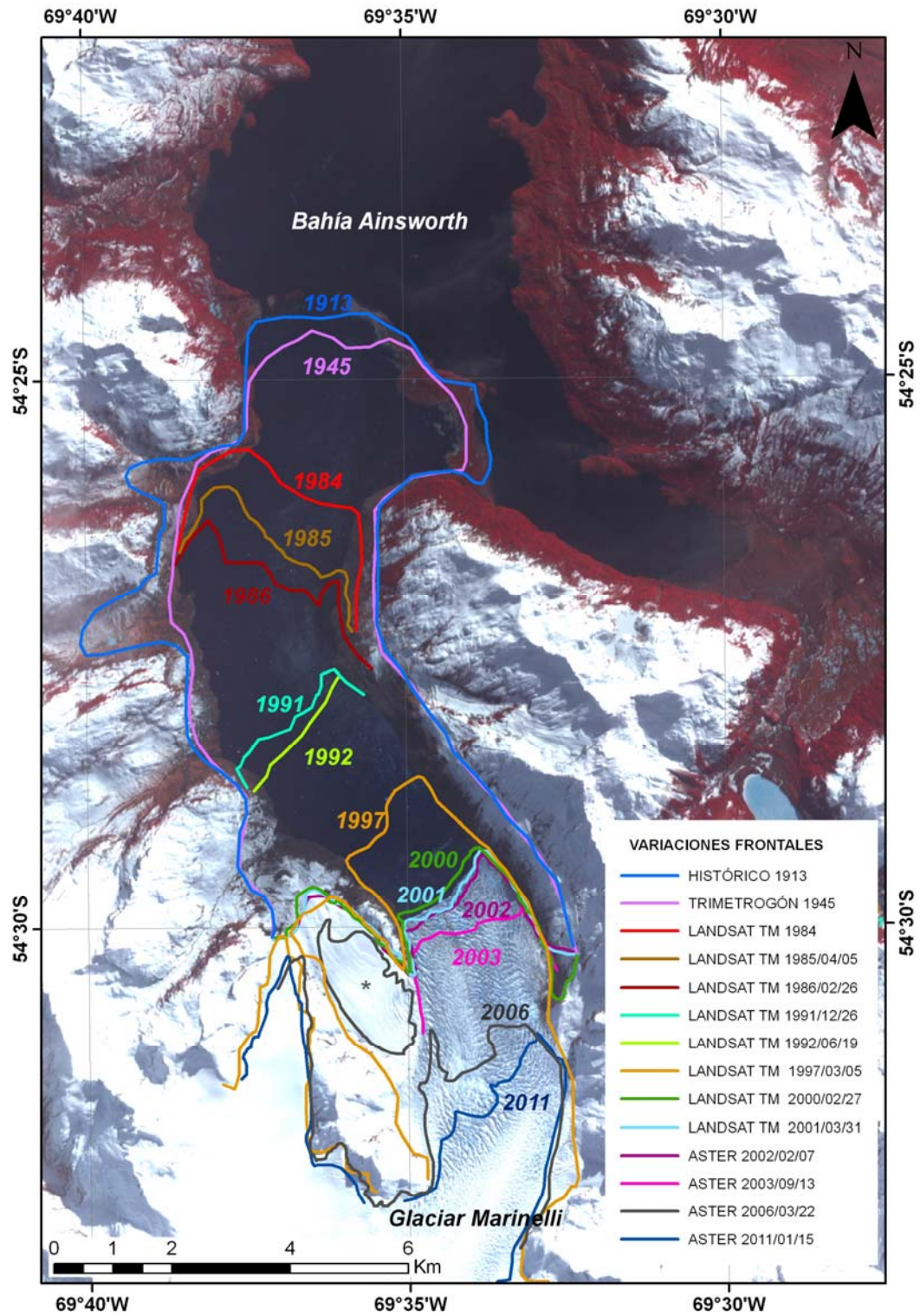


Figura 71. Variaciones del Glaciar 4 (Zona Austral B).

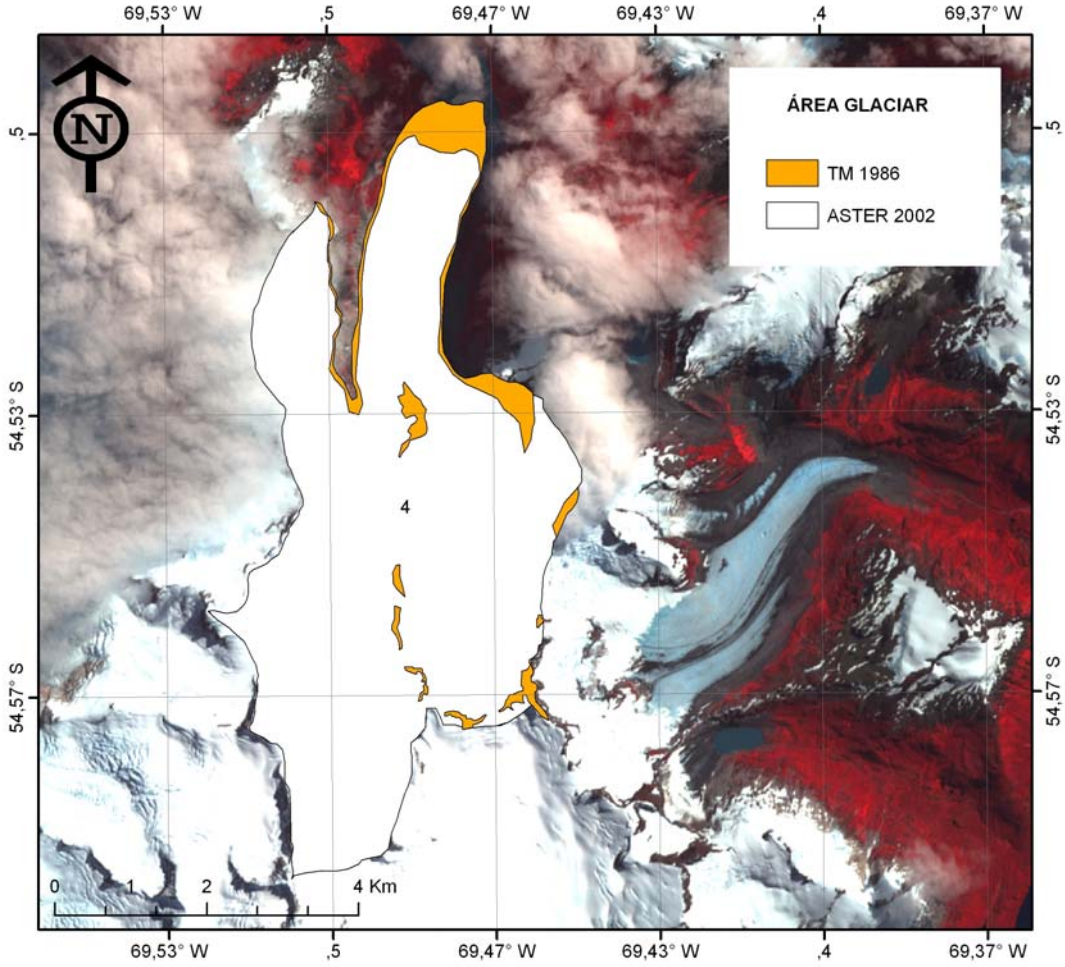


Figura 72. Variaciones del Glaciar Stoppani (Zona Austral B).

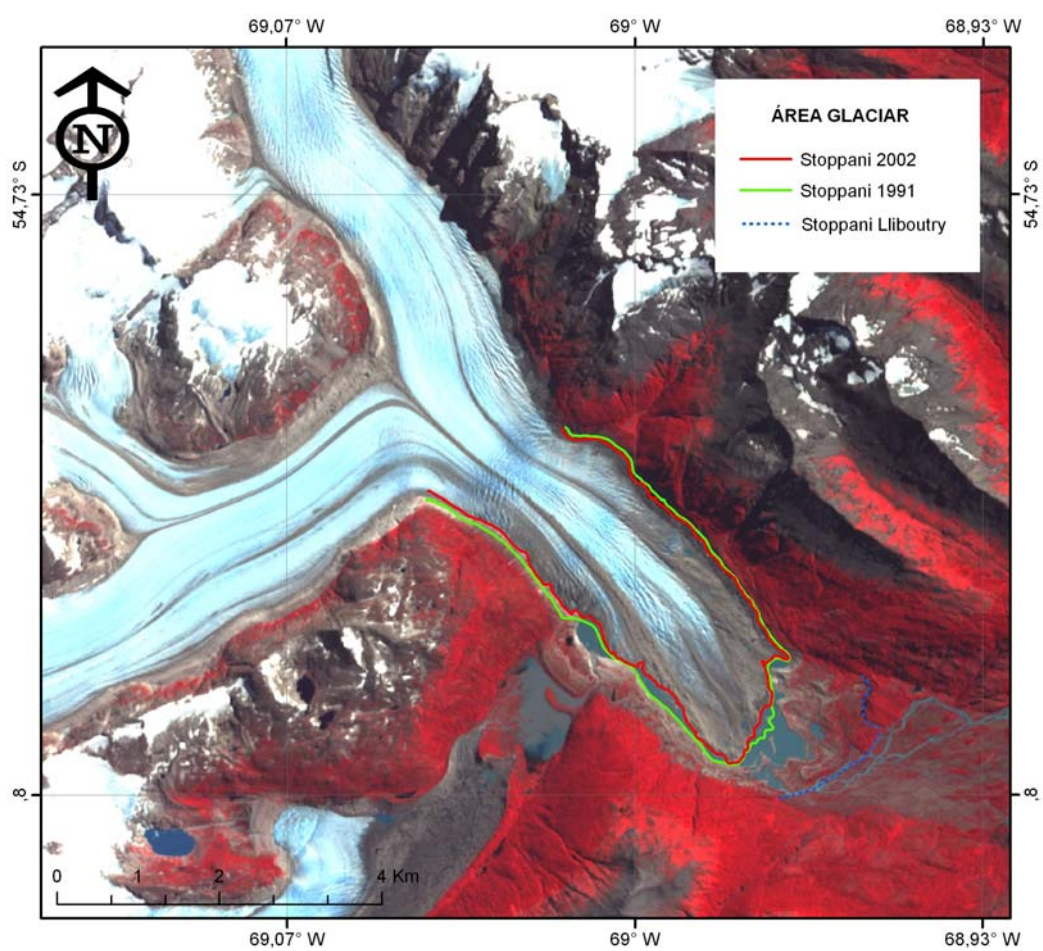


Figura 73. Variaciones del Glaciar 5 (Zona Austral B).

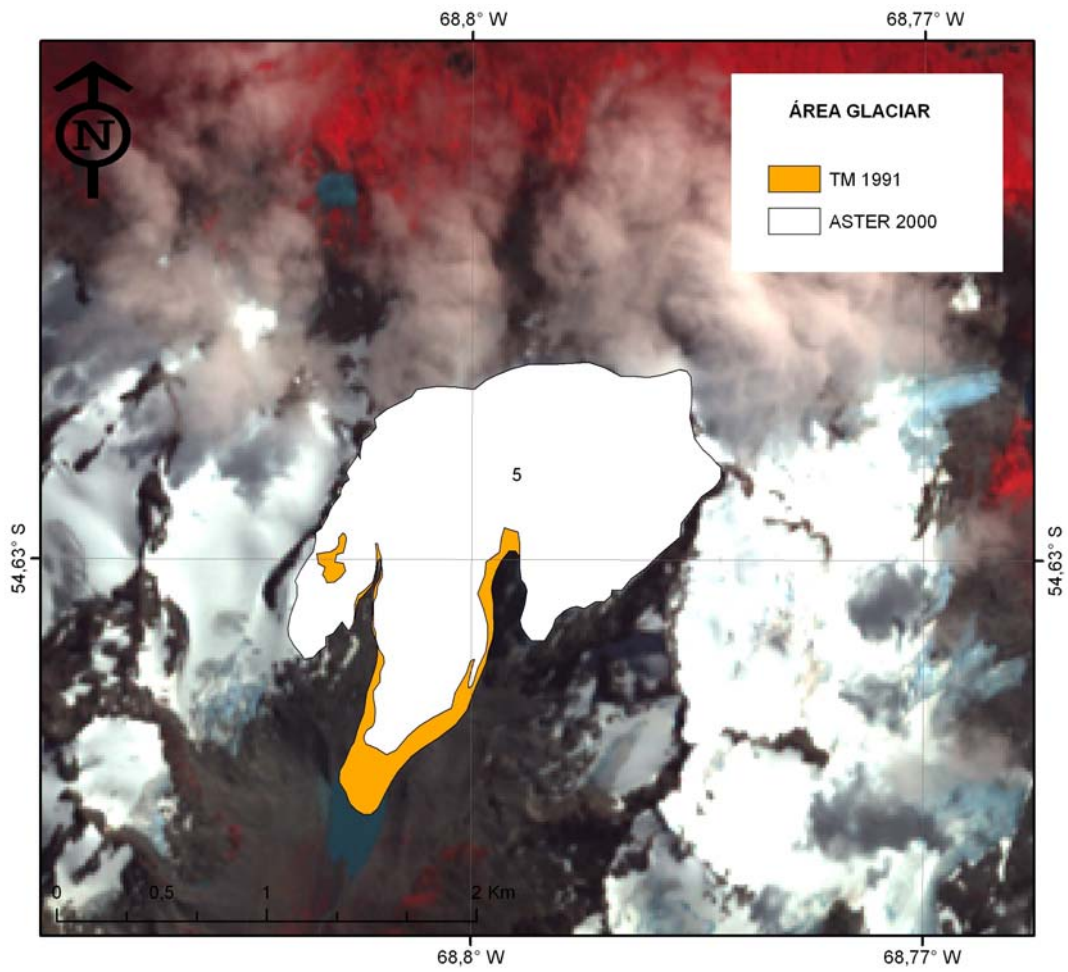


Figura 74. Variaciones del Glaciar 1 (Zona Austral B).

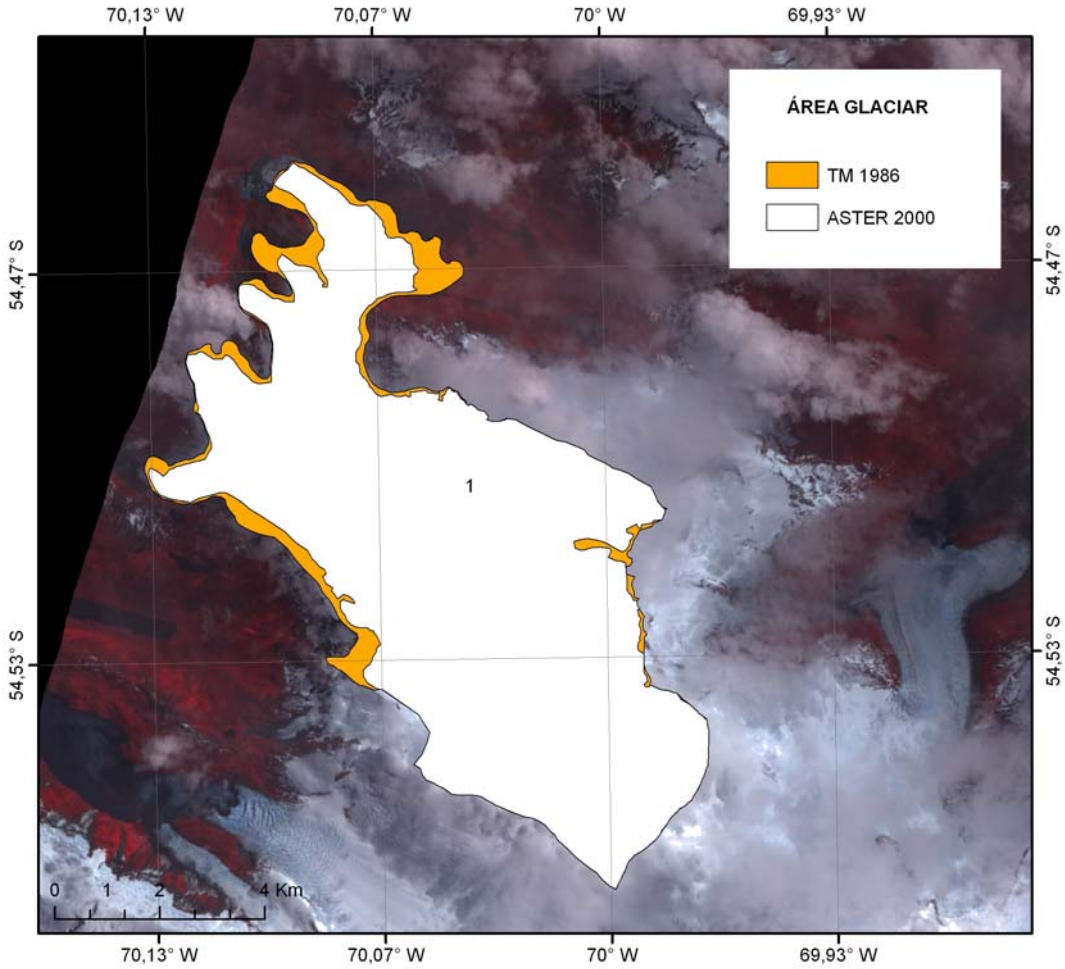


Figura 75. Variaciones de los Glaciares 15 y 16 (Zona Austral B).

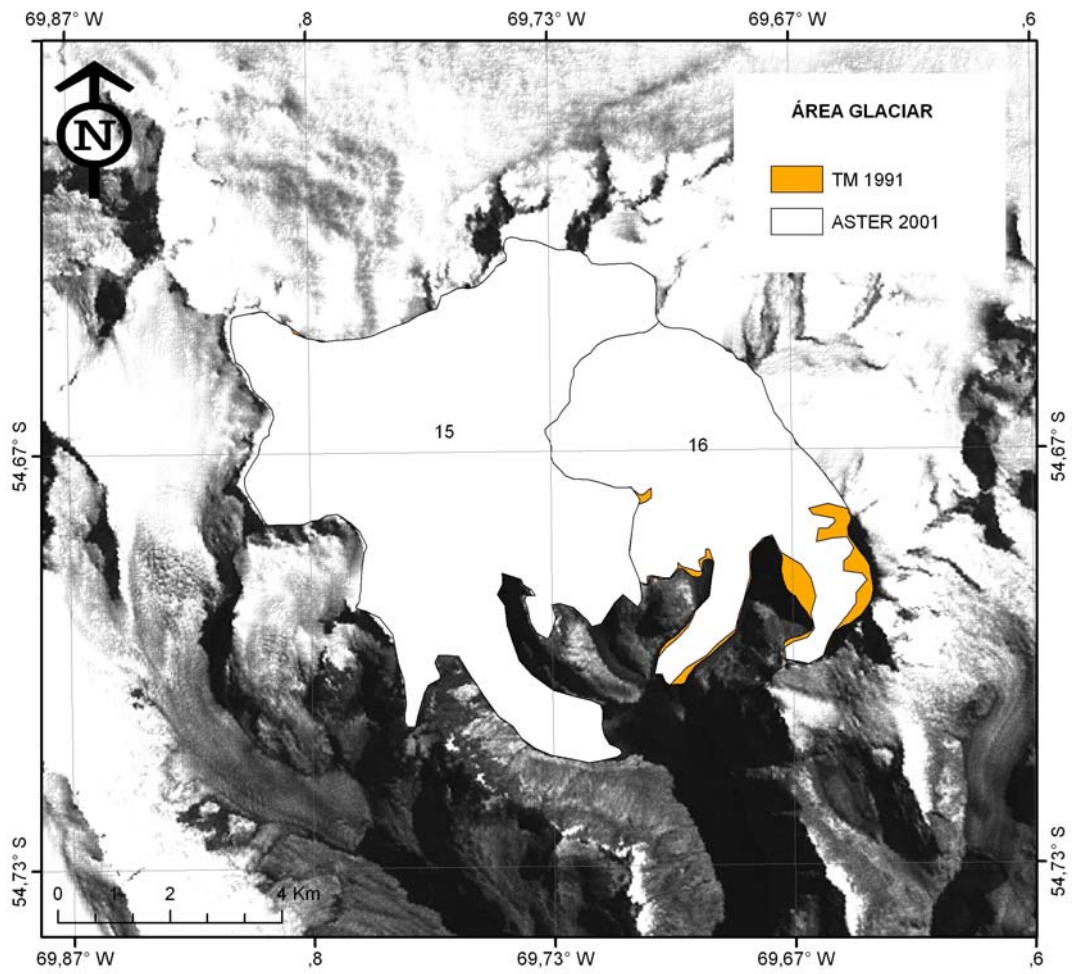


Figura 76. Variaciones del Glaciar Ventisquero (Zona Austral B).

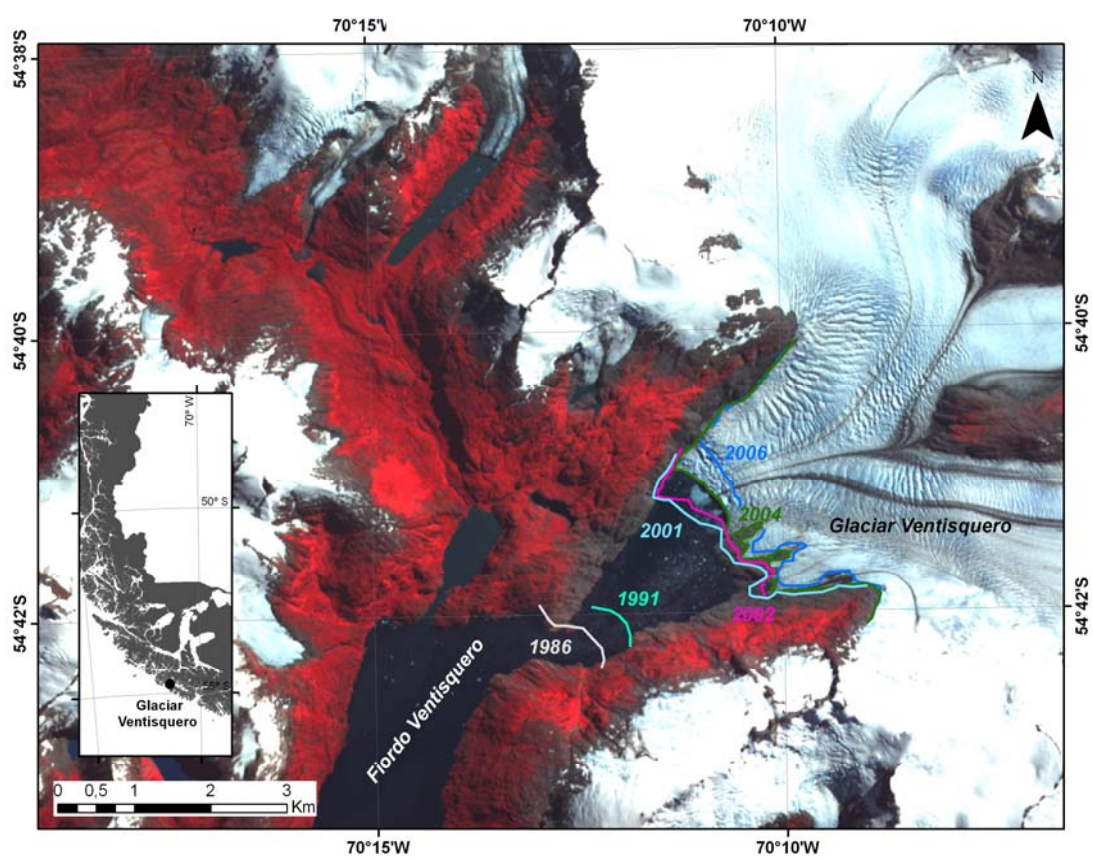


Figura 77. Variaciones del Glaciar 12 (Zona Austral B).

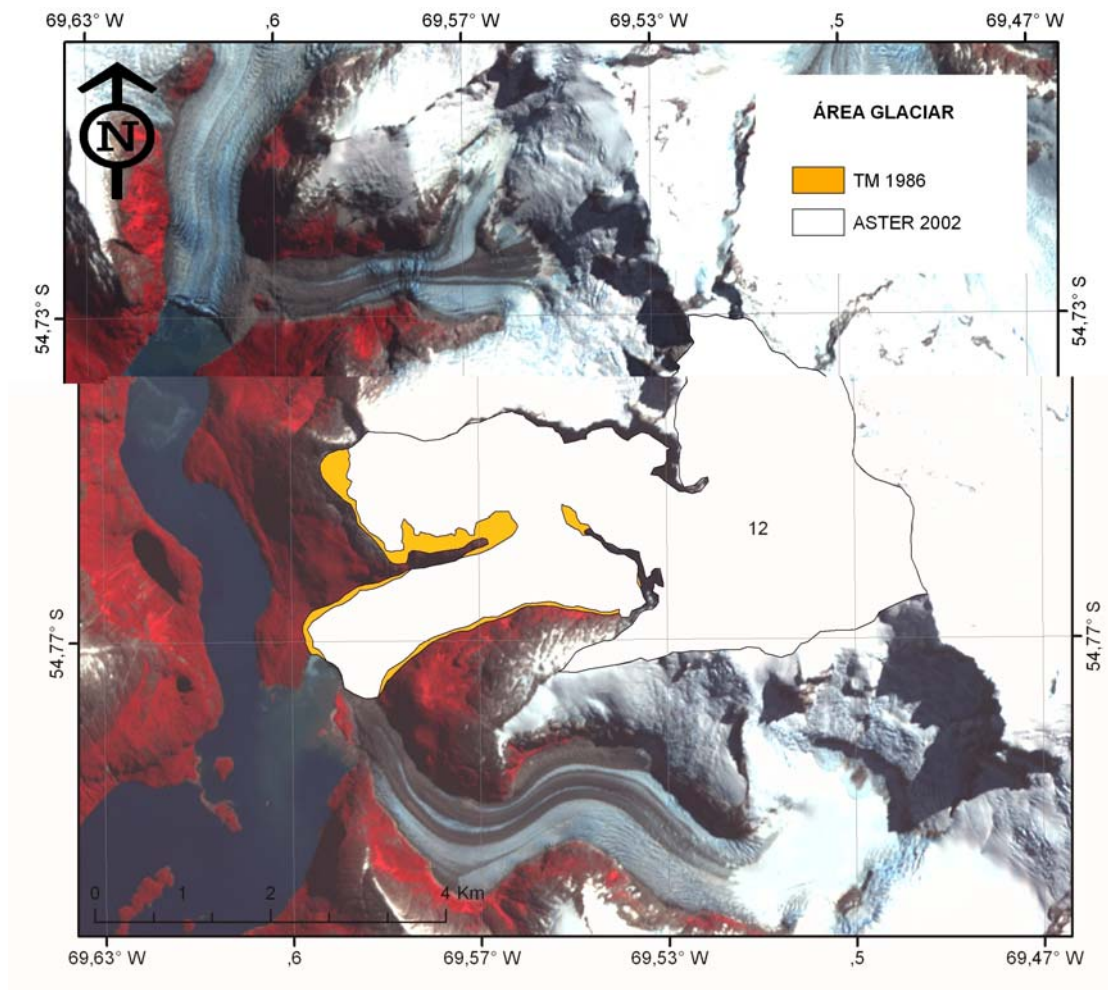


Figura 78. Variaciones de los Glaciares 7, 8, 9, Italia y Roncagli (Zona Austral B).

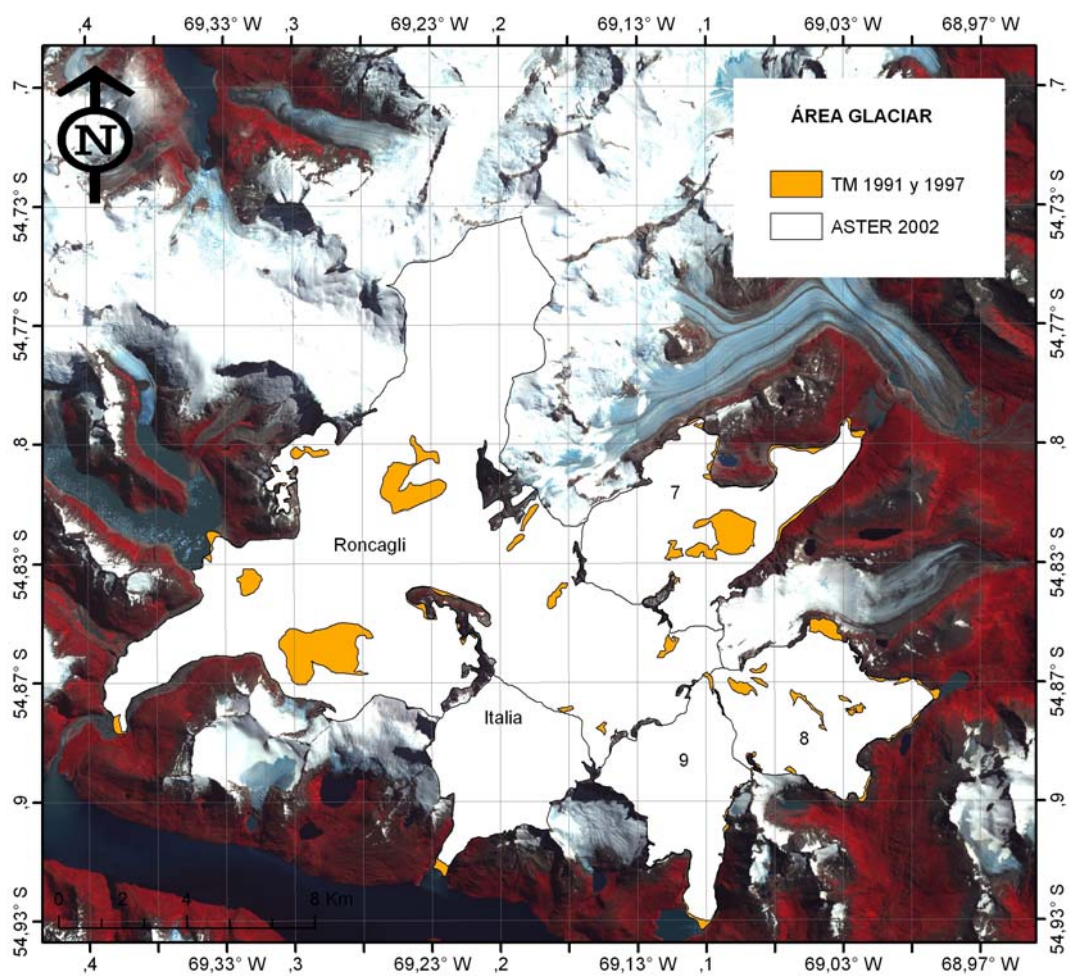


Figura 79. Variaciones del Glaciar Garibaldi (Zona Austral B).

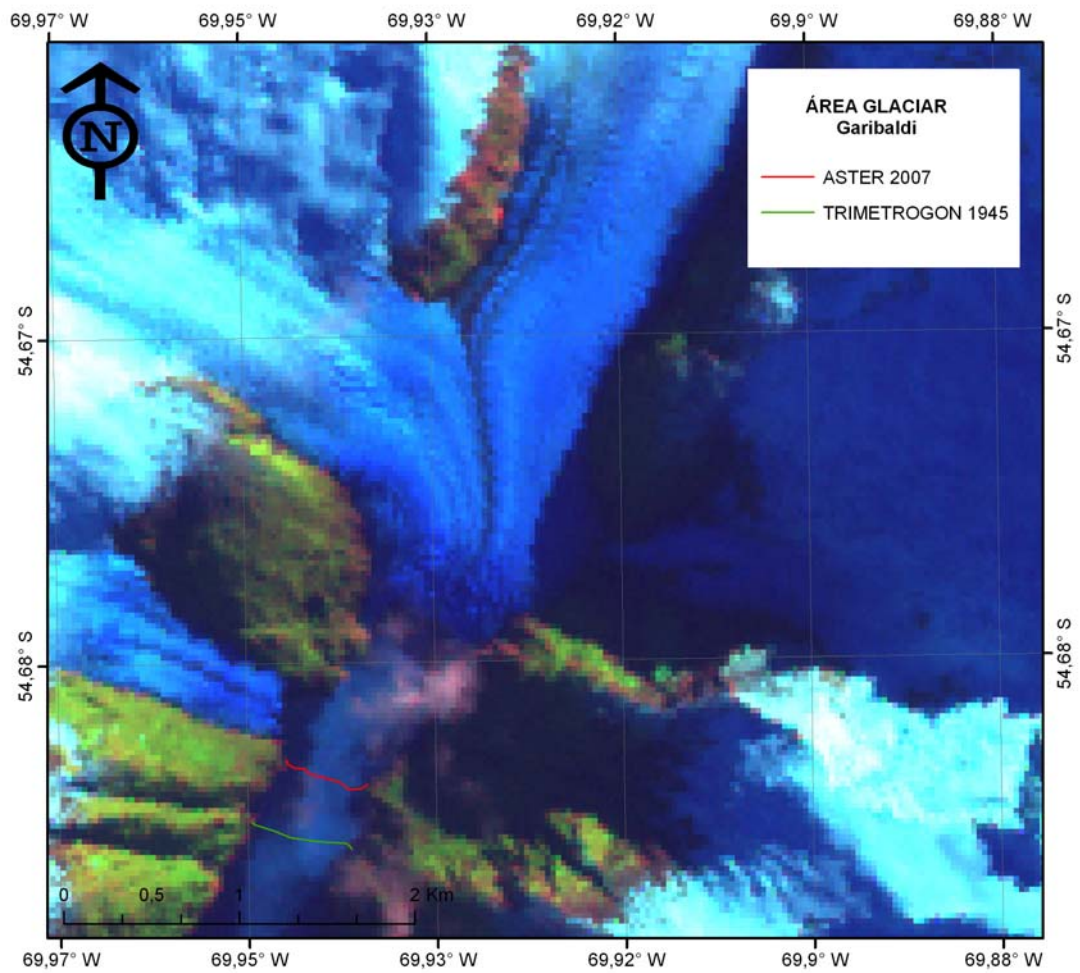
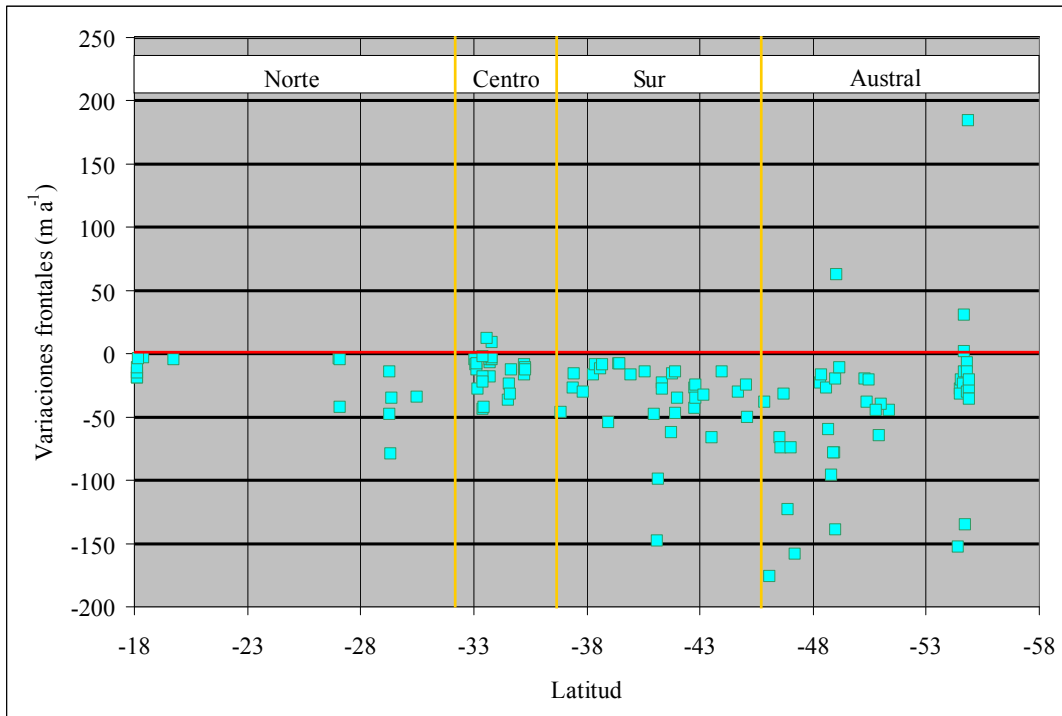


Figura 80. Síntesis de variaciones frontales en Chile



ANEXO TABLAS

Tabla 1. Características de ASTER (Abrams *et al.*, 2002).

Subsistema	Banda	Rango espectral (μm)	Resolución espacial (m)	Niveles de cuantificación
VNIR	1	0,52 – 0,60	15	8 bits
	2	0,63 – 0,69		
	3N	0,78 – 0,86		
	3B	0,78 – 0,86		
SWIR	4	1,60 – 1,70	30	8 bits
	5	2,145 – 2,185		
	6	2,185 – 2,225		
	7	2,235 – 2,285		
	8	2,295 – 2,365		
	9	2,360 – 2,430		
TIR	10	8,125 – 8,475	90	12 bits
	11	8,475 – 8,825		
	12	8,925 – 9,275		
	13	10,25 – 10,95		
	14	10,95 – 11,65		

Tabla 2. Características de Landsat MSS

Banda (Landsat MSS 1-3)	Banda (Landsat MSS 4 y 5)	μm
4	~ 2 (0,52–0,60 μm)	0,5-0,6
5	~ 3 (0,63–0,69 μm)	0,6-0,7
6	~ 4 (0,76–0,90 μm)	0,7-0,8
7	~ 4	0,8-1,1
8	~ 6 (2,08–2,35 μm)	10,41-12,6

Tabla 3. Características de Landsat TM y ETM+

Satélite	Sensor	Resolución Espacial (m)	Bandas
Landsat 5	TM	30	1: 0,45-0,52 2: 0,52-0,60 3: 0,63-0,69 4: 0,76-0,90 5: 1,55-1,75
		120	6: 10,40-12,15
Landsat 7	ETM+	30	1: 0,45-0,515 2: 0,52-0,605 3: 0,63-0,69 4: 0,75-0,90 5: 1,55-1,75
		60	6: 10,4-12,5
		15	8: 0,52-0,9

Tabla 4. Resolución y error de imágenes utilizadas

Imagen	Resolución Espacial	Precisión posicional en m
MSS	68 x 83 m (*)	< 100
TM	30 x 30 m	< 50
ETM+	30 x 30 m	< 50
ASTER	15 x 15 m (Modulo VNIR)	< 25

(*) La resolución espacial del sensor Landsat MSS por lo general está resamplado a 57 m después de los procesos de orto-rectificación realizados por el GLCF (*Global Land Cover Facility*) (<http://www.glcg.umd.edu/data/landsat/>).

Tabla 5. Programas computacionales utilizados.

Nombre	Tipo	Versión
ArcGIS Desktop	Sistema de Información Geográfica (SIG)	10
ENVI	Procesador de Imágenes / Percepción Remota (PR)	4,7
Erdas Imagine	Procesador de Imágenes / Percepción Remota (PR)	8,4
Global Mapper	Sistema de Información Geográfica (SIG)	11

Tabla 6A. Variaciones areales (km² a⁻¹) de glaciares Zonas Norte, Centro y Sur A

Zona	Centro Montañoso/Glaciario	N° Glaciares	Área (km ²)		Variación Areal	Tasa Variación Areal	Variación	Período
			Inicial	Final	(km ²)	(km ² a ⁻¹)	(%)	
NORTE A	Vn. Pomerape	5	9,38	4,88	-4,50	-0,13	-47	1972-2007
	Vn. Guallatiri	3	8,99	2,62	-6,37	-0,17	-71	1972-2010
	Vn. Parinacota	5	11,61	8,18	-3,43	-0,09	-30	1972-2007
	Vn. Sillajuay	3	5,32	1,22	-4,10	-0,11	-77	1972-2008
	Cerro El Muerto	2	4,05	1,41	-2,64	-0,10	-65	1976-2003
	Ojos del Salado	7	14,86	6,76	-8,10	-0,30	-54	1976-2003
	Nevado Tres Cruces	5	6,15	1,71	-4,44	-0,16	-72	1976-2008
NORTE B	Tronquitos	1	4,60	2,78	-1,82	-0,04	-40	1955-2005
	Estrecho	1	1,65	1,25	-0,40	-0,01	-24	1976-2010
	Guanaco	1	2,11	1,74	-0,37	-0,01	-18	1976-2010
	Ortigas 1	1	1,15	0,81	-0,34	-0,01	-30	1976-2010
	Ortigas 2	1	0,97	0,71	-0,26	-0,01	-27	1976-2010
	Tapado	1	3,60	1,20	-2,40	-0,05	-67	1955-2005
NORTE C	Cerro Volcán	1	0,43	0,29	-0,14	-0,01	-33	1990-2011
CENTRO	Monos de Agua	1	2,51	1,96	-0,55	-0,02	-22	1989-2011
	Juncal Norte	1	7,37	7,22	-0,15	-0,003	-2	1955-2011
	Juncal Sur	1	33,50	21,98	-11,52	-0,20	-34	1955-2011
	Olivares Alfa	1	8,92	6,10	-2,82	-0,11	-32	1986-2011
	Olivares Beta	1	13,69	8,56	-5,13	-0,09	-37	1955-2011
	Olivares Gama	1	15,76	12,52	-3,24	-0,06	-20	1955-2011
	Vn. Marmolejo	3	24,94	14,65	-10,29	-0,43	-41	1986-2010
	Vn. San José	2	9,23	8,00	-1,23	-0,05	-13	1986-2010
	Vn. Tupungatito	5	30,17	26,40	-3,77	-0,16	-13	1986-2010
	La Paloma	1	2,47	2,17	-0,30	-0,02	-12	1989-2007
	El Rincón	1	0,70	0,80	0,10	0,005	14	1989-2007
	Cipreses	1	38,81	38,10	-0,71	-0,01	-2	1842-2007
	Universidad	1	31,66	29,67	-1,99	-0,03	-6	1945-2011
	Vn. Peteroa	3	11,29	3,71	-7,58	-0,29	-67	1985-2011
Vn. Azufre	2	8,83	5,21	-3,62	-0,14	-41	1985-2011	
SUR A	Nevados de Chillán	25	16,02	2,73	-13,29	-0,37	-83	1975-2011
	Vn. Antuco	3	3,56	1,58	-1,98	-0,08	-56	1985-2011
	Sierra Velluda	9	18,58	11,72	-6,86	-0,26	-37	1985-2011
	Vn. Callaqui	7	13,60	7,19	-6,41	-0,18	-47	1975-2011
	Vn. Tolhuaca	6	5,21	2,72	-2,49	-0,05	-48	1961-2010
	Vn. Lonquimay	5	2,75	0,74	-2,01	-0,04	-73	1961-2011
	Sierra Nevada	9	11,78	6,96	-4,82	-0,09	-36	1961-2010
	Vn. Llaima	5	29,74	8,35	-21,39	-0,44	-72	1969-2010

Tabla 6A. Variaciones areales ($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$) de glaciares Zonas Norte, Centro y Sur A (continuación)

Zona Glaciológica	Centro Montañoso/Glaciár	N° Glaciares	Área (km^2)		Variación Areal	Tasa Variación Areal	Variación	Período
			Inicial	Final	(km^2)	($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$)	(%)	
SUR A	Nevados de Sollipulli	1	19,56	11,47	-8,09	-0,16	-41	1961-2011
	Vn. Villarrica	5	38,91	29,52	-9,39	-0,19	-24	1961-2007
	Vn. Mocho	4	27,41	17,72	-9,69	-0,23	-35	1976-2011
	Vn. Puyehue	1	3,17	2,71	-0,46	-0,02	-15	1985-2011
	Vn. Puntagudo	6	3,06	2,40	-0,66	-0,04	-22	1987-2005
	Vn. Osorno	1	11,94	5,97	-5,97	-0,12	-50	1961-2011

Tabla 6B. Variaciones areales ($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$) de glaciares Zonas Sur B y Austral

Zona Glaciológica	Centro Montañoso/Glaciár	Nº Glaciares	Área (km^2)		Variación Areal	Tasa Variación Areal	Variación	Período
			Inicial	Final	(km^2)	($\text{km}^2 \text{a}^{-1}$)	(%)	
SUR B	Vn. Calbuco	2	2,31	1,79	-0,52	-0,03	-23	1987-2005
	Vn. Yates	2	16,83	13,16	-3,67	-0,15	-22	1987-2011
	Mte. Inexplorado 1	1	14,40	9,65	-4,75	-0,20	-33	1987-2011
	Mte. Inexplorado 2	1	18,69	13,48	-5,21	-0,22	-28	1987-2012
	Mte. Inexplorado 3	1	17,65	12,49	-5,16	-0,22	-29	1987-2013
	Vn. Michinmahuida	11	102,64	75,15	-27,49	-0,55	-27	1961-2011
	Vn. Corcovado	6	7,61	5,00	-2,61	-0,09	-34	1979-2007
	Cerro Yanteles	20	66,39	46,24	-20,15	-0,72	-30	1979-2007
	Vn. Melimoyu	7	69,57	55,59	-13,98	-0,40	-20	1976-2011
	Nevado de Queulat	3	108,37	84,83	-23,54	-1,07	-22	1986-2011
	Vn. Mentolat	5	5,62	3,35	-2,27	-0,07	-40	1979-2011
	Vn. Cay	7	9,05	5,81	-3,24	-0,10	-36	1979-2011
	Vn. Maca	15	45,08	27,62	-17,46	-0,54	-39	1979-2011
	Vn. Hudson	3	90,79	69,84	-20,95	-0,65	-23	1979-2011
	Erasmus	1	52,96	42,07	-10,89	-0,39	-21	1979-2011
AUSTRAL A	Reicher	1	91,88	83,10	-8,78	-0,27	-10	1979-2011
	San Rafael	1	819,74	740,37	-79,37	-0,57	-10	1871-2011
	San Quintín	1	836,35	785,64	-50,71	-0,67	-6	1935-2011
	Nef	1	132,73	127,13	-5,60	-0,18	-4	1979-2010
	Colonia	1	343,83	329,86	-13,97	-0,21	-4	1944-2011
	Greve	1	542,46	487,68	-54,78	-1,66	-10	1976-2009
	Occidental	1	188,35	165,91	-22,44	-0,68	-12	1976-2009
AUSTRAL B	Garibaldi	1	68,64	67,70	-0,94	-0,02	-1	1945-2007
	Marinelli	1	190,48	116,00	-74,48	-0,76	-39	1913-2011
	Ventisquero	1	133,97	127,53	-6,44	-0,32	-5	1986-2006
	Schiaparelli	1	26,79	24,78	-2,01	-0,03	-8	1947-2005
	Conway	1	10,72	8,46	-2,26	-0,04	-21	1947-2005

Tabla 7. Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Norte A, B y C.

Zona Glaciológica	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal	Tasa Variación Frontal	Período
						(m)	(m a^{-1})	
NORTE A	100	Entre límite Perú-Bolivia y Río Lauca		Vn. Pomerape	P1	-660	-19	1972-2007
					P2	-670	-19	1972-2007
					P3	-540	-15	1972-2007
					P4	-370	-11	1972-2007
					P5	-100	-3	1972-2007
NORTE B	0342	Río Manflas		Cerro Tronquitos	Tronquitos	-916	-18	1955-2005
	380	Río Tránsito			Estrecho	-150	-4	1976-2010
	381	Río El Carmen			Guanaco	-160	-5	1976-2010
					Ortigas 1	-120	-4	1976-2010
					Ortigas 2	-160	-5	1976-2010
	0430	Río Turbio			Tapado	-315	-6	1955-2005
NORTE C	450	Río Hurtado		Cerro Volcán		-890	-42	1990-2011

Tabla 8. Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Centro.

Zona Glaciológica	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal	Tasa Variación Frontal ($m a^{-1}$)	Período
						(m)		
CENTRO	540	Aconcagua Alto	Río Juncal	Nevado Juncal	Juncal Norte	-308	-14	1989-2011
	570	Río Maipo Alto	Río Olivares		Juncal Sur	-5056	-79	1947-2011
					Olivares Gama	-2660	-35	1935-2011
					Olivares Beta	-3648	-48	1935-2012
					Olivares Alfa	-850	-34	1986-2011
			Estero Marmolejo	Vn. Marmolejo	1	-120	-5	1986-2010
					2	-216	-9	
					3	-312	-13	
			Río Volcán	Vn. San José	SJ1	-192	-8	1986-2010
					SJ2	-672	-28	
			Laguna Negra		Echaurren	-450	-18	1986-2011
			Río Yeso		Pirámide	-175	-7	1986-2011
			Río Colorado	Vn. Tupungatito	T1	-120	-5	1986-2010
					T2	216	9	
					T3	-120	-5	
	T4	-72			-3			
	T5	288			12			
	600	Río Cachapoal Alto	Glaciar Palomo		Palomo	-68	-2	1976-2010
					Cipreses	-4484	-27	1842-2007
			Río Cortaderal		Cortaderal	-612	-18	1976-2011
	602	Río Tinguiririca Alto	Río Tinguiririca		Universidad	-1430	-22	1945-2010
	710	Río Teno	Río Teno	Vn. Peteroa	PPA1	-1144	-44	1985-2011
					PPA2	-1092	-42	
PPA3					-962	-37		
711	Río Lontué	Río Lontué	Vn. Azufre	PPA4	-624	-24	1985-2011	
				El Azufre	-832	-32		

Tabla 9. Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Sur A.

Zona Glaciológica	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal (m)	Tasa Variación Frontal ($m a^{-1}$)	Período
SUR A	837	Río Laja Alto		Vn. Antuco		-329	-13	1985-2011
	832	Río Duqueco		Sierra Velluda		-450	-17	1985-2011
	830	Río Biobío hasta después junta Río Lamín		Vn. Callaqui		-386	-11	1975-2011
	831	Río Biobío entre Ranquil y Duqueco	Tolhuaca	Vn. Tolhuaca		-440	-9	1961-2010
			Lonquimay	Vn. Lonquimay		-535	-11	1961-2010
	912	Cautín Alto		Sierra Nevada		-663	-13	1961-2010
	913	Río Quepe		Vn. Llaima		-2257	-46	1961-2010
	940	Río Allipen		Nevados de Sollipulli	Alpehué	-1350	-27	1961-2011
	941	Río Pucón		Vn. Villarrica	Turbio	-560	-16	1976-2011
	942	Lago Villarrica			Pichi-llancahue	-1500	-30	1961-2011
	1010	Río Valdivia Alto hasta desagüe L. Panguipulli		Vn. Mocho		-687	-17	1976-2011
	1030	Afluentes Lago Ranco		Vn. Puyehue		-223	-9	1985-2011
1034	Río Rahue hasta antes juntar Río Negro	Lago Rupanco	Vn. Puntagudo		-223	-12	1987-2005	
		Lago Llanquihue	Vn. Osorno		-467	-9	1961-2011	

Tabla 10. Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Sur B.

Zona Glaciológica	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal	Tasa Variación Frontal ($m a^{-1}$)	Período
						(m)		
SUR B	1045	Río Petrohué		Monte Tronador	Casa Pangue	-1288	-54	1987-2011
	1041	Río Maullín		Vn. Calbuco	C1	-151	-8	1987-2005
	1043	Río Chamiza			C2	-145	-8	1987-2005
	1060	Costeras		Vn. Yates	Y1	-397	-17	1987-2011
	1061	Costeras			Y2	-339	-14	1987-2011
	1051	Río Puelo Alto			Inexplorado 1	-1152	-48	1987-2011
	1063	Costeras			Inexplorado 2	-3552	-148	1987-2011
					Inexplorado 3	-2376	-99	1987-2011
	1066	Río Reñihue		Vn. Michinmahuida	Gl 01	-736	-23	1979-2011
	1068	Costeras			Gl 08	-896	-28	1979-2011
	1071	Río Yelcho			Gl 05 (Amarillo)	-1984	-62	1979-2011
					Gl 04	-512	-16	1979-2011
	1080	Costeras		Vn. Corcovado	(lengua norte)	-396	-14	1979-2007
	1081	Río Corcovado		Cerro Yanteles	(lengua norte)	-1320	-47	1979-2007
	1082	Costeras			(lengua sur)	-986	-35	1979-2007
	1104	Río Palena Bajo		Vn. Melimoyu	Correntoso	-954	-27	1976-2011
	1110	Costeras			Anihue	-1514	-43	1976-2011
					Melimoyu Oeste	-1228	-35	1976-2012
					Melimoyu Sur	-875	-25	1976-2013
					Melimoyu Este	-1152	-33	1976-2014
1113	Costeras		Nevado de Queulat	(lengua principal)	-1642	-66	1986-2011	
1116	Costeras		Vn. Mentolat	(lengua sur)	-462	-14	1979-2011	
1115	Costeras		Vn. Cay	(lengua norte)	-970	-30	1979-2011	
1117	Costeras		Vn. Maca	(lengua este)	-799	-25	1979-2011	
1140	Costeras		Vn. Hudson	Huemules	-1600	-50	1979-2011	
1141	Costeras			Erasmus	-1216	-38	1979-2011	

Tabla 11. Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Austral A.

Zona Glaciológica	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal	Tasa Variación Frontal	Período
						(m)	($m a^{-1}$)	
AUSTRAL A	1144	Costeras y Ventisquero entre río Exploradores y Ventisquero Benito	Reicher		Reicher	-5632	-176	1979-2011
			Gualas		Gualas	-2112	-66	1979-2012
			Laguna San Rafael		San Rafael	-10360	-74	1871-2011
			San Quintín		San Quintín	-2400	-32	1935-2010
	1153	Río Baker entre desagüe L.J.M. Carrera y Río de la Colina	Nef		Nef	-3813	-123	1979-2010
	1154	Río Baker entre arriba río Colonia y desembocadura	Colonia		Colonia	-4958	-74	1944-2011
	1180	Costeras del Río Pascua y Límite Región	Jorge Montt		Jorge Montt	-17854	-158	1898-2011
			Bernardo		Bernardo	-1472	-23	1945-2009
			Témpanos		Témpanos	-1728	-27	1945-2009
	1200	Costeras canal Mesier Límite Regional - Península Exmouth	Occidental		Occidental	-3900	-60	1945-2010
	1202	Costeras del Fiordo Eyre	Greve		Greve	-6144	-96	1945-2009
			HPS8		HPS8	-5070	-78	1945-2010
			HPS9		HPS 9	-1320	-20	1945-2011
			Fiordo Eyre		Pío XI	11277	63	1830-2009
	1204	Costeras entre Fiordo Falcón y Fiordo Penguin	Europa		Europa	-231	-11	1986-2007
	1205	Costeras entre Fiordo Peguin y Fiordo Europa	Guilardi		Guilardi	-420	-20	1986-2008
	1220	Costeras entre Seno Andrew y Fiordo Calvo	HPS29		HPS29	-836	-38	1986-2008
	1221	Costeras entre Fiordo Calvo y Fiordo Peel	Amalia		Amalia	-504	-21	1986-2010
	1227	Costeras entre península Roca y Río Serrano	Balmaceda		Balmaceda	-1625	-65	1986-2011
	1228	Río Serrano	Grey		Grey	-3105	-45	1937-2006
			Dickson		Dickson	-4440	-40	1897-2008
1170	Lago O'Higgins	Chico		Chico	-2925	-45	1945-2010	
		O'Higgins		O'Higgins	-15846	-139	1896-2010	
1171	Río Pascua	Lucía		Lucía	-2652	-78	1976-2010	

Tabla 12. Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Austral B.

Zona Glaciológica	Cod. Sub- Cuenca BNA	Sub-cuenca (Benitez, 1980)	Sub-cuenca propuesta por CECs	Centro Montañoso	Nombre Glaciares	Variación Frontal	Tasa Variación Frontal ($m a^{-1}$)	Período
						(m)		
AUSTRAL B	1284	Península entre senos Serrano y Ventisquero	Schiaparelli	Monte Sarmiento	Schiaparelli	-821	-17	1956-2005
			Conway		Conway	-1080	-19	1947-2005
	1283	Costeras entre R. Azopardo y Seno Serrano	Marinelli		Marinelli	-15000	-153	1913-2011
			Glaciar 4		Glaciar 4	-599	-28	1985-2006
			Stoppani		Stoppani	-1065	-21	1956-2006
	1288	Cuencas compartidas al Sur R. Azopardo y Cuencas Cerradas	Glaciar 5		Glaciar 5	-317	-29	1991-2002
	1285	Costeras Canal Beagle (entre Seno Ventisquero y Frontera)	Glaciar 1		Glaciar 1	-489	-24	1986-2006
			Glaciar 16		Glaciar 16	-162	-32	1986-1991
						405	31	1991-2004
			Glaciar 15		Glaciar 15	-70	-14	1986-1991
						29	2	1991-2004
			Ventisquero		Ventisquero	-2700	-135	1986-2006
			Glaciar 12		Glaciar 12	-129	-7	1986-2004
			Glaciar 7		Glaciar 7	-1482	-30	1956-2006
			Roncagli		Roncagli	-642	-14	1956-2001
Garibaldi				Garibaldi	1104	184	2001-2007	
Glaciar 8		Glaciar 8	-1347	-27	1956-2006			
Italia		Italia	-972	-21	1956-2002			
Glaciar 9		Glaciar 9	-1802	-36	1956-2006			

Tabla 13. Base de datos

No.	Zona	Cod. Sub-Cuenca BNA	Sub-cuenca	Centro Montañoso	Glaciar	Latitud	Longitud
	Glaciológica					(S)	(W)
1	NORTE A	100	Entre límite Perú-Bolivia y Río Lauca	Vn. Pomerape	P1, P2, P3, P4, P5	-18,12	-69,12
2		101	Lago Chungará	Vn. Guallatiri	1, 2, 3	-18,41	-69,08
3		102	Río Lauca	Vn. Parinacota	P1, P2, P3, P4, P5	-18,16	-69,14
4		104	Entre Estero Sencata y Río Sacaya	Vn. Sillajhuay	1, 2, 3	-19,74	-69,69
5		303	Cuencas al SE, cuenca Salar de Pedernales	Cerro El Muerto	CM1, CM2	-27,05	-68,48
6		304	Salar de Maricunga	Ojos del Salado	OS1, OS2, OS3, OS4, OS5, OS6, OS7	-27,11	-68,50
7				Nevado 3 Cruces	NTC1, NTC2, NTC3, NTC4, NTC5	-27,09	-68,77
8	NORTE B	342	Río Manflas	Cerro Tronquitos	Tronquitos	-29,71	-69,20
9		380	Río Tránsito		Estrecho	-29,29	-70,01
10		381	Río El Carmen		Guanaco	-29,34	-70,01
11					Ortigas 1	-29,38	-70,05
12					Ortigas 2	-29,29	-70,03
13		430	Río Turbio		Tapado	-30,14	-69,93
14	NORTE C	450	Río Hurtado	Cerro Volcán		-30,48	-70,28

15	CENTRO	540	Aconcagua Alto	Nevado Juncal	Juncal Norte	-33,03	-70,03		
16					Monos de Agua	-32,98	-70,03		
17					Juncal Sur	-33,08	-70,10		
18		570	Río Maipo Alto		Olivares Gama	-33,13	-70,16		
19					Olivares Beta	-33,14	-70,18		
20					Olivares Alfa	-33,19	-70,22		
21				Cerro Marmolejo	M1	-33,72	-69,92		
22					M2	-33,73	-69,93		
23					M3	-33,74	-69,93		
24				Vn. San José	SJ2	-33,80	-69,92		
25					SJ2	-33,82	-69,87		
26					Echaurren	-33,83	-69,91		
27					Pirámide	-33,59	-69,89		
28				Vn. Tupungatito	T1	-33,42	-69,82		
29					T2	-33,42	-69,85		
30					T3	-33,43	-69,85		
31					T4	-33,43	-69,82		
32					T5	-33,47	-69,83		
33				572	Río Mapocho Alto	La Paloma	La Paloma	-33,19	-70,26
34							El Rincón	-33,18	-70,28
35		600	Río Cachapoal Alto		Cipreses	-34,55	-70,37		
36					Palomo	-34,58	-70,30		
37					Cortaderal	-34,62	-70,32		

38		602	Río Tinguiririca Alto		Universidad	-34,68	-70,33
39		710	Río Teno	Vn. Peteroa	PPA1	-35,24	-70,58
40	PPA2				-35,25	-70,59	
41	PPA3				-35,26	-70,60	
42		711	Río Lontué	Vn. Azufre	PPA4	-35,28	-70,59
43	El Azufre				-35,30	-70,57	
44		810	Ñuble Alto, Itata Medio	Nevados de Chillán		-36,87	-71,37
45		837	Río Laja Alto	Vn. Antuco		-37,41	-71,34
46		832	Río Duqueco	Sierra Velluda		-37,46	-71,42
47		830	Río Biobío hasta después junta Río Lamín	Vn. Callaqui		-37,86	-71,17
48	SUR A	831	Río Biobío entre Ranquil y Duqueco, Río Biobío Alto	Vn. Tolhuaca		-38,30	-71,65
49				Vn. Lonquimay		-38,37	-71,60
50			912	Cautín Alto	Sierra Nevada		-38,60

51		913	Río Quepe	Vn. Llaima		-38,70	-71,73
52		940	Río Allipen	Nevados de Sollipulli	Alpehué	-38,97	-71,52
53		941	Río Pucón	Vn. Villarrica	Turbio	-39,42	-71,88
54		942	Lago Villarrica		Pichillancahue	-39,44	-71,87
55		1010	Río Valdivia Alto hasta desagüe L. Panguipulli	Vn. Mocho		-39,93	-72,02
56		1030	Afluentes Lago Ranco	Vn. Puyehue		-40,58	-72,11
57		1034	Río Rahue hasta antes juntar Río Negro	Vn. Puntagudo		-40,97	-72,26

58				Vn. Osorno		-41,10	-72,49
59	SUR B	1045	Río Petrohue	Monte Tronador	Casa Pangué	-41,14	-71,86
60		1041	Río Maullín	Vn. Calbuco	C1	-41,32	-72,61
61		1043	Río Chamiza		C2	-41,33	-72,61
62		1060	Costeras entre Río Puelo y Punta Tentelhue	Vn. Yates	Y1	-41,76	-72,40
63		1061	Costeras entre Punta Tentelhue y Río Negro (incl.)		Y2	-41,80	-72,37
64		1051	Río Puelo Alto	Vn. Hornopirén	Inexplorado 1	-41,90	-72,20
65		1063	Costeras entre Río Negro y Río Vodudahue		Inexplorado 2	-41,93	-72,20
66					Inexplorado 3	-42,00	-72,20
67		1066	Río Reñihue	Vn. Michinmahuida	GL01	-42,75	-72,42
68		1068	Costeras entre Río Negro (incl.) y Río Yelcho		GL08	-42,78	-72,50
69		1071	Río Yelcho		GL05 (Amarillo)	-42,82	-72,45
70					GL 04	-42,83	-72,43
71		1080	Costeras entre Río Yelcho y Río Corcovado	Vn. Corcovado	(lengua norte)	-43,19	-72,78
72		1081	Río Corcovado	Cerro Yanteles	(lengua norte)	-43,52	-72,82

73		1082	Costeras entre río Corcovado y límite regional				
74		1104	Río Palena Bajo		Correntoso		
75		1110	Costeras entre río Palena y río Marchant	Vn. Melimoyu	Anihue, M. Oeste, M. Sur, M. Este	-44,07	-72,86
76		1113	Costeras entre Seno Ventisquero y Río Cisnes	Nevado de Queulat	(lengua principal)	-44,39	-72,43
77		1116	Islas entre canales Jacaf y Puyuhuapi	Vn. Mentolat	(lengua sur)	-44,69	-73,07
78		1115	Costeras entre río Cisnes y Punta San Andrés	Vn. Cay	(lengua norte)	-45,06	-72,99
79		1117	Costeras entre Punta San Andrés y río Aysén	Vn. Maca	(lengua este)	-45,11	-73,14
80		1140	Costeras entre río Aysén y río Huemules (inc.)	Vn. Hudson	Huemules	-45,85	-72,92

81		1141	Costeras entre río Huemules y río Exploradores	Erasmus		-46,10	-73,19	
82	AUSTRAL A	1144	Costeras y Ventisquero entre río Exploradores y Ventisquero Benito		Reicher	-46,53	-73,53	
83					Gualas	-46,58	-73,60	
84					San Rafael	-46,70	-73,76	
85					San Quintín	-46,88	-73,90	
86			1153	Río Baker entre desagüe L.J.M. Carrera y Río de la Colina		Nef	-47,03	-73,27
87			1154	Río Baker entre arriba río Colonia y desembocadura		Colonia	-47,19	-73,29
88			1180	Costeras del Río Pascua y Límite Región		Jorge Montt	-48,32	-73,47
89						Bernardo	-48,60	-73,90

90					Témpanos		
91		1200	Costeras canal Mesier Límite Regional - Península Exmouth		Occidental	-48,83	-74,00
92		1202	Costeras del Fiordo Eyre		Greve	-48,93	-73,90
93					HPS8	-49,00	-73,67
94					HPS 9	-49,05	-73,75
95					Pio XI	-49,17	-73,98
96		1204	Costeras entre Fiordo Falcón y Fiordo Penguin		Europa	-50,28	-73,85
97		1205	Costeras entre Fiordo Peguin y Fiordo Europa		Guilardi	-50,37	-73,95
98		1220	Costeras entre Seno Andrew y Fiordo Calvo		HPS29	-50,48	-73,58
99		1221	Costeras entre Fiordo Calvo y Fiordo Peel		Amalia	-50,93	-73,68

100		1227	Costeras entre península Roca y Río Serrano		Balmaceda	-51,38	-73,30
101		1228	Río Serrano		Grey	-51,00	-73,23
102					Dickson	-50,78	-73,15
103		1170	Lago O'Higgins		Chico	-49,00	-73,03
104					O'Higgins	-48,90	-73,13
105				1171	Río Pascua		Lucía
106		AUSTRAL B	1284	Península entre senos Serrano y Ventisquero	Monte Sarmiento	Schiaparelli	-54,40
107	Conway					-54,43	-70,86
108	1283		Costeras entre R. Azopardo y Seno Serrano		Marinelli	-54,50	-69,57
109					Glaciar 4	-54,55	-69,49
110					Stoppani	-54,77	-69,03
111	1288		Cuencas compartidas al Sur R. Azopardo y Cuencas Cerradas		Glaciar 5	-54,63	68,84
112	1285		Costeras Canal Beagle (entre Seno Ventisquero y Frontera)		Glaciar 1	-54,52	-70,05
113					Glaciar 16	-54,67	-69,76

114					Glaciar 15	-54,67	-69,69
115					Ventisquero	-54,67	-70,11
116					Glaciar 12	-54,75	-69,54
117					Glaciar 7	-54,82	-69,12
118					Roncagli	-54,83	-69,23
119					Garibaldi	-54,84	-69,31
120					Glaciar 8	-54,88	-69,05
121					Italia	-54,89	-69,20
122					Glaciar 9	-54,90	-69,11

Tabla 13. Base de datos, continuación.

No.	Zona	Datos ASTER (*)	Datos LANDSAT (**)	Otro Datos (***)
	Glaciológica			
1	NORTE A	AST14DMO_00305202007145909_20070730151257_10324.tif / AST_L1A#003_06292001150115_07062001092632.tif	MSS 1972-1976, TM 1985-1989	Garín (1987), SAF 1961, SAF 1970, HYCON 1955
2				
3				
4		AST14OTH_00308192008145355_20110719111316_12486.tif		
5				
6		AST14OTH_00303172003144359_20080821161033_25233.tif		
7				
8	NORTE B	AST14DMO_00302092005144924.tif / AST14DMO_00303172004145623.tif	MSS 1972-1976, TM 1985-1989	Nicholson <i>et al</i> (2009), SAF 1955, IKONOS 2010
9				
10				
11				
12				
13				
14	NORTE C	AST14OTH_00302112009145727_20111028170619_21013.tif		Garín (1987)
15	CENTRO	AST14OTH_00303272010145113_20110530145859_8098.tif / AST_L1A#003_03242003145159_04112003143154.tif / AST_L1A#003_03242003145208_04112003143209.tif / AST14OTH_0030330200814444020081022200713_17133.tif	MSS 1976, TM 1985-1986-1989	Valdivia (1984), HYCON 1975, DGA (2008)
16				Marangunic (1979), GEOTEC 1997, SAF 1955, 1935, 1947
17				
18				

19				
20				
21				
22				
23		AST14OTH_00303272010145122_20110530145859_8101.tif		
24				
25				
26				Marangunic (1979)
27				
28				
29				
30		AST14OTH_00303272010145113_20110530145859_8098.tif		
31		AST14OTH_00302052006144338_20070410181543_12914.tif		
32				
33				
34				
35				
36				
37		AST14OTH_00312222006144502_20070426120435_4517.tif/ AST14OTH_00302242007144541_20070426120135_3866.tif/ AST_OTH_12_01_2009_144611.tif/ AST14OTH_00303272010145139_20100603160915_18698.tif		
38				HYCON 1955-56, Caviedes (1979)

39		AST14OTH_00302242007144549_20110520122244_19589.tif / AST14OTH_00303302008144516_20100914194421_11461.tif / AST14OTH_00301122009144620_20100914194421_11457.tif / AST14OTH_00303072011144515_20110520122244_19592.tif		Noveroy (1987)
40				
41				
42				
43				
44	SUR A	AST_L1A#003_01222001145752_10042002161323.tif / AST14OTH_00303072011144551_20110504142610_27692.tif / AST_L1A#003_03242003145336_04112003143454.tif		Rivera (1989), SAF 1961, GEOTEC 1998
45				
46				
47		AST14OTH_00303272010145241_20110112144009_21868.tif / AST_L1A_00311142007145212_20080419075042_32433.tif		Rivera (1989)
48				
49	AST14OTH_00303272010145233_20110112144009_21876.tif / AST_L1A_00302272008034227_20080419075022_31439.tif			

50		AST14OTH_00303272010145250_20110112144009_21863.tif	MSS 1975-1976, TM 1985 -1987	
51		AST_L1A_00303302008034204_20080419075022_31454.tif		
52		AST14OTH_00303272010145250_20110112144009_21863.tif		
53		AST14DMO_00302242007144709_20070718190032_4886.tif /	MSS 1975-1976, TM 1985 -1987	Rivera (1989), TRIMETROGON 1945, GEOTEC 1998
54		AST14OTH_00304122010145254_20100617110910_27408.tif		
55		AST14DMO_00302242007144709_20070718190032_4886.tif		
56		AST14OTH_00302242007144700_20070522142213_2888.tif		
57				
58		AST14OTH_00302022005144623_20080424153806_16004.tif / AST14OTH_00301262008144714_20080424153806_15996.tif		
59	SUR B	AST14OTH_00303102004145344_20080424153806_16002.tif /	MSS 1976-1979, TM 1986-1987, ETM+ 2011, TM 1986	Rivera (1989)
60		AST14DMO_00303282007144727_20070410200351_15070.tif / AST14OTH_00302022005144632_20080821161033_25236.tif /		

61		AST_L1A_00301242008035411_20080424073609_31317.tif		
62				
63		AST14OTH_00301092011145259_20110126110356_9389.tif		SAF 1961
64				
65		AST14OTH_00301192009145428_20110126113002_20524.tif / AST14OTH_00301212009144207_20110126113002_20516.tif		
66				
67				
68		AST14OTH_00301252011145313_20110315110906_32686.tif / AST_08_00304132008035327_20090208161826_18824.tif / AST14DMO_00304042007145403_20080502123552_32307.tif		SAF 1982, OEA 1961
69				
70				
71		AST14DMO_00311232007144729_20100719150815_10826.tif		
72				
73		AST14DMO_00304042007145403_20100730170953_26481.tif / AST14DMO_00304012006145317_20100719150805_10769.tif		
74		AST14OTH_00301192009145455_20100614093137_5646.tif /		

75		AST14OTH_00302172002145539_20100614160913_6375.tif		
76		AST14OTH_00302112009145727_20111028170619_21013.tif		
77				
78				
79		AST14DMO_00312262005145312_20100719150805_10775.tif		
80				
81		AST14OTH_00302042008144222_20100603160905_18061.tif / AST14OTH_00304122010145440_20100607120545_32165.tif / AST14OTH_00303282007144847_20100603160905_18049.tif / AST14OTH_00304042007145456_20100603160905_18054.tif		GEOTEC 1998, SAF 1981 & 1984
82	AUSTRAL A			
83		AST14OTH_00303292010144352_20110126111419_14300.tif	ETM+ 2010	
84		AST14OTH_00301252011145415_21.tif		
85		AST14OTH_00301022011144821_20110616171219_1635.tif		
86			MSS 1979 - 1987, ETM+ 2001 - 2011	
87			ETM+ 2011	TRIMETROGON 1944
88		AST14OTH_00312102010144245_20110302142628_7321.tif		
89		AST_L1A#003_01182002144459_02092002170221.tif /		

90		AST14DMO_00304042007145541_20070410200351_15075.tif / AST14OTH_00306152010145528.tif		
91		AST_L1B_00312112008144956_20090625112950_15672.tif	ETM+ 2002-201	
92				SAF 1981, SAF 1979, SAF 1995,
93				Mc Hurd 1975,
94				GEOTEC 1997,
95				TRIMETROGON 1945
96				
97				
98				
99				
100				
101				
102				
103		AST14OTH_00309032006143713_20070424175359_7993.tif		
	AST14OTH_00302212011143639_20110519120909_9874.tif / AST14OTH_00312102010144245_20110302142628_732.tif			

104				
105				
106	AUSTRAL B	AST14OTH_00311142005141915_20070413180150_29632_B123.tif		DGA 2008, GPS 2007
107				
108				
109				
110				
111		AST_L1B#003_03192003143844_04022003112932.tif/		
112				
113		AST_L1A#00302152003143920_03112003143832.tif/		
114				
115				
116		AST_L1A#003_09252001142002_10112001094557.tif		
117				
118				
119				
120				
121				
122				

(* Aster Granule Id; (**) MSS Multispectral Scanner; (***) Inventarios pre-existentes, fotografías aéreas y posibles datos históricos.