

MGEO
14565g
2005
c2



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL GLACIAR CHICO, CAMPOS DE HIELO SUR, CHILE AUSTRAL

Memoria para optar al título de Geógrafo.



**Autora: Mariajosé Herrera Ossandón.
Profesor Guía: José Araya Vergara.**

Santiago, Diciembre 2005.

034744

AGRADECIMIENTOS

Lo imposible siempre cuesta un poco más.....

En primer lugar quisiera agradecer a María Eugenia, mi madre, por todo su apoyo, confianza y entrega en este largo y difícil camino hacia el logro de mis objetivos. A mi hermano Eugenio por su continua preocupación y su comprensión a la hora de ocupar el computador. A mi familia, por acompañarme y darme ánimos durante todo el proceso.

A Alejandro, por tu sabiduría, incondicionalidad y amor en esta hermosa travesía hacia nuestros sueño, a tu lado esta opción de vida tiene real sentido.

A mi profesor guía José Araya por su rigurosidad y sistemática en las correcciones y su comprensión frente a mis continuas dudas y vacilaciones.

Al Instituto Chileno de Campos de Hielo, en particular a Don Horacio Toro y a Don Enrique Zamora por tener visión de futuro y poner en manos de nuevos y jóvenes investigadores la enorme tarea de estudiar la Patagonia; por darme la oportunidad de conocer lugares recónditos, prácticamente inexplorados y de una hermosura sin igual e indescriptible.

A mi compañera de generación Joselyn, chica tu valor, coraje y apoyo han sido indispensables para el desarrollo de este trabajo, gracias por todo y mucho más.

A Verito (Mapoteca) por su disposición y generosidad a la hora de los préstamos.

A todos aquellos que de una u otra manera han influido para que esta investigación llegue a buen puerto.

*“Hay hombres que luchan un día y son buenos,
Hay hombres que luchan un año y son mejores,
Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos,
Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles”.*
Bertol Brech.

Dedicada a María Eugenia, Eugenio y Alejandro mis grandes amores.

ÍNDICE	1
Índice de Tablas, Perfiles y Figuras.....	2
Resumen.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Estado del asunto.....	5
1.2 Hipótesis.....	17
1.3 Propósito del Estudio.....	17
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.1 Área de Estudio.....	18
2.2 Procedimientos.....	24
2.2.1 Materiales.....	24
2.2.2 Métodos.....	25
Pre – Terreno.....	26
Campañas de Terreno.....	27
Post - Terreno.....	30
Procesamiento de Datos.....	30
Zonación del Sistema de la Cuenca Glaciar.....	33
Morfología del glaciar en distintos estadios evolutivos.....	34
Clasificación Morfológica del Valle del Glaciar Chico.....	35
3. RESULTADOS.....	36
3.1 Zonación del Sistema de la Cuenca del Glaciar y la Relación entre sus partes.....	36
3.1.1 Dominio Terminal.....	37
3.1.2 Dominio Proglacial.....	43
3.1.3 Dominio Supraglacial.....	46
3.1.4 Dominio Yuxtaglacial.....	52
3.1.5 Dominio Infraglacial.....	56
3.1.6 Dominio Glacial.....	63
3.1.7 Dominio Periglacial.....	68
3.2 Morfología del Glaciar en Diferentes Estadios Evolutivos.....	70
3.2.1 Situación en 1945.....	70
3.2.2 Situación en 1975.....	72
3.2.3 Situación en 1995.....	75
3.2.4 Situación en 1997.....	78
3.3 Clasificación Morfológica del Valle del Glaciar Chico.....	80
4. DISCUSIONES.....	89
5. CONCLUSIONES.....	96
6. BIBLIOGRAFÍA.....	100

Índice de Tablas, Perfiles y Figuras

Tablas

Tabla 1: Datos del Glaciar.....	22
Tabla 2: Cartografía de Referencia.....	24
Tabla 3: Fotografías Aéreas.....	24
Tabla 4: Imágenes Satelitales de la Zona de Estudio.....	25
Tabla 5: Instrumental.....	25
Tabla 6: Software de Procesamiento.....	25

Perfiles

Perfil 1: Perfil Este – Oeste Península Lago Chico.....	41
Perfil 2: Perfil Sur – Norte Zona Acumulación Glaciar Chico 2001.....	86
Perfil 3: Perfil Sur – Norte Zona Ablación Glaciar Chico 2004.....	87
Perfil 4: Unión de Perfiles Sur – Norte Glaciar Chico 2001 – 2004.....	88

Figuras

Figura 1: Patagonia Chilena, Campos de Hielo Sur, Lago O'Higgins, Glaciar Chico.....	5
Figura 2: Carta geomorfológica cuencas Glaciares O'Higgins y Chico.....	10
Figura 3: Bloque diagrama sector Noreste Campos de Hielo Sur.....	11
Figura 4: Carta geomorfológica y zonación cuencas glaciares O'Higgins, Chico y Gaea.....	11
Figura 5: Imagen satelital ASTER.....	12
Figura 6: Análisis de la variación frontal del Glaciar Upsala utilizando imágenes satelitales y fotografías aéreas.....	14
Figura 7: Glaciar Chico.....	18
Figura 8: Cuenca Glaciar Chico.....	21
Figura 9: Cuenca Glaciar Chico y línea de equilibrio.....	22
Figura 10: Trazado de la falla del Glaciar Chico.....	23
Figura 11: Par estereoscópico cuenca Glaciar Chico.....	26
Figura 12: Carta vectorial del área de estudio.....	27
Figura 13: Rutas Ay B, circuitos de levantamiento de información campañas 2004 – 2005.....	29
Figura 14: GPC sobre imagen satelital.....	30
Figura 15: Plano topográfico de la Península del Lago Chico.....	31
Figura 16: Imagen Pancromática, recortes de fotografías aéreas con información vectorial topográfica.....	32
Figura 17: Zonación cuenca Glaciar Chico.....	36
Figura 18: Fenómeno de meltwater.....	38
Figura 19: Lago terminal y frente desprendente sector Noroeste Glaciar Chico.....	38
Figura 20: Dominio terminal valle Glaciar Gaea.....	39
Figura 21: Valle Glaciar Gaea.....	40
Figura 22: Trazado de perfil Península Lago Chico.....	41
Figura 23: Varves sector Norte morrena terminal externa Península Lago Chico.....	42
Figura 24: Playa acrecional sector sur Península Lago Chico.....	44
Figura 25: Carta Geomorfológica Península Lago Chico dominio terminal y proglacial.....	45
Figura 26: Glaciar Gorra Blanca Norte tributario del Glaciar Chico.....	49
Figura 27: Glaciar Pirámide tributario Glaciar Chico.....	49
Figura 28: Cobertura detrítica supraglacial.....	50
Figura 29: Formas erosionales dominio supraglacial.....	51
Figura 30: Formas erosionales dominio yuxtaglacial.....	52
Figura 31: Sistemas morrénicos dominios supraglacial y yuxtaglacial.....	53
Figura 32: Formas erosionales y deposicionales dominios supraglacial y yuxtaglacial.....	54
Figura 33: Terrazas de Kames dominio yuxtaglacial vertiente este.....	55
Figura 34: Acanaladura dominio infraglacial antiguo.....	57

Figura 35: Acanaladura dominio infraglacial antiguo, dirección Sur - Norte.....	57
Figura 36: Bloque errático sobre acanaladura, dominio infraglacial antiguo.....	58
Figura 37: Bloque errático sobre superficie pulida y estriada, dominio infraglacial antiguo.....	58
Figura 38: Ubicación de perfiles.....	59
Figura 39: Perfil topográfico Este – Oeste (D – D') zona proximal cuenca Glaciar Chico.....	60
Figura 40: Perfil topográfico Sur – Norte (B – B') zona proximal cuenca Glaciar Chico.....	60
Figura 41: Topografía subglacial zona proximal cuenca Glaciar Chico Este – Oeste.....	62
Figura 42: Topografía subglacial zona proximal cuenca Glaciar Chico Norte – Sur.....	63
Figura 43: Dominio glacial, sector suroeste.....	65
Figura 44: Morrenas laterales no consolidadas, Glaciar Pantoja.....	66
Figura 45: Sistemas glaciales, vertiente este.....	67
Figura 46: Dominios periglacial y yuxtaglacial.....	69
Figura 47: Formas erosionales y deposicionales valle Glaciar Gaea.....	69
Figura 48: Lago terminal y frente desprendente Glaciar Chico 1945.....	71
Figura 49: Frente Glaciar Chico 1945.....	72
Figura 50: Frente Glaciar Chico 1975.....	73
Figura 51: Glaciar Chico 1975.....	74
Figura 52: Península dominio proglacial 1975.....	75
Figura 53: Frente Glaciar Chico 1995.....	76
Figura 54: Glaciar Chico 1995.....	76
Figura 55: Zona proximal cuenca Glaciar Chico 1995.....	77
Figura 56: Península dominio proglacial 1995.....	78
Figura 57: Glaciar Chico 1997.....	79
Figura 58: Península dominio proglacial 1997.....	80
Figura 59: Grietas zona proximal Glaciar Chico.....	83
Figura 60: Panorámica dominio supraglacial.....	83
Figura 61: Formas deposicionales dominio supraglacial.....	84
Figura 62: Formas erosionales dominio supraglacial.....	84

Resumen

Se presentan los resultados del análisis de la cuenca del Glaciar Chico (Campos de Hielo Sur), en función de sus características morfológicas, para lo cual, se ha realizado una zonación que permite identificar las relaciones existentes entre las partes del sistema glacial y las derivaciones morfogenéticas de cada componente identificado, así como también, una evolución del sistema glacial durante 50 años y una clasificación morfológica del valle del Glaciar Chico.

Para el logro de los propósitos establecidos, se realizaron análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales; revisión bibliográfica de antecedentes del área; campañas de terreno; levantamiento geomorfológico en la zona y confección de perfiles en los dominios terminal y supraglacial.

La morfología de la cuenca del Glaciar Chico presenta características de glaciar de exutorio del campo de hielo, asociada a la existencia de un amplio desarrollo y consolidación de formas en los dominios proglacial y terminal.

Se evidencian dos épocas diferentes de operación del Glaciar Chico, la primera, asociada a la Última Glaciación representada por el dominio infraglacial antiguo localizado sobre el dominio yuxtaglacial y la segunda, asociada al último avance del Glaciar Chico, que deja como testimonio las formas de los dominios yuxtaglacial, terminal y proglacial.

El análisis evolutivo de las formas del Glaciar Chico, revela que los cambios principales han operado en la zona distal de la lengua, generando, por tanto, cambios significativos en los dominios terminal, proglacial, yuxtaglacial, supraglacial e infraglacial de la cuenca producto del retroceso del Glaciar Chico.

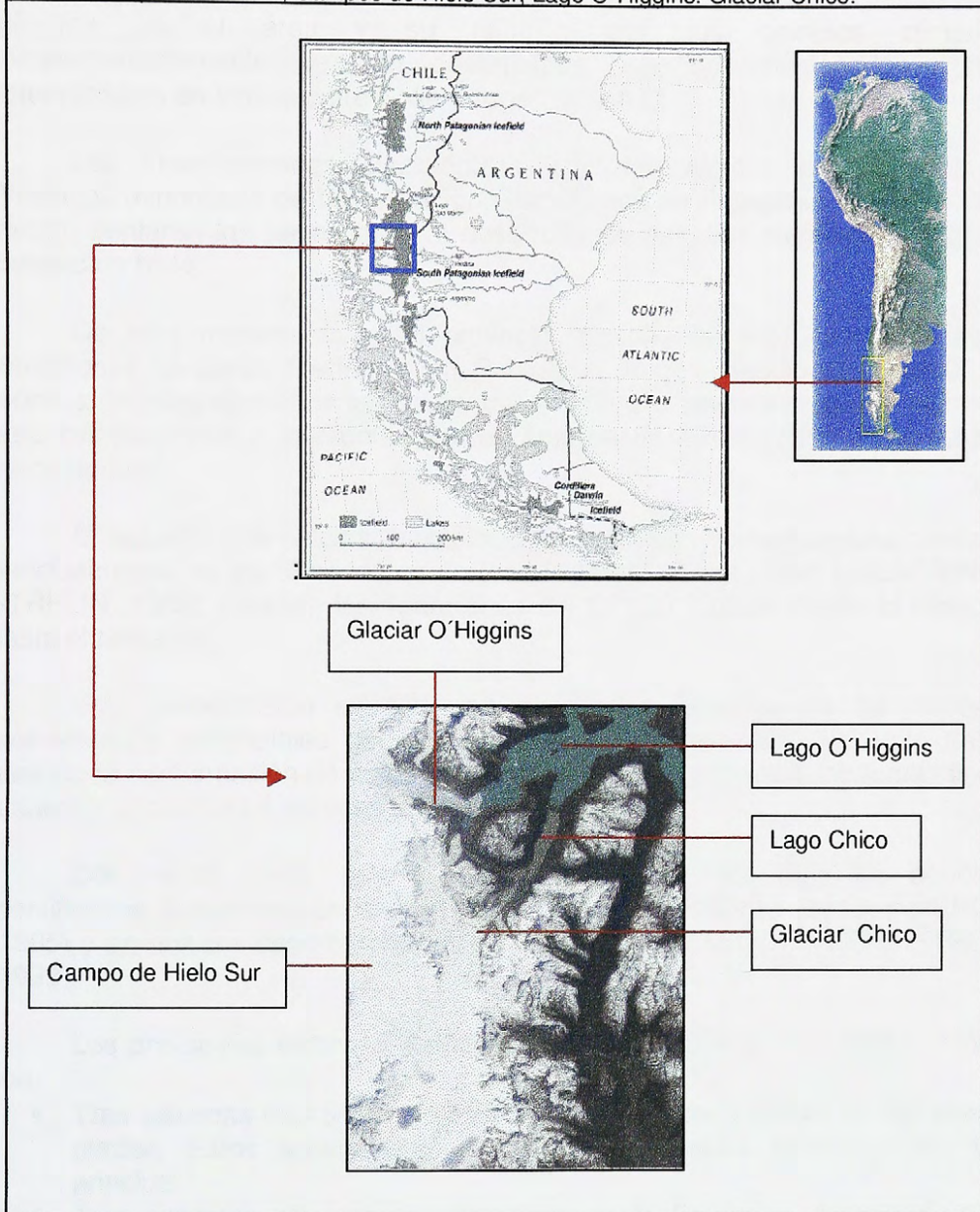
La inexistencia de un circo en la cabecera de la cuenca glaciar en la zona proximal del sistema y la existencia de un fiordo lacustre en el dominio terminal constituyen las principales diferencias del Glaciar Chico con respecto a glaciares de circo simple.

Por otro lado, la posición geomorfológica del Glaciar Chico en la zona periférica del plateau correspondiente al Paso de los Cuatro Glaciares, las similitudes geomorfológicas principalmente de los dominios proglacial y terminal del Glaciar Chico con respecto a otros glaciares efluentes de Campos de Hielo Norte y Sur y las características del dominio infraglacial moderno que revelan un valle estrecho encajonado y de vertientes de pendientes abruptas de emplazamiento del cuerpo de hielo permiten clasificar al glaciar como un glaciar de exutorio de Campos de Hielo Sur.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estado del Asunto

Figura 1: Patagonia Chilena, Campos de Hielo Sur, Lago O'Higgins, Glaciar Chico.



Numerosos estudios se han realizado en las zonas de Campos de Hielo Sur (CHS) y Campos de Hielo Norte (CHN); los primeros reconocimientos y los trabajos asociados a estos tuvieron como principal objetivo la exploración de ambos plateaus. Los siguientes avances en la zona, se centraron en el desarrollo de investigaciones científicas del sector de CHS y CHN con respecto a la dinámica presente en el área y su relación con los cambios climáticos; complementariamente se han desarrollado estudios relacionados con la determinación de límites entre Chile y Argentina en CHS.

Las investigaciones glaciológicas y meteorológicas desarrolladas por Proyectos Japoneses de Investigación Glaciológica en Patagonia (GRPP 83/84 y 85/86), sentaron las bases para el desarrollo de estudios científicos en ambos campos de hielo.

De esta manera surge el proyecto “Estudio de las Características de Variaciones Glaciares Recientes en Patagonia, Andes Meridionales, 1990” que reúne a investigadores de las áreas de glaciología, geomorfología e hidrología para complementar e incorporar nuevos ámbitos de investigación a los estudios precedentes.

El desarrollo de estos trabajos incluyen estudios geomorfológicos centrados principalmente en los alrededores de los glaciares; es así como MALAGNINO & STRELIN (1992) estudian las variaciones del Glaciar Upsala desde el Holoceno hasta el presente.

Esta investigación entrega una descripción acabada de los depósitos morrénicos y proglaciales del Glaciar Upsala. Los resultados de este trabajo asocian la conformación de estos depósitos a distintos procesos morfogenéticos y a sucesivos avances y retrocesos del glaciar.

Del mismo modo, este estudio establece edades para los depósitos identificados, basándose en las investigaciones de FERUGLIO (1945) y MERCER (1965) y en análisis dendrocronológicos realizados por MALAGNINO & STRELIN (1992).

Los principales sistemas morfológicos identificados para el Glaciar Upsala son:

- Tres sistemas morrénicos laterales producidos por avances oscilatorios del glaciar. Estos sistemas se identifican en ambas vertientes del valle principal.
- Tres sistemas morrénicos terminales en la Península proglacial. Estos arcos morrénicos no presentan continuidad debido a la acción de canales de disección.
- Planos de *outwash* o planicies proglaciales de origen fluvial entre los cinturones morrénicos identificados en el sector distal del sistema específicamente en una península proglacial.

- Depósitos lacustres asociados al lavado del plano de *outwash* y a deltas fluviales en la zona terminal del glaciar.
- Lagos proglaciales en zonas intermorrénicas.
- Glaciares tributarios principales de gran influencia sobre la cuenca del glaciar principal.

Otro estudio vinculado a la descripción y análisis geomorfológico en CHS es el desarrollado por YAMADA (1992) en el Glaciar Tyndall; esta investigación tiene como objetivo reconstruir las fluctuaciones del glaciar mediante la identificación y descripción de la distribución de morrenas y registros topográficos.

La investigación permite identificar los siguientes elementos morfológicos principales:

- Tres pulsos morrénicos en la zona terminal del Glaciar Tyndall.
- Lago proglacial originado por el represamiento de las aguas de fusión entre los arcos morrénicos terminales y el frente glaciar.
- Planos de *outwash* aguas abajo del cinturón morrénico terminal en la zona proglacial, generados por el lavado desde la zona terminal.
- *Trimline* en las vertientes del valle glaciar.

Al mismo tiempo, YAMADA (1992) clasifica los sistemas morrénicos de acuerdo a su posición relativa, grado de disección y desarrollo de vegetación.

A su vez, en Campos de Hielo Norte (CHN) se han realizado diversos estudios en el marco de "Estudios Glaciológicos y Geomorfológicos en Patagonia, 1998 y 1999".

La investigación desarrollada por ANIYA & NARUSE (2001) en el Glaciar Soler orientada a determinar los avances de este durante el Holoceno Superior, se basa en la identificación y descripción de formas en la zona proglacial y terminal del glaciar.

Los principales rasgos geomorfológicos identificados son:

- Sistemas morrénicos laterales.
- Cinco cinturones morrénicos terminales en la zona distal del sistema glaciar, que se correlacionan con la depositación de las morrenas laterales.
- Planos de *outwash* asociados a la existencia de canales de derrame.
- Zonas intermorrénicas que presentan depresiones, estanques y paleocanales.
- Valle tributario de antigua coalescencia entre el Glaciar Cacho y el Glaciar Soler.
- *Trimline* en las vertientes del valle glaciar.

Por su parte, WINCHESTER & HARRISON (2000) han desarrollado estudios en los Glaciares Colonia, Arenales y Arco en CHN. El objetivo principal

de estos trabajos es la datación de rasgos geomorfológicos de los tres glaciares, haciendo uso de métodos dendrocronológicos.

Esta investigación identifica las siguientes formas principales:

- Morrenas laterales identificadas en las vertientes de los tres glaciares analizados.
- *Trimline* sobre los sistemas morrénicos laterales.
- Morrenas terminales en la zona distal del sistema.
- Lago proglacial represado por las morrenas terminales.
- Frente desprendente de los glaciares que alimentan el lago proglacial.
- Planos de *outwash* en la zona proglacial de los sistemas glaciales.
- Canales de desagüe y depósitos fluvio – glaciales.

En general, los estudios referentes a geomorfología glacial se centran en las zonas distales de las cuencas glaciales; sin embargo, los trabajos de ANIYA & SKVARCA (1992) en el Glaciar Upsala y en el Glaciar Moreno; KADOTA et al. (1992) en el Glaciar Tyndall; KOIZUMI & NARUSE (1992) en el Glaciar Tyndall hacen referencia de manera bastante somera a rasgos geomorfológicos de las zonas supraglaciales, identificando exclusivamente morrenas mediales, bandas de ceniza y *nunataks* o roca expuesta.

El escaso desarrollo de estas investigaciones, en el ámbito de geomorfología supraglacial, se entiende dentro del marco de orientación de los estudios hacia aspectos glaciológicos como velocidad del flujo glaciar, variaciones glaciares (referidas a avances o retrocesos) y condiciones de ablación asociadas a variaciones climáticas.

Los antecedentes de estudios geomorfológicos en la zona Nororiental de CHS, específicamente de las cuencas de los Glaciares O'Higgins y Chico representan los principales antecedentes a considerar en el presente estudio y se resumen en tres investigaciones detalladas a continuación.

El primer acercamiento hacia el desarrollo de una investigación puramente geomorfológica fue la realizada por ARAYA-VERGARA (comunicación personal), correspondiente a la confección de una cartografía en el sector de las cuencas del Glaciar O'Higgins y el Glaciar Chico. Esta cartografía escala 1:100000 es bastante general y muestra principalmente macroformas (Figura 2). Sin embargo, sienta un precedente para el estudio detallado de ambas cuencas y constituye la base para la realización de posteriores estudios geomorfológicos a escalas de detalle mayor.

La cartografía es complementada por un bloque diagrama de la zona que esquematiza las formas encontradas en el sector y genera asociaciones respecto a la litología existente en el área (Figura 3).

Como segundo antecedente, se encuentra el trabajo realizado por ITURRIASPE & STRELIN (2002), quienes definieron 6 zonas en los sectores bajos

de las cuencas de los Glaciares Chico, O'Higgins y Gaea, los que fueron caracterizados geomorfológicamente.

El aporte fundamental de este trabajo consiste en la asociación de procesos a las formas encontradas, ya que la expresión cartográfica (Figura 4) de formas es bastante general y deja importantes sectores con vacíos de información. Los principales objetivos de este estudio son la identificación de procesos geomórficos activos, asociación de estos a la recesión de glaciares locales, así como también, a factores climáticos.

La incorporación de resultados con una fuerte impronta descriptiva, se debe, según los autores, a un escaso conocimiento de las particularidades de los procesos geomorfológicos en el área de estudio.

La zonificación responde al interés de representar las formas de acuerdo al tiempo y tipo de relieve expuesto una vez que se retiraron los glaciares y a las formas derivadas de la acción de factores exógenos (precipitaciones, grado de insolación, exposición a los vientos, cubierta vegetal e impacto antrópico).

Las conclusiones generales se refieren principalmente, a la relación existente entre los procesos geomorfológicos encontrados y el cambio climático (disminución de precipitaciones y aumento de temperatura). Las modificaciones en sistemas lacustres son los principales indicadores de estos fenómenos.

El tercer antecedente a considerar es el trabajo realizado por RIVERA (2004), en el cual se identifican 4 sistemas geomorfológicos principales asociados a los alcances de la glaciación en el área, mediante el reconocimiento de formas representativas correspondientes, en general, a sistemas morrénicos; a su vez se establece una correlación entre las formas encontradas y las etapas de formación de las mismas (Figura 5).

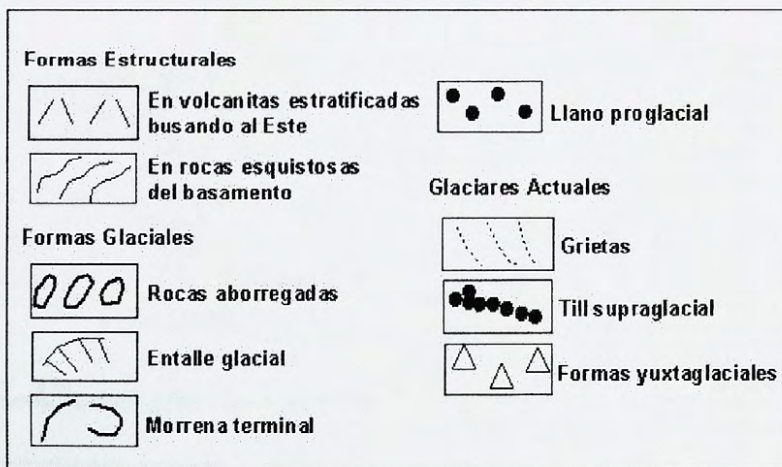
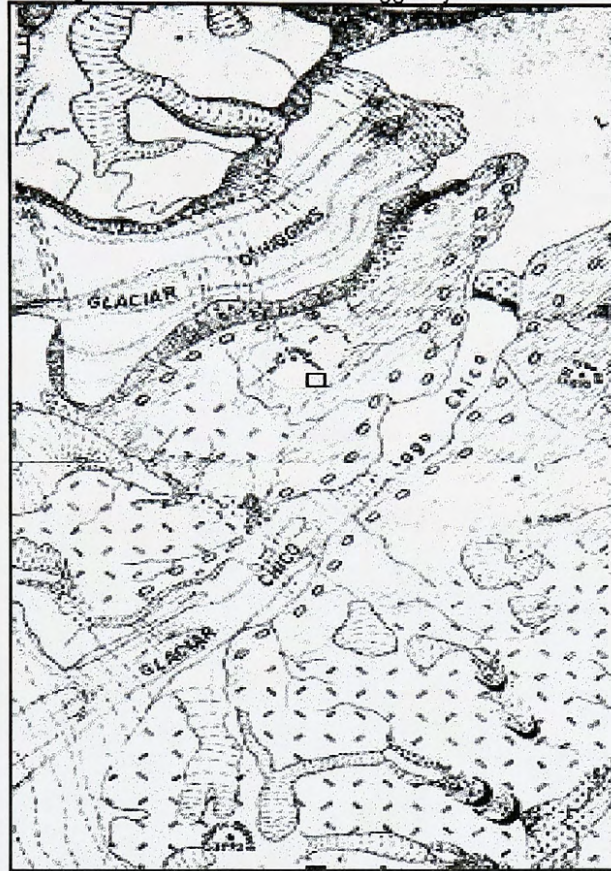
En este estudio Rivera (2004) reconoce e identifica características morfológicas tanto del Glaciar Chico como de glaciares colgantes tributarios a la cuenca del glaciar principal, correlacionando de manera sistémica la formación de sistemas morrénicos (laterales, terminales y de empuje) del Glaciar Chico y de sus tributarios.

Así mismo, RIVERA (2004) hace énfasis en la morfología y morfogénesis del "Valle Escondido" en la zona Noroeste de la cuenca del Glaciar Chico. La importancia geomorfológica del área, radica en la existencia de sistemas morrénicos terminales que evidencian una antigua confluencia de los frentes de los Glaciares Chico y Gaea, y en la depositación de materiales de origen fluvio – glacial y glacio – lacustre posterior al retroceso de ambos frentes glaciales.

RIVERA (2004) reconoce formas relacionadas con la deglaciación experimentada por el Glaciar Chico a partir de 1945. Estas formas se asocian al periodo entre el último avance del glaciar (correspondiente al sistema 4) y 1945.

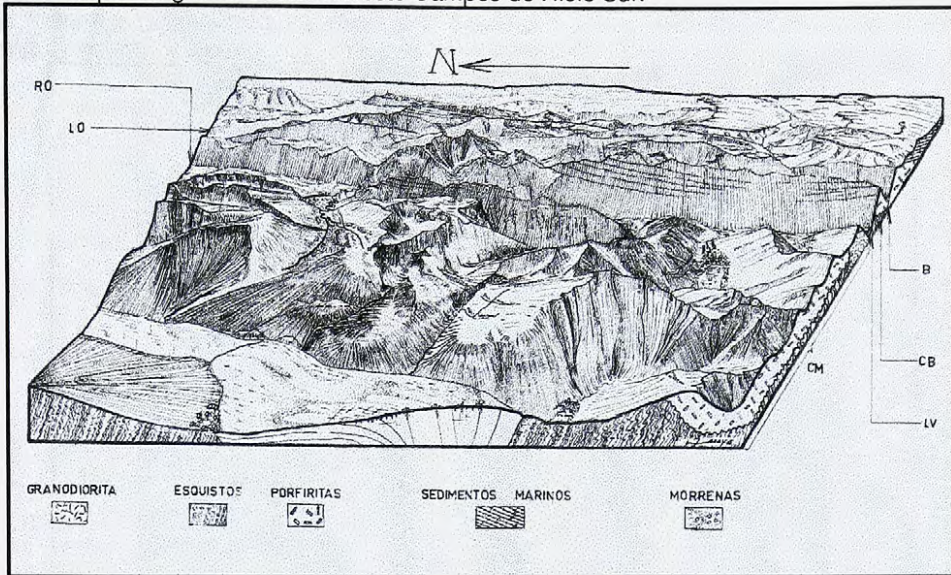
Es durante este lapso cuando el glaciar retrocede a lo largo de sus márgenes, especialmente en el frente glaciar donde el retroceso alcanza un máximo de $-10 \text{ m}^{\text{a}^{-1}}$. Este proceso se evidencia por una *trimline* que es visible ya en 1945.

Figura 2: Carta geomorfológica Cuencas Glaciares O'Higgins y Chico.



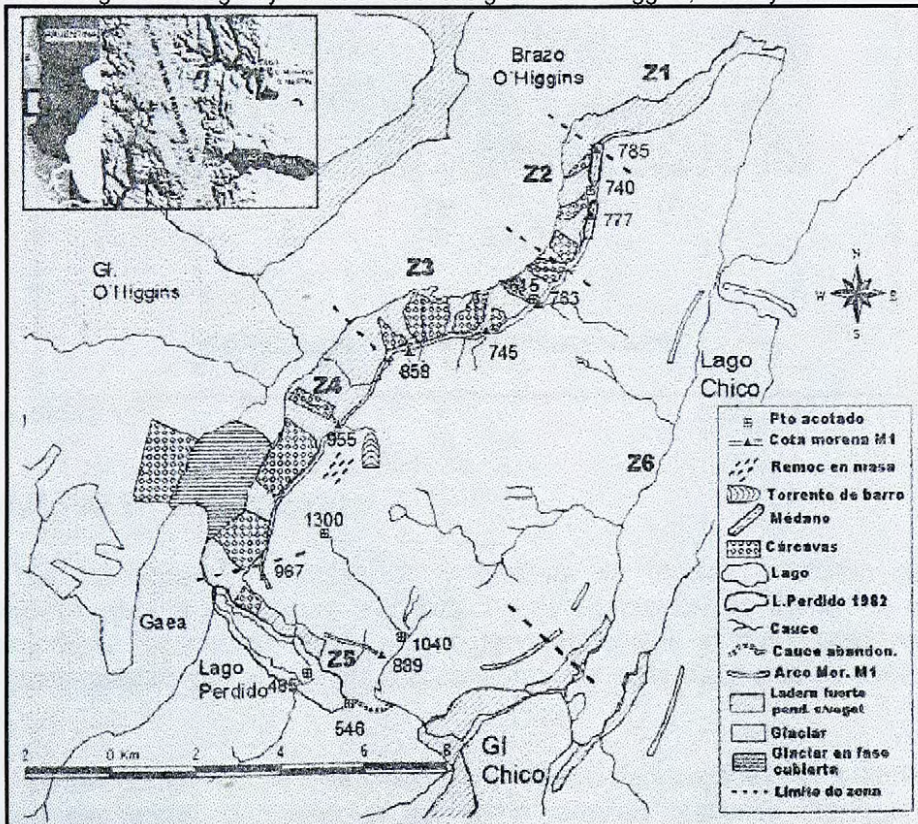
Fuente: Araya-Vergara, 1961.

Figura 3: Bloque Diagrama Sector Noreste Campos de Hielo Sur.



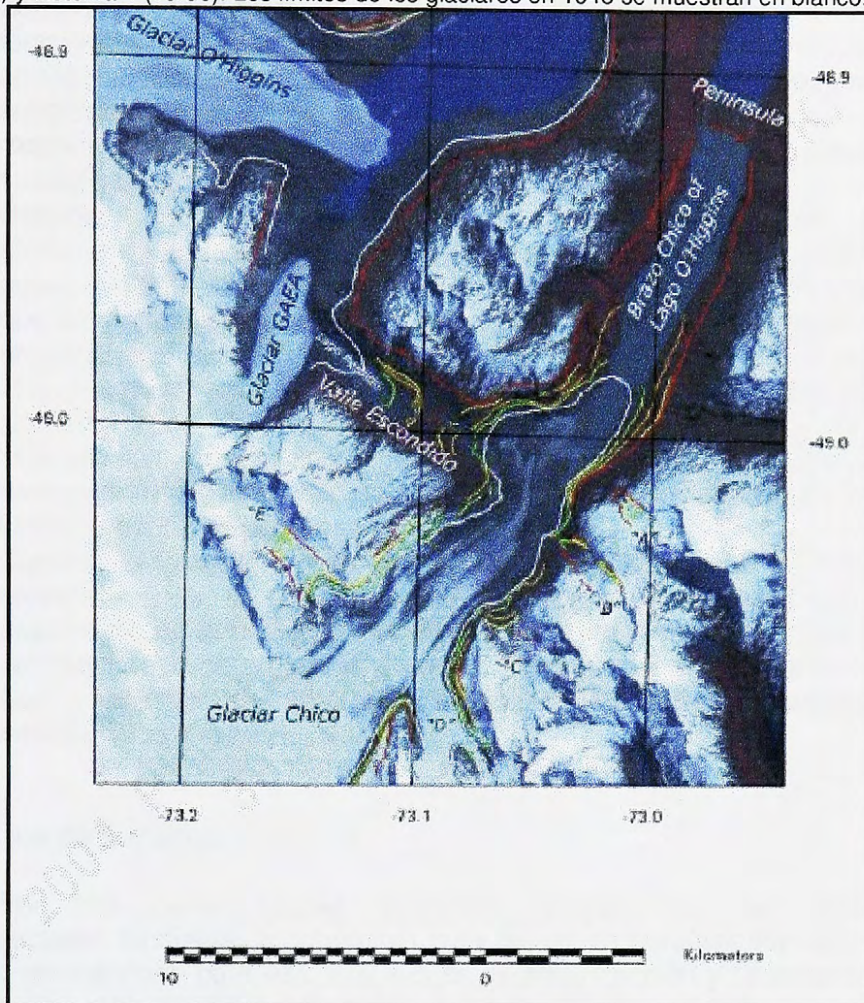
Fuente: Araya-Vergara, 1961.

Figura 4: Carta geomorfológica y zonación cuencas glaciares O'Higgins, Chico y Gaea.



Fuente: Iturriaspé & Strelin, 2002.

Figura 5: Imagen Satelital ASTER (14 octubre 2001) composición de bandas 1,2 y 3. se muestran los 4 sistemas geomorfológicos descritos. Sistema 1 (rojo), sistema 2 (amarillo), sistema 3 (naranja) y sistema 4 (verde). Los límites de los glaciares en 1945 se muestran en blanco.



Fuente: Rivera,2004.

Zonación de Sistemas Glaciales

La identificación, descripción y análisis de formas, permiten generar zonaciones para los sistemas glaciales. La determinación de zonas no incluye únicamente el reconocimiento de rasgos geomorfológicos, sino que está asociado a la morfogénesis de las partes componentes del sistema y a la relación entre ellas.

Es así como TRICART & CAILLEUX (1965), definen dominios y zonas que incluyen elementos morfológicos, así como también procesos morfogenéticos asociados a ellos.

De esta manera se definen tres componentes principales en la zonación:

- Zona de fusión: ámbito donde el agua se concentra en redes localizadas y temporales que están en contacto con el hielo. Esta zona incorpora las aguas intraglaciales (que pasan dentro del hielo), las infraglaciales o subglaciales (que pasan bajo el hielo y están en contacto con el lecho rocoso), supraglaciales (que avanzan sobre la superficie del glaciar) y las yuxttaglaciales que circulan por los bordes del glaciar.
- Dominio frontal: caracterizado por la desaparición del hielo, zona de depósito de las morrenas terminales, al cual se incorpora la acción de las aguas yuxttaglaciales. Se define a este dominio como una zona crítica en la que se evidencia una transición en el proceso del transporte que va desde un transporte eminentemente glacial (donde existen aportes de agua en la zona marginal) hacia una zona puramente fluvial en el dominio proglacial. En esta zona, la morfología se asocia principalmente a formas de acumulación representadas, en general, por morrenas que incluyen morrenas frontales de los glaciares locales, lenguas efluentes y morrenas costeras de los casquetes glaciares.
- Dominio proglacial: ámbito donde se reúnen las aguas de fusión para conformar ríos o esparcimientos en capa. Es caracterizado por el predominio de la acción de las aguas corrientes que resultan de la fusión del glaciar que se organizan en redes a los pies de las morrenas frontales. Las corrientes de agua de fusión incluyen cursos supraglaciales, intraglaciales y subglaciales.

Evolución de Sistemas Glaciales

Por otra parte, existen diferentes autores que han desarrollado investigaciones tendientes a determinar la evolución de sistemas glaciales en CHS y CHN, enfocándose para este objetivo en la determinación y caracterización de variaciones asociadas a avances o retrocesos en glaciares efluentes.

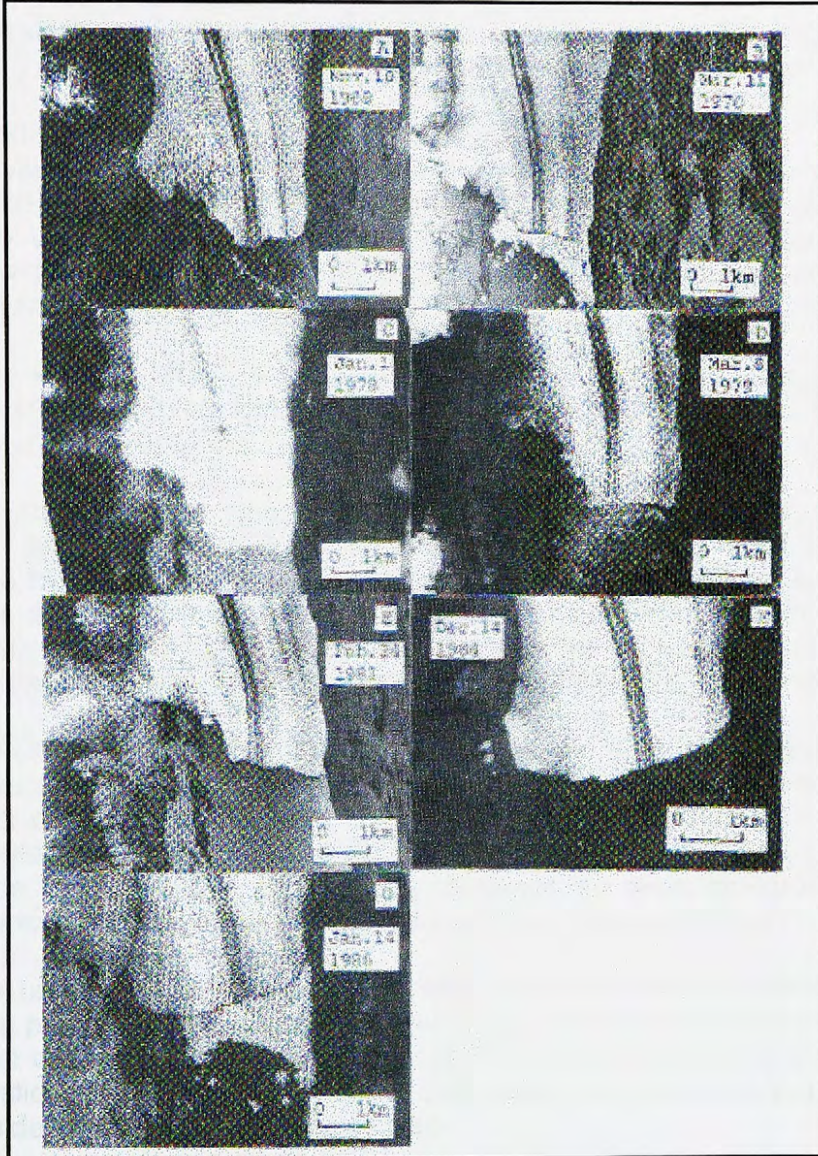
En este sentido, investigaciones como las desarrolladas por ANIYA & SKVARCA (1992) en el Glaciar Moreno, MALAGNINO & STRELIN (1992) en el Glaciar Upsala y ANIYA (1992) en glaciares de CHN representan los principales antecedentes a considerar para desarrollar análisis evolutivos de estos sistemas glaciales.

A pesar de que los resultados de estos estudios se asocian principalmente a la determinación de variaciones areales y lineales de los frentes glaciales, los métodos utilizados para este fin se relacionan directamente con aspectos geomorfológicos y topográficos.

Es así, como los análisis se centran en la determinación de la posición del frente de la lengua en diferentes años, tomando en cuenta para ello, hitos

geomorfológicos y topográficos, localizados en las zonas terminales y proglaciales de los sistemas glaciales, mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales (Figura 6).

Figura 6: Análisis de la variación frontal del Glaciar Upsala, utilizando imágenes satelitales y fotografías aéreas.



Fuente: Aniya & Skvarca, 1992.

Clasificación Morfológica de Sistemas Glaciales

Morfológicamente BENN & EVANS (1998) definen los campos de hielo como formas desarrolladas en cualquier área relativamente plana (sin dejar de lado la topografía local) y a una altitud suficiente como para que se acumule el hielo. Estos campos de hielo son drenados por grandes glaciares de valle, diferenciándose de los casquetes de hielo por la ausencia de domos en su superficie y porque su flujo está controlado por la topografía subyacente.

Morfológicamente, los glaciares efluentes ocupan depresiones del lecho glacial y valles encajonados labrando la base rocosa por efectos de la acción del hielo en las márgenes de los campos de hielo y son limitados por terrenos libres de hielo o *ice-free ground* (BENN & EVANS, 1998), su flujo adopta características de corriente o colada de alta velocidad y rápidos movimientos provocando acanaladuras y deformaciones en el hielo.

Por su parte POST & LACHAPELLE (2000), definen el campo de hielo como un área extensa de interconexión de valles glaciares, donde los picos más altos afloran como *nunataks*.

El drenaje de los campos de hielo considera la existencia de glaciares emisarios (LLIBOUTRY, 1956), los cuales se originan desde el interior de grandes masas de hielo (campos de hielo o hielos continentales) adoptando la forma de corrientes de hielo. Las cuencas por las cuales fluyen estos glaciares emisarios son depresiones de la superficie del sistema mayor que los alberga. Su cuenca de alimentación puede ser identificada por la presencia de grietas transversales.

BRÜGGEN (1928), considera a los glaciares emisarios como glaciares marginales pertenecientes a la zona de ablación de un sistema, que involucra la existencia de un campo de hielo correspondiente a la zona de acumulación o alimentación. La función principal de estos glaciares marginales es entregar el exceso de hielo a canales en forma de témpanos, es decir, descargar el hielo desde zonas centrales (o grandes acumulaciones) a zonas periféricas.

La producción de témpanos, se relaciona con la tasa de descarga y de flujos que permiten la eliminación del exceso de carga proveniente de las partes altas y por ende, son uno de los mecanismos de pérdida de masa del glaciar. Otra característica es la velocidad del flujo, la cual puede ser más rápida y no seguir la dirección de la totalidad de la masa de hielo.

Uno de los principales factores internos que provoca el desprendimiento de témpanos en los márgenes frontales de un glaciar, es la sustentación que otorga la base en que se está desplazando o reptando este cuerpo. HUGES (2002), ha demostrado que los desprendimientos se deben a la pérdida de fuerza del hielo que se presenta agrietado, y a la tensión provocada por su propio peso. La prolongación de las rupturas en las grietas hasta la base del hielo producen quiebres de bloques completos provocando la caída de la pared de hielo.

Los procesos de desprendimiento se ven acelerados si el lecho glaciar se encuentra en flotación debido a la disminución de estabilidad que provoca el agua (CASASSA, 2004, prensa).

En ambientes de alta montaña, los glaciares pueden presentar una cobertura detrítica superficial continua, conocida con el nombre de *debris covered glacier*, esta capa produce tanto en la zona de acumulación como en la zona de ablación un proceso progresivo de adelgazamiento de masa que genera una importante acumulación de detritos en ambientes supraglaciales (BENN & EVANS, 1998).

Este tipo de glaciares recubiertos representan la fase intermedia dentro del *continuum* de sistemas glaciales (dependientes del flujo de detritos y del hielo dentro del sistema) desde glaciares descubiertos a glaciares rocosos (ACKERT JR., 1998). Las diferentes fases responden a un *continuum* geomórfico y no genético y por lo tanto los términos asociados son de carácter genérico y no genético.

El origen de los detritos supraglaciales se asocia a la existencia de una secuencia cara libre talud en laderas con escarpes rocosos, que presentan alta sensibilidad a la meteorización y descargan detritos en forma directa sobre la superficie glacial (CLARK et al., 1998).

La acumulación de detritos supraglaciales influye directamente sobre los procesos de ablación y de flujo de hielo, debido a alteraciones en el albedo y en la conductividad térmica del glaciar. En este sentido, STREM (1959), NAKAWO & YOUNG (1981, 1982) (en FERRANDO, 2003) y BENN & EVANS (1998) definen un umbral inferior a 1 cm en la capa de detritos como el espesor que favorece la fusión del hielo y una capa de detritos de 1 cm o más como aislante del hielo subyacente.

Los procesos de fusión del hielo pueden favorecer el aumento en la capa detrítica supraglacial, debido a la incorporación de material intraglaciario al manto del *debris covered glacier* o cobertura detrítica glaciar. Esta situación, puede generar fenómenos de ablación diferencial, generando procesos de inversión del relieve, caracterizado por el derretimiento *in situ* del hielo intersticial de la cobertura detrítica en las zonas recubiertas del glaciar; este proceso es conocido con el nombre de *Karst glaciar* o *Criokarst*.

El incremento de detritos sobre la superficie glacial, puede provocar en casos extremos, procesos de ablación con tasas que tienden a cero, generando, en consecuencia, una ineficiente evacuación de los detritos y un proceso cada vez mayor de control topográfico en la dinámica del sistema, además de un mayor desarrollo de morrenas mediales y centrales.

RIVERA & CASASSA (2000), señalan que ciertas características topográficas de las cuencas glaciales, tales como hipsometría, pendientes,

geometría de los valles, espesor del hielo, material morrénico sobre la superficie del hielo, entre otros, y características glaciodinámicas como *surges* (avances rápidos), flujos, *calving* (desprendimientos), etc, son factores de control frente a las respuestas específicas de los glaciares a cambios climáticos.

Por su parte, BENN & EVANS (1998) postulan la existencia de factores externos que determinan las respuestas diferenciales de los glaciares, entre los que se cuentan la topografía circundante al glaciar, exposición y pendiente del valle que lo alberga, generando, en consecuencia, una diferencia en la recepción de radiación solar en la superficie glaciar.

La ubicación geográfica dentro del campo de hielo constituyen también condicionantes a las respuestas de los glaciares. En análisis espaciales de variaciones glaciales, CARRASCO et al. (1998) señalan que los glaciares localizados en la mitad Norte de Campos de Hielo Sur presentan retrocesos mayores que los ubicados en la mitad Sur; por su parte, los glaciares localizados en el margen Este muestran un mayor retroceso que aquellos del margen Oeste.

Por tanto no sólo son los cambios climáticos los que determinan las respuestas diferenciales de los glaciares frente a su entorno, sino que juegan un papel fundamental los rasgos morfológicos y topográficos de las cuencas y valles de emplazamiento, así como también los rasgos geomorfológicos del propio glaciar, denotando así la existencia de un *feedback* entre morfología y sistemas glaciales.

1.2 Hipótesis

Se establece como hipótesis, que si la cuenca del Glaciar Chico corresponde a la de un glaciar de exutorio (*outlet glacier*), descrita por MARDEN & CLAPPERTON (1995) como típica para los sistemas glaciales de la zona oriental de CHS, debieran presentarse formas indicativas, tanto para la cuenca como para el tipo de glaciar, del carácter periférico del sistema glacial con respecto al campo de hielo.

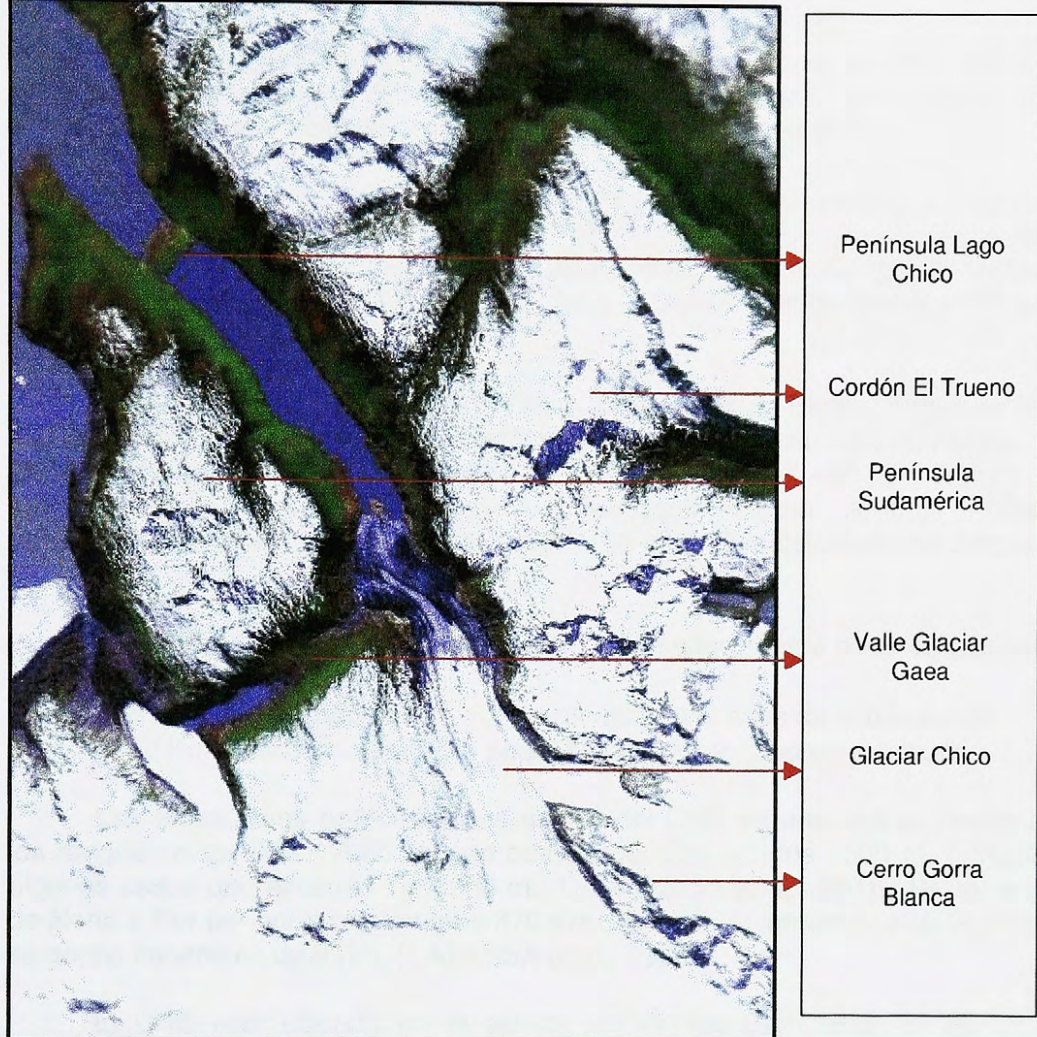
1.3 Propósito del Estudio

El propósito del presente estudio, consiste en analizar los rasgos geomorfológicos de la cuenca del Glaciar Chico, sus derivaciones morfogenéticas y los cambios morfológicos asociados para el periodo 1945 – 1997. Conjuntamente, se intenta establecer una zonación del sistema y la relación entre sus partes y una tipificación de la cuenca del Glaciar Chico con respecto a la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

Figura 7: Glaciar Chico.



Fuente: Imagen Google Earth 2004.

Ubicación	XI Región del General Carlos Ibáñez del Campo
Posición Geográfica	Lago O'Higgins
Latitud y Longitud	Latitud: 48° 30' - 49° S
	Longitud: 72° 45' - 73° 30' O

El desarrollo de investigaciones en el sector de CHS, se ha ligado principalmente a intereses científicos internacionales en el ámbito de glaciología y la relación existente entre las variaciones de los glaciares y el cambio climático global; por su parte, el desarrollo de estudios chilenos en el área es escaso y en general se asocia a investigaciones llevadas a cabo por el Centro de Estudios Científicos (CECS).

La limitada gama de estudios en el área, se relaciona con el difícil acceso a la zona, las inclemencias meteorológicas, los grandes costos operacionales y el importante despliegue logístico que implica realizar una expedición a este lugar.

Conforme a lo anterior, surge el interés por parte del Instituto Chileno de Campos de Hielo (ICCH) de fomentar el conocimiento de un área escasamente estudiada. De esta manera nace la idea de desarrollar el estudio geomorfológico de la cuenca del Glaciar Chico, con el fin de aportar antecedentes inéditos y nuevos conocimientos del área.

El Glaciar Chico se inserta en la zona de Campos de Hielo Patagónico Sur, el que constituye la mayor área englaciada de la Cordillera de Los Andes; se localiza a lo largo de la longitud media 73° 30' W y entre los 48° 15' y 51° 35' S. Las mediciones más exactas respecto a su superficie, indican que el CHS posee un área de 13000 Km² (ANIYA et al., 1996). La superficie calculada se desglosa en:

- 11259 Km² cubiertos por hielo y nieve, correspondientes a los 48 glaciares principales.
- 228 Km² correspondientes a roca expuesta en la zona de acumulación.
- 1513 Km² correspondientes a pequeños glaciares de circo y de valle.

Las elevaciones predominantes dentro del CHS se encuentran dentro de los rangos de los 800 - 2000 m, con peaks que alcanzan los 2500 m, e incluso algunos casos que exceden los 3000 m. (CARRASCO et al., 2001). Se extiende de Norte a Sur por aproximadamente 370 Km., su ancho promedio es de 35 Km. y su ancho mínimo es de 9 Km. (CASASSA et al., 1998).

El CHS está ubicado en el eje de los vientos del Oeste, (NARUSE & CASASSA 1985), recibiendo su margen occidental gran cantidad de precipitación líquida y sólida debido a un efecto orográfico, con un promedio estimado de 10 m equivalente en agua en su sector alto (DGA 1987, CASASSA & RIVERA 1999).

Por su parte, en el margen oriental, el CHS recibe una precipitación mucho menor, con valores anuales de pocos cientos de mm de agua en la pampa Argentina (IBARZÁBAL et al., 1996).

La temperatura media anual de los márgenes del CHS es de aproximadamente 6° C (CARRASCO et al., 1998), coexistiendo bosque nativo de *Nothofagus* junto al hielo en la periferia de los frentes de los glaciares.

Debido a las condiciones atmosféricas imperantes en el área (altas temperaturas en la zona de ablación y parte de la zona de acumulación) LLIBOUTRY (1956), ARISTARAIN & DELMAS (1993), CARRASCO et al. (1998) y POST & LACHAPPELLE (2000) consideran que los glaciares que drenan el campo de hielo son del tipo templado o temperado, y sus características principales son:

- Localización de la isoterma 0° C por sobre la línea de equilibrio.
- Temperatura de la masa de hielo al punto de fusión (0° C y más).
- Altas velocidades de flujo y elevadas tasas de ablación.

La importancia de la clasificación de los glaciares dependiendo de la temperatura que alcanza la masa de hielo y por ende de la cercanía de la misma al punto de fusión, radica en el proceso de diagénesis, el cual se ve favorecido en los glaciares temperados debido a la continua recongelación.

Tomando como base el primer inventario detallado de los glaciares de CHS compilado por ANIYA et al. (1996), se determina la existencia de 48 glaciares efluentes principales (*outlet glacier*), generados desde una meseta extensa y relativamente plana con altitudes promedio de 1600 m, desaguando el campo de hielo mediante flujos que terminan en frentes desprendentes (*calving front*) en lagos de agua dulce localizados en el sector Este del CHS (CASASSA et al., 2000).

A los 49° 10' lat. Sur y 73° 20' long. Oeste LLIBOUTRY (1956) describe una zona donde el campo de hielo se estrecha por la presencia de dos cordones montañosos que corren paralelamente en dirección Norte-Sur (Lliboutry - Gaea al Oeste y Gorra Blanca al Este), esta zona se conoce como Paso de los Cuatro Glaciares y se caracteriza por conformar la zona del plateau que se extiende desde las cercanías del monte Fitz Roy hasta el Sur del volcán Lautaro por el Norte.

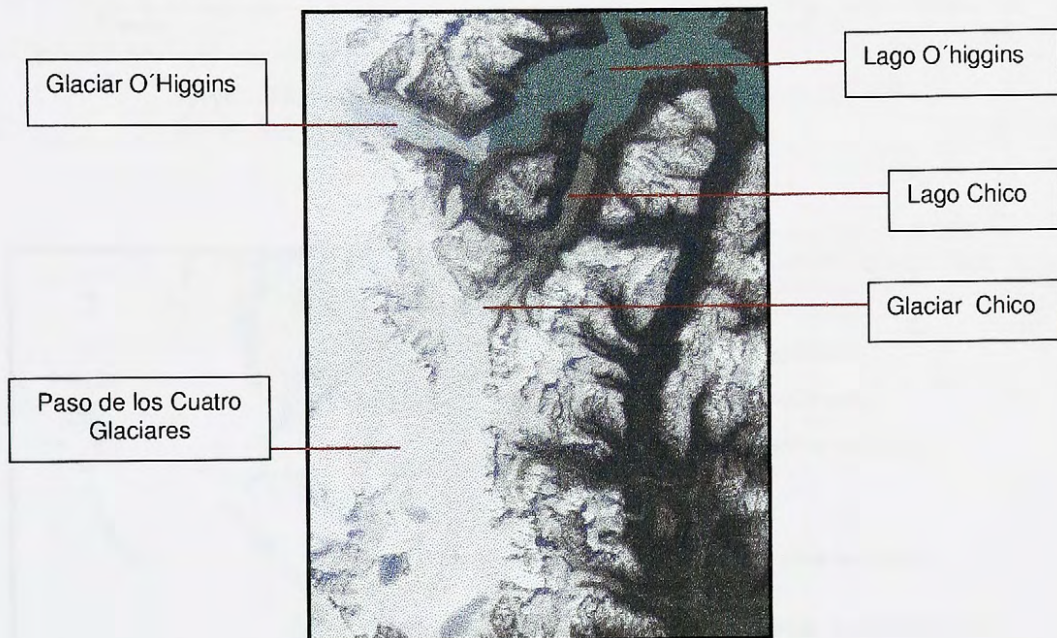
En este sector se unen las zonas de acumulación de 5 glaciares descargando sus flujos en diferentes direcciones; hacia el Sur fluye el Glaciar Viedma, hacia el Noreste fluye el Glaciar Chico, hacia el Norte fluye el Glaciar O'Higgins, hacia el Oeste fluye el Glaciar Pío XI y hacia el Este fluye el Glaciar Marconi.

El Glaciar Chico se ubica a los 49° 00' lat. Sur y 73° 04' long. Oeste, descendiendo desde la meseta correspondiente al plateau interno del CHS o Paso de los Cuatro Glaciares, su emplazamiento dentro de una depresión topográfica y la dinámica de drenaje del campo de hielo lo caracterizan como un glaciar efluente del plateau.

El glaciar se encuentra limitado por los cordones montañosos Liboutry y Gaea (o Pirámide) por el sector Oeste, y del cordón del cerro el Trueno y Gorra Blanca por el Este, siendo este último la cumbre de mayor altitud, desde la que desciende el Glaciar Gorra Blanca Norte, que corresponde a uno de los tributarios del Glaciar Chico junto con el Glaciar Pirámide por el sector Oeste.

La altura máxima desde donde comienza el flujo del Glaciar Chico se sitúa en el Cerro Gorra Blanca a 2810 m, la parte distal del glaciar se localiza en las márgenes del Lago Chico a 250 m de altura, donde se produce un efecto de desprendimiento del frente de la lengua, fenómeno conocido como *fresh water calving* o glaciares de desprendimiento en agua dulce (Figura 8).

Figura 8: Cuenca Glaciar Chico.



Fuente: Imagen satelital ETM+ 2001.

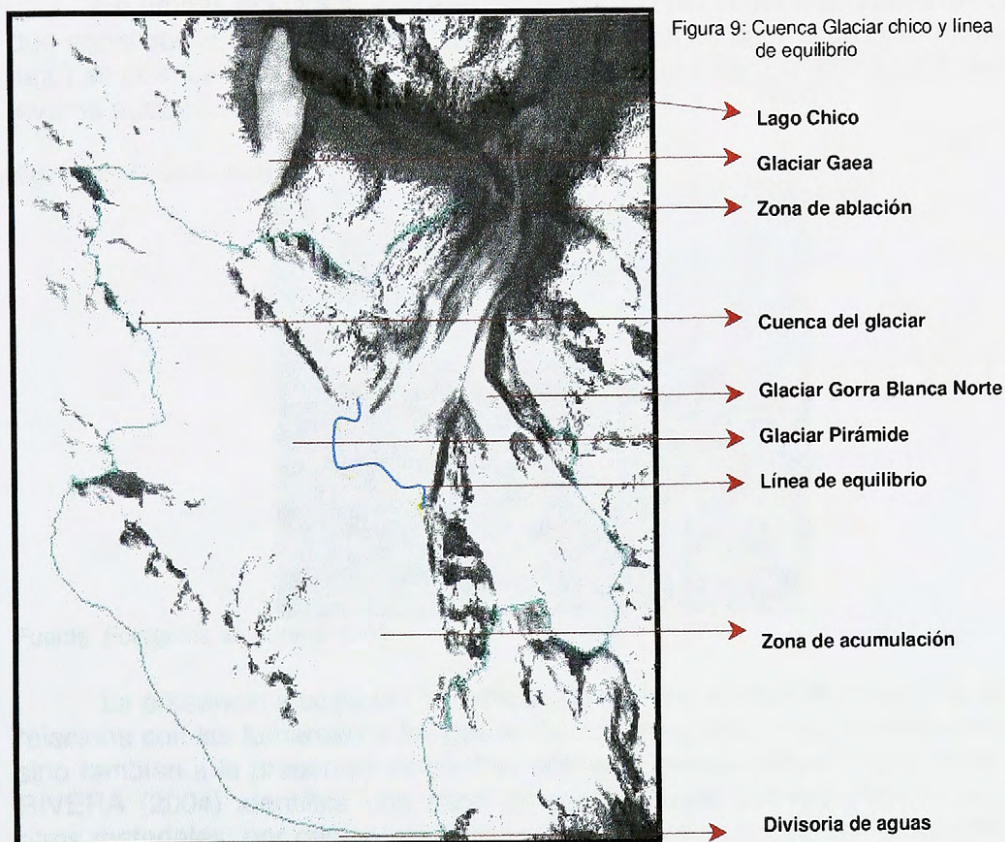
La pendiente promedio del glaciar es de 4.55% y fue calculada con un desnivel de 1150 m (divisoria de aguas) y una longitud de 25 Km.; sin embargo, se debe considerar que esta pendiente varía de acuerdo a la zona del glaciar que se considere; presentándose la mayor inclinación en el sector de transición entre la zona de acumulación y la zona de ablación (Figura 9).

Por su parte en las zonas de acumulación y ablación la pendiente es baja y constante. Los cambios de pendiente a lo largo del glaciar no son muy pronunciados y en general presenta una gradiente suave.

Tabla 1: Datos del glaciar

Orientación:	Nornordeste (Santis, 2005, inédito)
Área Total:	243 km ² (Aniya, 1996)
Área Acumulación:	149 Km ² (Aniya, 1996)
Área Ablación:	49 km ² (Aniya, 1996)
Largo:	25 km. (Aniya, 1996)
Cota Máxima:	1450 m. (Santis, 2005, inédito)
Cota Mínima:	285 m (Aniya, 1996)
AAR:	0.80 (Aniya, 1996)
ELA: (2000)	1300-1400 m aprox. (Rivera & Casassa)
Frente	Desprendente (calving)

Aniya, 1996 basado en cartografía preliminar IGM escala 1: 250.000
 Santis, 2005 basado en cartografía IGM escala 1:50.000



Fuente: Imagen Pancromática ETM+ 2001.

La litología presente en la cuenca del Glaciar Chico se clasifica en dos grandes grupos: rocas metamórficas (estratificadas) y rocas volcánicas (intrusivas) (VÁSQUEZ & FERNÁNDEZ, 2004).

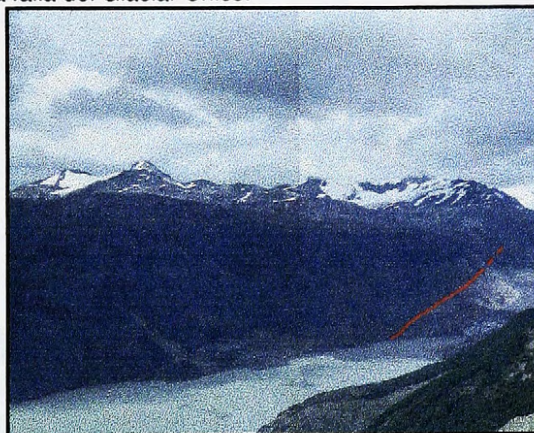
Los principales exponentes de las rocas estratificadas son:

- a) Basamento Metamórfico (BM) constituido principalmente por rocas de foliación moderada como esquistos y metareniscas y de foliación alta como filitas.
- b) Unidad Volcánico-sedimentaria Lago Chico (UVLC) cuya representación dentro del área de estudio es menor que la del BM, constituida principalmente por brechas polimícticas, tobas cristalinas y paraconglomerados polimícticos. Esta unidad se presenta intensamente metamorfozada o alterada hidrotermalmente y se evidencian foliaciones y pliegues que representan la frágil deformación de las rocas componentes.

Por su parte las rocas intrusivas que afloran en el área son filones y diques afaníticos, su orientación principal es NE-SW. Corresponden a monzonita de textura profídica, con fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico.

En ambas unidades se presentan fallas, la más importante posee una traza que corre por la riera Este del Lago Chico (sumergiéndose posteriormente en el lago) su orientación es NNW-SSE y manta hacia el Este, corresponde a una falla inversa pues pone al BM sobre la UVLC (Figura 10).

Figura 10: Trazado de la falla del Glaciar Chico.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

La presencia y actividad del volcán Lautaro en el área de estudio no sólo se relaciona con las fumarolas y los gases tóxicos presentes en su área de influencia, sino también a la presencia de piedras pómez y cenizas dispersas sobre el hielo. RIVERA (2004) identifica una capa de recubrimiento somero compuesta, entre otros materiales, por ceniza volcánica en una morrena central en la superficie del Glaciar Chico; incluso se señala que debido a la influencia del Lautaro se generan

procesos de avance o retroceso de los glaciares circundantes (Pío XI y O'Higgins respectivamente).

2.2 PROCEDIMIENTOS

Para el presente estudio se utilizaron materiales y métodos que permitieron realizar una representación cartográfica de elementos geomorfológicos identificados en trabajos de terreno, así como también, mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

El manejo de tecnología se basa principalmente en el uso de GPS para el levantamiento de datos y el uso de softwares que permitieron realizar diferentes tratamientos a fotografías aéreas e imágenes satelitales Landsat del área de estudio. Es por esto, que se definen conceptos directamente relacionados con la obtención de los datos, en gabinete y terreno que, procesados entregan información con características métricas que servirán para la fotointerpretación y mapeo de los cambios registrados para el área de estudio.

2.2.1 Materiales

Tabla 2: Cartografía de Referencia

Nombre	Año edición	Escala	Formato	Datum	Proyección	Glaciar
Fuente reservada	1998	1: 50000	Papel	WGS-84	UTM	O'Higgins
Fuente reservada	1998	1: 50000	Papel	WGS-84	UTM	Chico
Lamina N° 101 M.B.N	1982	1: 50000	Papel	PSAD-69	UTM	O'Higgins y Chico
Carta Argentina IGM	Sin ref.	1: 50000	Papel	Campo Inchauspe	UTM	O'Higgins y Chico

Tabla 3: Fotografías Aéreas

Fotografías aéreas			
Formato	Escala	Fecha	Fuente
Digital	1/40000.	1945	Trimetrogón SAF
Digital	1/70000	1975	SAF
Digital	1/100000	1995	IGM
Papel	1/70000	1997	IGM

Tabla 4: Imágenes Satelitales de la zona de estudio

Satélite	ID	WRS/path/Row	Data	Sensor	Resolución Espacial (m)	Formato
Landsat 7	035-164	2:232/094	14/05/01	ETM+	28.5x28.5/ Pan14.25	Digital Geotiff

Tabla 5: Instrumental

<i>Instrumental de terreno</i>		
GPS		
Modelo	Precisión horizontal	Precisión vertical
Garmin Venturer	5 m	30 m
Garmin Venturer	5 m	30 m
Magellan Sporttrack	4 m	30 m

Tabla 6: Software de Procesamiento

Software	Versión	Aplicación
ArcView	3.2	Diseño de Cartografía
Erdas	8.4	Georreferenciación
AutoCad	Land	Digitalización, Procesamiento GPS y Dibujo

El principal material utilizado corresponde al Glaciar Chico (49° 00' lat. Sur – 73° 04' long. Oeste) y su cuenca, desde el Paso de los Cuatro Glaciares hasta la Península del Lago Chico. Por otro lado, la simbología utilizada en la representación cartográfica corresponde a la toponimia establecida por ARAYA – VERGARA para la representación de sistemas geomorfológicos de alta montaña.

2.2.2 Métodos

La presente investigación se dividió en tres etapas, Pre – Terreno, Terreno y Post – Terreno. El difícil acceso y las impredecibles condiciones meteorológicas de la zona generaron la necesidad de realizar dos expediciones llevadas a cabo durante los meses de Febrero - Marzo de 2004 y Enero – Febrero de 2005. Ambas campañas consideraron procesos de Pre – Terreno en los que se contempló como principal factor la maximización de tiempo y eficiencia en el trabajo de terreno, en consecuencia las fechas escogidas para la realización de las expediciones coinciden con la temporada en que todas las condiciones favorecen y optimizan el desarrollo de las investigaciones (transporte, comunicación, clima, logística, entre otras).

Las tres etapas de desarrollo de la investigación se esquematizan a continuación.

Pre - Terreno

Recopilación de Material Cartográfico y Bibliográfico

El proceso de recopilación bibliográfica consideró en primer término antecedentes generales de tipo geomorfológico y glaciológico, en segundo lugar antecedentes relativos a expediciones realizadas a la zona, en tercer lugar estudios glaciológicos en las zonas de Campo de Hielo Norte y Campo de Hielo Sur, en cuarto lugar se consideraron las investigaciones del área de geomorfología glacial en la zona de Campo de Hielo Norte, para finalmente recopilar los estudios directamente relacionados con el ámbito y ubicación de la presente investigación.

La recopilación cartográfica se centró principalmente en las cartas de terreno confeccionadas por el grupo de cartografía del ICCH, la información contenida en la cartografía consideraba principalmente la topografía del área a escala 1:50000, junto con las rutas de acceso y apoyo de imágenes satelitales georeferenciadas.

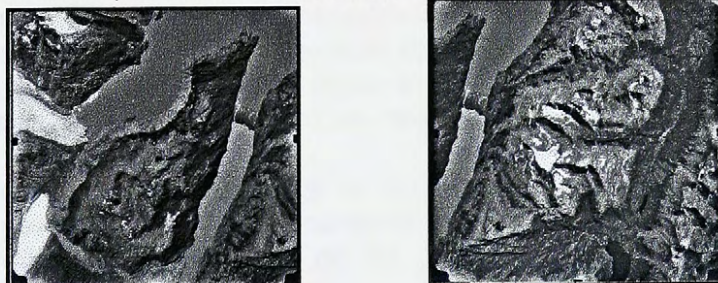
Análisis de Fotografías Aéreas

El trabajo de fotointerpretación consideró la zonificación de áreas de interés a visitar, la determinación de rutas de acceso a las mismas, la interpretación de formas y el desarrollo de cartografía geomorfológica preliminar a constatar en terreno.

Para el manejo de las fotografías aéreas se generó la visión tridimensional del terreno a partir de pares estereoscópicos y de un estereoscopio análogo (Figura 11).

Las formas identificadas preliminarmente entregaron el primer acercamiento geomorfológico del área el que posteriormente se vincula a la cartografía topográfica digital existente.

Figura 11: Par estereoscópico cuenca Glaciar Chico.

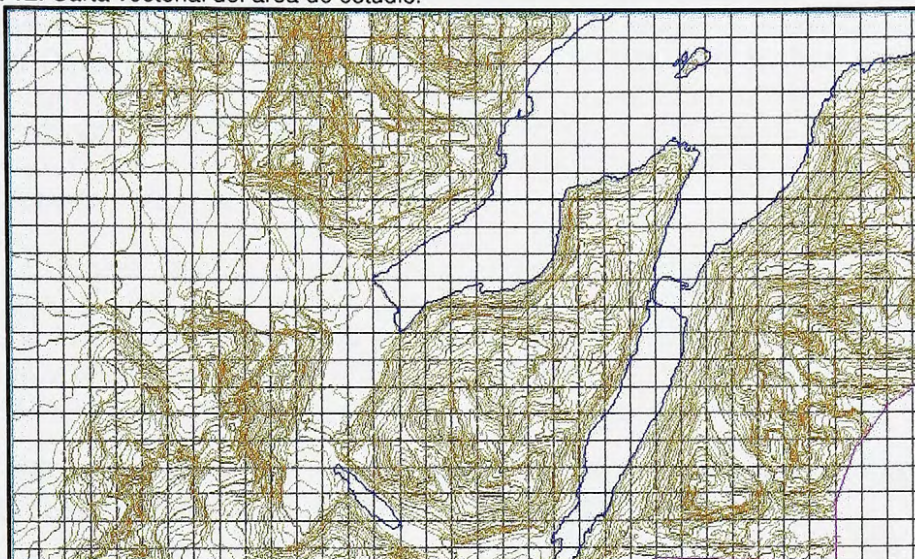


Fuente: Fotografía aérea 1997.

Creación y Zonificación de Cartografía de Terreno

El siguiente paso consistió en desarrollar cartografía específica de las zonas de interés registradas en el proceso de fotointerpretación. El traspaso de la información análoga (papel) se realizó sobre la cartografía digital vectorial, mediante el dibujo de formas identificadas con el software ArcView 3.2. La precisión cartográfica consideraba curvas de nivel cada 50 metros (Figura 12).

Figura 12: Carta vectorial del área de estudio.



Fuente: Grupo cartográfico ICCH.

Campañas de Terreno (Figura 13)

Levantamiento de información Febrero – Marzo 2004

La expedición consideraba la exploración de una ruta de acceso a través del Glaciar Chico al refugio Eduardo García del ICCH localizado en el *nunatak* a los pies del Cerro Gorra Blanca sobre el Paso de los Cuatro Glaciares; la travesía contemplaba el recorrido de la ruta A ubicada en el sector Este de la cuenca del Glaciar Chico perteneciente a Senderos de Chile. Geográficamente esta ruta corre paralela a la línea de altas cumbres de Norte a Sur, por los faldeos del cordón del Cerro el Trueno hasta el acceso a la zona de ablación del glaciar.

El objetivo principal del trabajo en terreno consistió en el levantamiento de información geomorfológica y la observación directa de formas registradas en el análisis previo (fotointerpretación) de las zonas de interés determinadas en gabinete.

En el recorrido de la ruta establecida, se logró obtener una visión panorámica de la cuenca del Lago Chico y de la zona de ablación del Glaciar

Chico; los campamentos establecidos durante la campaña permitieron realizar observación directa del sector septentrional de la cuenca del glaciar específicamente de la Península del Lago Chico donde se realizaron mediciones GPS, diseño de un perfil longitudinal Este – Oeste, identificación de micro formas e interpretación de procesos morfogenéticos derivados de la observación directa del paisaje.

Al ingresar a la ruta se pudo apreciar el lado oeste de la cuenca, en el primer tramo se observó la morfología del faldeo del cordón del Cerro el Toro generando croquis del área; en el segundo tramo se mapeo el sector del valle del Glaciar Gaea, la parte frontal del Glaciar Chico y los glaciares tributarios. El tercer tramo correspondió a la zona distal del glaciar, específicamente el lado este del frente, donde se identificaron y mapearon micro formas sobre el hielo como *dirt cone* (o conos sucios), *moulins* (o molinos), grietas, sifones, sectores con cobertura detrítica y morrenas superficiales.

El regreso al campamento base en el sector de la Península del Lago Chico consideró el mapeo, fotografía y levantamiento a escala meso y micro del sector Este de la cuenca, identificando principalmente formas asociadas a procesos de erosión y depositación del glaciar junto con procesos posteriores (deforestación, procesos fluviales, entre otros).

El mapeo se realizó sobre las fotografías aéreas y cartografía topográfica, con el apoyo de toma de fotografías y levantamiento de puntos GPS.

Levantamiento de información Enero – Febrero 2005

En esta campaña el propósito principal, consistió en el reconocimiento de la ruta B correspondiente al circuito “Los Glaciares” integrado a las rutas patrimoniales del Ministerio de Bienes Nacionales. El diseño de trabajo en terreno, siguió los patrones de la primera expedición, mejorando detalles logísticos y programando las actividades de manera de integrar óptimamente todos los trabajos a realizar. Se confeccionaron cartas de detalle de las zonas predeterminadas de interés.

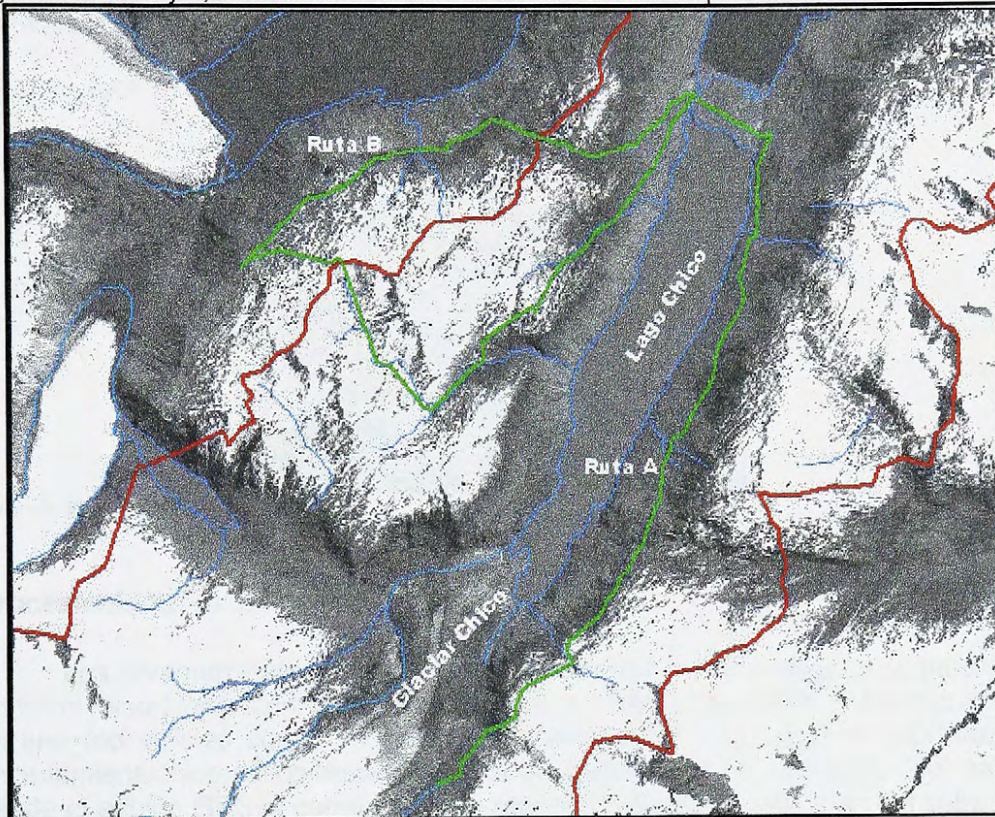
La principal observación y mapeo de formas se realizó desde la vertientes Oeste de la cuenca del Glaciar Chico, identificando claramente formas características de glaciares colgantes (circo, artesa, morrenas laterales, material detrítico proveniente de las laderas, terrazas y procesos fluviales posteriores a la acción glaciar). El segundo producto principal fue la toma de fotografías panorámicas del Glaciar Chico, del sector este de la cuenca y del valle del Glaciar Gaea.

El mal estado de la ruta y la información errónea entregada por la guía del circuito, alteraron directamente el trabajo en cuestión, acortando el tiempo de las observaciones, afectando los desplazamientos del grupo y alterando la observación de las zonas preestablecidas; sin embargo, la búsqueda de rutas

alternativas permitió la observación de los sectores altos de la cuenca del Glaciar Chico por el lado oeste y de la zona limítrofe de esta con la cuenca del Glaciar O'Higgins.

La información recopilada en ambos terrenos permitió generar una visión bastante clara del sistema de la cuenca del Glaciar Chico y de las influencias que sobre el paisaje a generado la existencia de un sistema complejo de glaciares, sistemas hídricos y fenómenos lacustres.

Figura 13: Ruta A y B, circuitos de levantamiento de información campañas 2004-2005.



Fuente: Imagen pancromática Landsat 2001. Datum WGS 84, UTM, Huso 18 Sur (La autora).

Post - Terreno

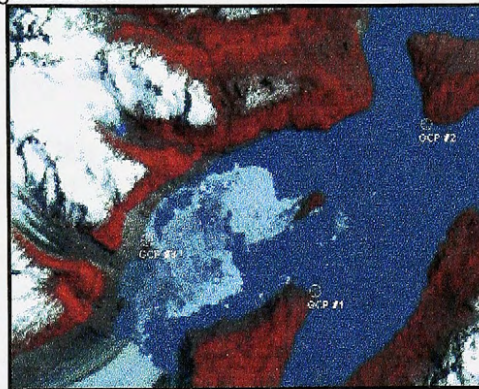
Procesamiento de datos:

La fase de integración de los datos consistió, en el procesamiento de la información recopilada en las etapas de Pre- Terreno y Terreno, generando como productos finales cartografías temáticas, planos y perfiles topográficos.

Procesamiento de Imágenes Satelitales

Se procedió a georreferenciar la imagen pancromática Landsat 2001 mediante el módulo GCP (*Ground Control Point*) o punto de control terrestre en el software Erdas 8.4. (Figura 14)

Figura 14: GCP sobre imagen satelital



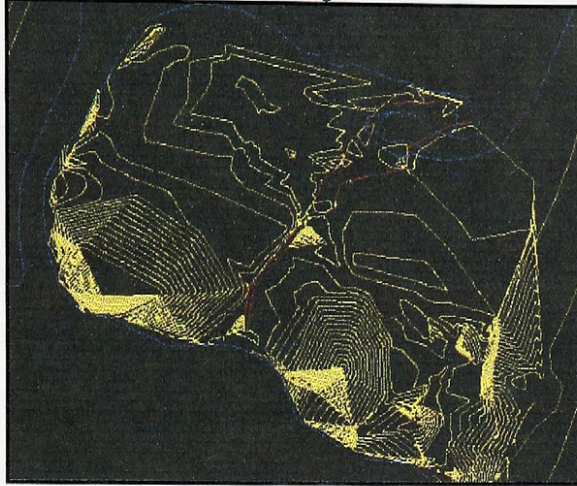
Fuente: Imagen satelital ETM+, 2001.

Procesamiento de Datos GPS

Los levantamientos realizados se dividen en dos procesos principales, el primero relacionado con la identificación de formas particulares encontradas en terreno (no visibles con el método de estereoscopia) y el segundo asociado al levantamiento topográfico de la Península del Lago Chico. El traspaso de datos desde el equipo GPS al computador se realizó mediante la utilización del software GPS Trackmaker.

Producto del levantamiento topográfico se generaron curvas de nivel aproximadas y perfiles de la zona de la cuenca del Glaciar Chico, en el software AutoCad Land, mediante la creación de un modelo digital de elevaciones en el que se interpoló la información de las coordenadas para finalmente obtener curvas de nivel aproximadas (debido a la imprecisión de los equipos navegadores) (Figura 15).

Figura 15: Plano Topográfico de la Península del Lago Chico.



Fuente: Elaborada por la autora.

Procesamiento de Fotografías Aéreas

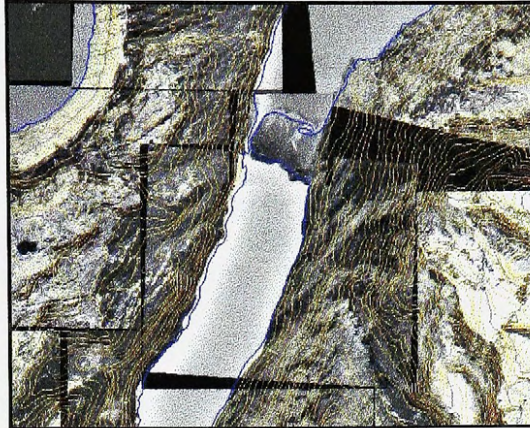
Para el manejo de las fotografías aéreas se generó la visión tridimensional del terreno a partir de un estereoscopio análogo y pares estereoscópicos de fotografías aéreas, con lo que fue posible distinguir rasgos característicos del terreno, posibilitando la interpretación de las formas y su posterior mapeo sobre la cartografía existente.

Para mejorar los resultados se procedió a crear subescenas de cada fotografía aérea en las zonas ortogonales de estas, disminuyendo la distorsión lateral; estos recortes se georreferenciaron utilizando la metodología anterior, para posteriormente superponerlos a los vectores e imagen satelital pancromática procesados con anterioridad.

Los procedimientos anteriores permitieron el traspaso de la información proveniente del análisis estereoscópico a formato digital de alta resolución (15 metros de terreno por cada píxel en la imagen pancromática y 7 metros de terreno por cada píxel en fotografías aéreas) lo que permitió distinguir claramente las formas aumentando la precisión en el dibujo y mapeo de estas en cuanto a su posición espacial.

Una vez corregidas las imágenes satelitales y fotografías aéreas, en el software Erdas 8.4, estas fueron desplegadas en ArcView 3.2 junto con la carta vectorial superponiendo toda la información georreferenciada bajo el mismo sistema (Figura 16).

Figura 16: Imagen pancromática, recortes de fotografías aéreas con información vectorial topográfica.



Fuente: Elaborado por la autora.

Confección de Cartografía Geomorfológica

Para la representación cartográfica de las formas identificadas mediante fotointerpretación y levantamiento de terreno se utilizó el software ArcView 3.2.

Errores asociados

Los errores de la fuente son corregidos o disminuidos con el objeto de acercarse a la realidad, proyectada como cartografía.

La carta vectorial digital de la zona de estudio utilizada como base para el estudio, posee un error estimado de 15 metros, lo que significa que los vectores provenientes de la digitalización de cartografía regular poseen un error aproximado de 15 metros con respecto al terreno.

En la imagen satelital se presentó un error de desplazamiento lineal con respecto al vector de:

$$\text{ETM Pancromática 2001} = 14.25 \text{ m}$$

Los errores derivados del levantamiento de información a través de GPS consideran un rango máximo del orden de los 30 metros.

Con todos los errores obtenidos, es decir, los provenientes de la obtención del vector cartográfico (15 metros), el error de la imagen Pancromática de 14.25 metros y los del levantamiento GPS, se establece un error lineal promedio de + / - 30 metros, pero como índice de confianza se establece una tolerancia de + / - 40 metros lineales para todas las representaciones.

Zonación de la Cuenca Glacial

La zonación de la cuenca del Glaciar Chico se realizó considerando siete dominios morfológicos principales. La definición de cada uno se establece considerando la posición de las formas según su ubicación respecto al glaciar.

La determinación de cada dominio se relaciona directamente con la acción pasada y presente del hielo y por tanto en los siete sistemas establecidos la ausencia o presencia del hielo es un factor determinante para la identificación y delimitación de cada uno, tomando en cuenta los procesos glaciales y periglaciales que en ellos han actuado. Es así, como se determinaron las zonas que siguen:

1. Dominio Proglacial.
2. Dominio Terminal.
3. Dominio Supraglacial.
4. Dominio Yuxtaglacial.
5. Dominio Infraglacial.
6. Dominio Glacial.
7. Dominio Periglacial.

El **dominio proglacial** se define como la zona comprendida desde el término del arco morrénico terminal hacia el Norte. Se caracteriza por la existencia de un llano proglacial o plano de *outwash* constituido por dos conos de deyección coalescentes. Se asocia a las partes bajas y distales de la cuenca glacial.

El **dominio terminal** se define como la zona comprendida desde el frente actual del Glaciar Chico hasta el arco morrénico terminal localizado en la Península del Lago Chico. Las formas características de este dominio son: frente desprendente del glaciar, lago terminal y arco morrénico terminal.

El **dominio supraglacial** queda definido como el área en la que actualmente existe hielo y en la que existen formas asociadas a procesos glaciales activos como morrenas centrales o supraglaciales y morrenas mediales. Se evidencia en las partes altas de la cuenca glacial.

El **dominio yuxtaglacial** queda definido por las zonas laterales de la cuenca en las que ha existido influencia del glaciar principal en forma marginal por lo tanto presenta formas asociadas a procesos glaciales y erosionales. Las formas que componen este sistema son: morrenas laterales, entalle glaciar, rocas aborregadas, trimline y en ciertos sectores terrazas de kames.

El **dominio infraglacial** se subdivide en dos subsistemas, el **infraglacial antiguo** representado por formas heredadas de la Última Glaciación como rocas aborregadas emplazadas en las partes altas de las vertientes de la cuenca, sobre el entalle del dominio yuxtaglacial y el **infraglacial moderno** definido por las

zonas que actualmente se encuentran cubiertas de hielo y que son reconocidas mediante perfiles de topografía subglacial.

El **dominio glacial** queda definido por las zonas altas de la cuenca donde existen sistemas glaciales colgantes activos e inactivos. Las formas representativas de este dominio son: circos, artesas, morrenas de recesión y valles suspendidos.

El **dominio periglacial** queda definido por las zonas altas de la cuenca que presentan procesos periglaciales. Las formas representativas de este dominio son: vertiente residual crionival, talud, cornisa de cara libre y conos de coluvio.

La identificación de subsistemas, formas asociadas y generación de perfiles se realizó mediante la utilización de información secundaria correspondiente a imagen satelital ETM+ Pancromática, fotografías aéreas 1997 escala 1:70.000 y cartografía digital escala 1:50.000 y a información primaria correspondiente a levantamiento de terreno (mapeo de formas, fotografías de terreno, levantamiento de puntos GPS).

Morfología del Glaciar en Diferentes Estadios Evolutivos

La evolución en términos morfológicos de la cuenca del Glaciar Chico se determinó mediante la identificación de formas a través de un proceso de comparación de fotografías aéreas en un lapso de 50 años (1945 – 1997). Los cambios morfológicos identificados en el análisis, se vinculan a la zonación establecida para la cuenca. Así mismo, se establece como criterio de análisis la situación actual del glaciar como punto base de comparación para los años analizados.

En el desarrollo y análisis de la morfología de la cuenca del Glaciar Chico para los años considerados no se realizó un proceso de fotointerpretación debido a los siguientes factores:

- Las fotografías aéreas de los años 1945-1975-1995 se encuentran en formato digital.
- Las fotografías aéreas del año 1945 son oblicuas y no se realizó el proceso de ortorectificación.
- Las fotografías aéreas de 1995 no cuentan con pares estereoscópicos.

Por lo tanto, para efectos prácticos se procedió a realizar un análisis e inspección de formas y componentes claves del paisaje para la determinación de procesos evolutivos dentro de cada dominio establecido dentro de la cuenca del Glaciar Chico.

Clasificación morfológica del Valle del Glaciar Chico

La tipificación de la cuenca del Glaciar Chico se realizó mediante la comparación de este sistema con sistemas glaciales de circo simple y con sistemas glaciales efluentes de CHS y CHN.

Conjuntamente, la clasificación morfológica del glaciar se basó en la tipología establecida por los siguientes autores:

- SUMMERFIELD (2001) basado en SUDGEN & JOHN (1976).
- BENN & EVANS (1998) basados en clasificaciones desarrolladas por Ommanney (1969), Ostrem (1974), ARMSTRONG et al (1973). y SUDGEN & JOHN (1976).
- NARUSE & ANIYA (1992).
- CASASSA & RIVERA (1999).
- Brügger (1928).

La clasificación incorpora el análisis de la posición geomorfológica del glaciar, características de la topografía subglacial y supraglacial, flujos predominantes de hielo, direcciones de flujo.

Otro componente que se incorporó en la clasificación de la cuenca fue el análisis de la topografía superficial, la cual se realizó considerando información secundaria del CECS correspondiente a mediciones realizadas con receptores GPS de calidad topográfica y un radar de frecuencia de 2.5 Mhz e información primaria levantada por la expedición del ICCH en el 2004. La información consiste en perfiles de pendiente superficial del Glaciar Chico para los años 2001 y 2004 abarcando casi la totalidad de la superficie del glaciar.

Por otro lado, se establece una clasificación alternativa y complementaria del Glaciar Chico asociada a procesos de *continuum* dentro del sistema glacial; este *continuum* establece una clasificación asociada a la morfología supraglacial y a procesos evolutivos de formas desarrolladas dentro de este dominio y contempla el paso de glaciar descubierto - glaciar cubierto - glaciar rocoso.



Figura: Esquema de la cuenca

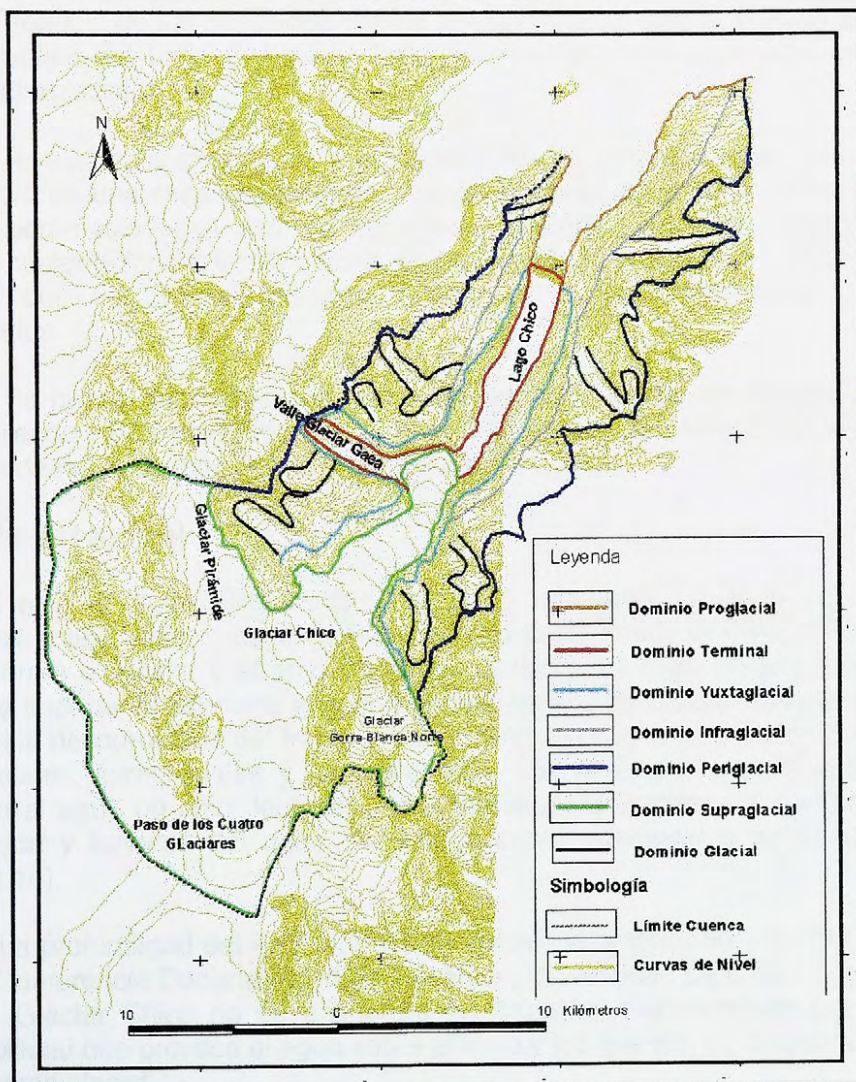
3. RESULTADOS

3.1 Zonación del sistema de la cuenca glacial y la relación entre sus partes.

Para la zonación del sistema glacial se han determinado siete dominios principales: proglacial, terminal, yuxtaglacial, infraglacial, supraglacial, glacial y periglacial. Dentro de cada dominio se identifican formas que se asocian a procesos morfogenéticos dependiendo de la acción predominante de erosión, transporte o depositación que permiten la caracterización de cada uno de ellos (Figura 17).

Figura 17: Zonación Cuenca Glaciar Chico.

Carta de Zonación Cuenca del Glaciar Chico



Fuente: Elaborada por la autora.

3.1.1 Dominio Terminal

Este dominio se extiende desde el frente del Glaciar Chico (frente desprendente de la lengua) hasta el arco morrénico terminal de la Península del Lago Chico bordeando las laderas del valle del sistema glacial.

Terminal glacial:

El frente glacial actual se encuentra aproximadamente a 10 Km. de la Península del Lago Chico. Presenta características de frente desprendente como resultado de los esfuerzos mecánicos en el cuerpo del hielo que generan el desprendimiento de témpanos desde la parte frontal de la lengua generando un fenómeno de *fresh water calving* o desprendimiento en agua dulce.

Producto de los desprendimientos del frente de la lengua, existen témpanos en las aguas del Lago Chico que incluyen material detrítico proveniente de las zonas intraglaciales.

Un elemento importante a considerar en la zona del frente glacial es la existencia de una **roca aborregada** que surge como un islote en el centro Lago Chico, perteneciente al dominio intraglacial antiguo; esta roca actúa como un agente sustentador del frente glacial, disminuyendo la probabilidad de colapso del glaciar, que en general, presenta fenómenos de desprendimiento o *calving* moderados.

Se puede decir entonces que actúa como un **punto de fijación** del hielo manteniendo cierta estabilidad en el frente del glaciar, disminuyendo por tanto la pérdida de masa de este (Carta Geomorfológica adjunta).

Lago terminal:

Hacia el Norte el dominio terminal se encuentra ocupado por un **lago terminal** (Lago Chico), cuya génesis se asocia al represamiento de aguas de fusión entre el glaciar y el arco morrénico terminal. El Lago Chico presenta una turbidez importante asociada al aporte de sedimentos de la zona intraglacial de los témpanos desprendidos del frente y del dominio supraglacial a través de canales subglaciales, intraglaciales y supraglaciales. Los sedimentos en suspensión le otorgan al agua un color lechoso y una turbidez importante; ambas condiciones coloración y turbidez del agua se conoce como *meltwater* o aguas de fusión (Figura 18).

La profundidad del este lago es de aproximadamente 50 – 80 m (RIVERA, 2004, Conferencia Departamento de Geofísica, Universidad de Chile) lo que indica que el Glaciar Chico no se encuentra en flotación, disminuyendo por tanto la inestabilidad que provoca el agua sobre el hielo y los eventos de desprendimientos en el frente glacial.

Figura 18: Fenómeno de meltwater.



Fuente: Fotografía de terreno 2002.

En el sector Oeste de este dominio se observa el desarrollo de un pequeño lago terminal cuya extensión está limitada por el frente de la lengua glacial (por el Este) y por la zona distal del valle del Glaciar Gaea (por el Oeste). Esta forma lacustre es alimentada por procesos de desprendimiento del frente glacial y por flujos de agua de fusión desde los sectores subglaciales, intraglaciales y superficiales del Glaciar Chico y se presenta confinada por la existencia de un umbral rocoso en la parte Sur y la lengua terminal del glaciar en la parte Norte (Figura 19).

Figura 19: Lago terminal y frente desprendente sector Noroeste Glaciar Chico.



Fuente: Fotografía de terreno 2002.

Valle del Glaciar Gaea:

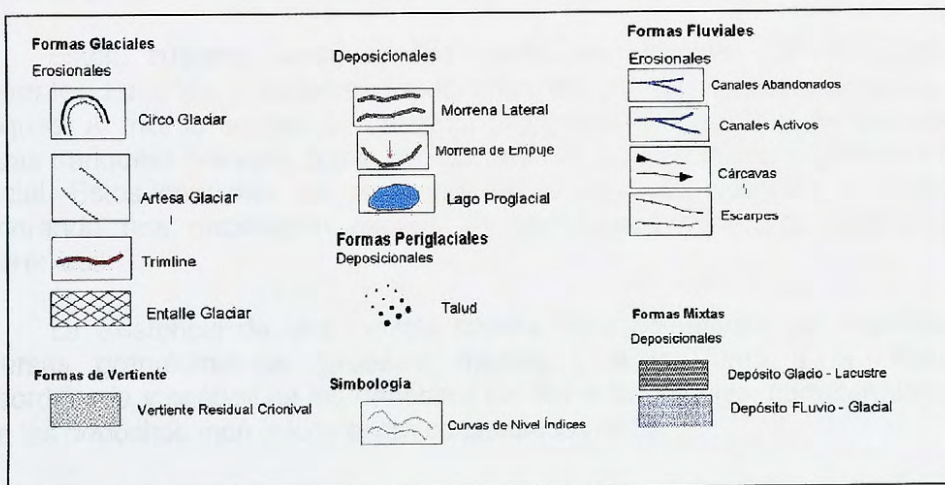
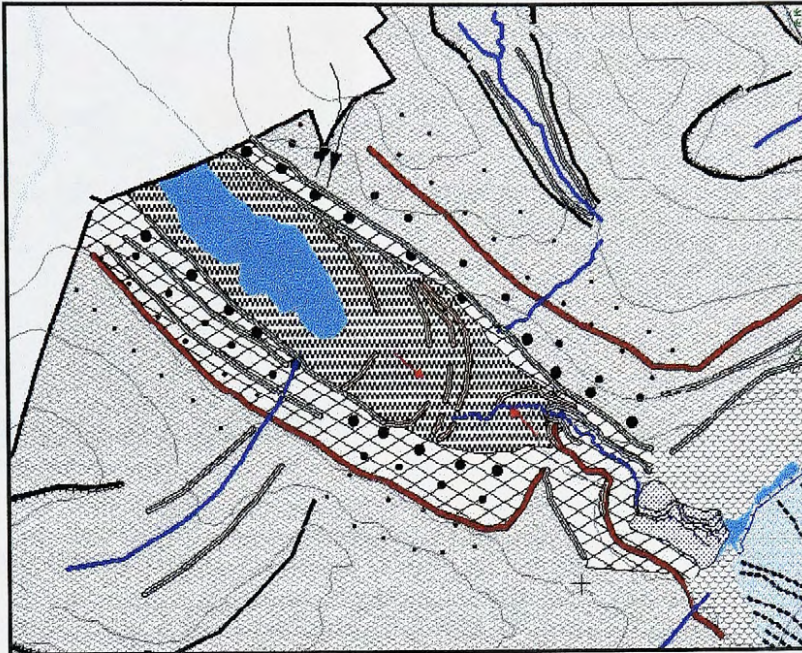
Por su parte en el valle del Glaciar Gaea (sector Suroeste del dominio terminal) se reconocen como elementos morfológicos principales los sistemas morrénicos terminales y de empuje que evidencian la antigua unión de los glaciares Chico y Gaea en la zona media del valle.

Actualmente la mayor parte del valle en el sector Oeste está ocupada por un lago terminal derivado del retroceso del Glaciar Gaea; hacia el lado Este del

valle, se presenta un sistema fluvial actualmente inactivo, que actuaba como canal de desagüe del lago Gaea hacia el Glaciar Chico (Figura 20).

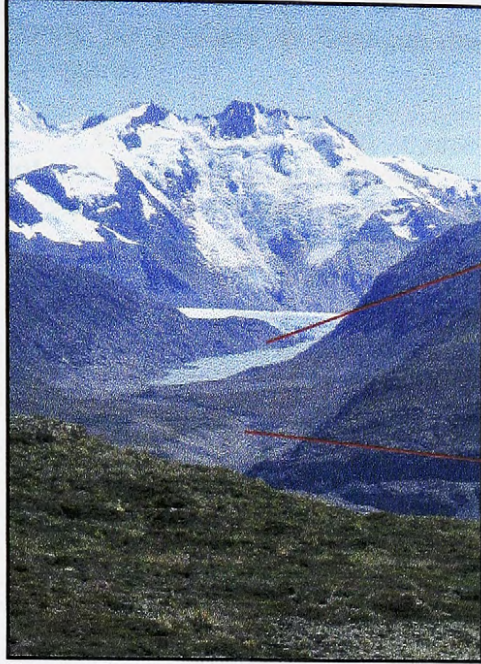
La acción erosiva del curso fluvial ha labrado el sector distal del valle dejando como testigo principal un sistema de terrazas (Figura 21).

Figura 20: Dominio Terminal, Valle Glaciar Gaea.



Fuente: Elaborado por la autora.

Figura 21: Valle Glaciar Gaea.



Lago Glaciar Gaea
Zona Glacio - Lacustre

Antiguo desagüe Lago Glaciar
Gaea
Zona Fluvio - Glacial

Fuente: Fotografía de terreno 2002.

Morrena terminal:

El testimonio más importante dejado por la acción glacial es la **morrena terminal** que presenta dos pulsos bien marcados.

Estos cuerpos sedimentarios están compuestos por materiales de diferentes tamaños y calibres. Predominan las gravas de tamaño medio y los bloques. Al mismo tiempo, se presenta una matriz fina que incluye depósitos de aguas tranquilas (varves), limos, arcillas, arenas, suelo (materia orgánica) y harina glacial. Estos depósitos no presentan un proceso de selección de materiales generando una disposición caótica de sedimentos dentro de ambos pulsos morrénicos.

La existencia de una mezcla sedimentaria compuesta por materiales de diversas granulometrías (gruesas, medias y finas) junto a la disposición desordenada y caótica de los depósitos de diamicton masivo, permiten establecer que los depósitos morrénicos están constituidos por till.

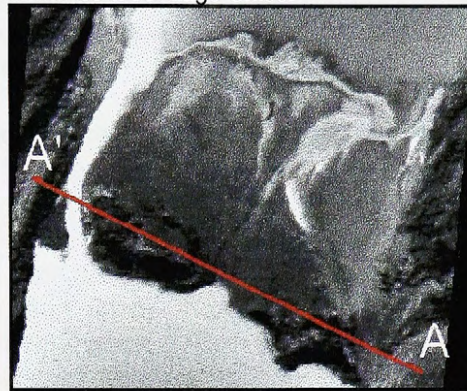
Estos sistemas morrénicos no presentan continuidad existiendo tres disecciones que los cruzan de Sur a Norte. La disección Este de la Península presenta un canal difluente, una de sus ramificaciones sigue por la sección Este y la otra ramificación confluye el canal central; actualmente este canal se encuentra cerrado en el sector Sur por grandes bloques y una cobertura vegetal importante; el canal central al igual que el canal del sector Este se presenta inactivo; la

disección más importante se evidencia al Oeste del cordón morrénico, desde donde se produce el desagüe de las aguas del Lago Chico hacia el Lago O'Higgins.

Entre ambos pulsos morrénicos se observa una depresión o **zona intermorrénica**, lo que evidencia la existencia de dos procesos distintos de deposición de material morrénico derivados del avance y empuje glacial.

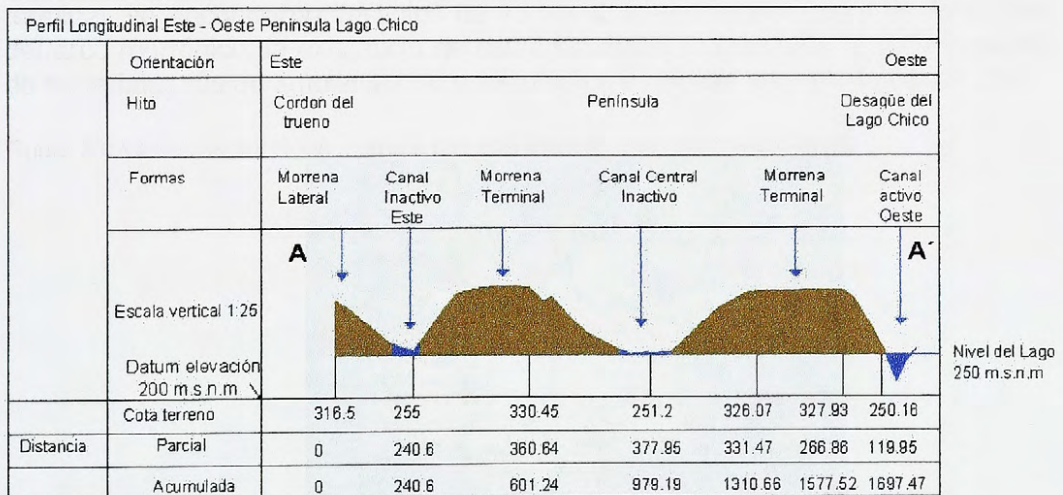
El sistema morrénico terminal y los canales de disección pueden observarse en el perfil 1, el trazado del perfil se expone en la figura 22.

Figura 22: Trazado de Perfil Península del Lago Chico.



Fuente: Elaborado por la Autora.

Perfil 1: Perfil Este – Oeste, Península Lago Chico.



Fuente: Elaborado por la autora.

El perfil A – A' del sector Norte de la Península del Lago Chico muestra una disminución progresiva en la altura de los canales en dirección Este – Oeste, lo que se asocia a dos factores:

1. Características morfológicas de los canales:

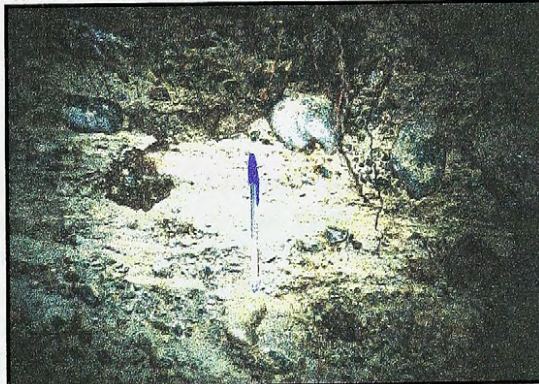
- El canal del sector Este presenta la mayor altura registrada correspondiente a 5 m (desde el nivel del lago) debido a la obstrucción del canal con material morrénico desprendido desde la morrena lateral adyacente y a que el ancho del canal es bastante reducido, presentándose encajonado en el sector Este por el flanco de valle y por el sector Oeste por el flanco de la morrena terminal.
- El canal central presenta una altura menor correspondiente a 1 m (desde el nivel del lago) derivada de un encajonamiento del canal menos pronunciado y de la colmatación del canal con material fino de características fluviales y lacustres.
- El canal de la sección Oeste registra la altura menor correspondiente al nivel del lago.

2. Antigüedad de los canales y grado de actividad:

- El canal Este presenta una cobertura vegetal importante y una capa de suelo de aproximadamente 15 cm, lo que evidencia la inactividad del canal y una antigüedad mayor que los dos canales restantes.
- El canal central presenta procesos acrecionales importantes; sin embargo, aún no se evidencia la generación de suelo y no existe cobertura vegetal de ningún tipo lo que se asocia a una actividad del canal relativamente reciente.
- El canal Oeste representa el proceso de disección más joven o reciente constituyendo el actual canal de desagüe del Lago Chico.

En el sector Noroeste del pulso externo (primer pulso) de la morrena terminal, se encontraron vestigios de varves a aproximadamente 7 m de la base del arco morrénico; la existencia de estos depósitos indican que la sedimentación de materiales fue en ambientes de acumulación en aguas tranquilas (Figura 23).

Figura 23: Varves sector Norte morrena terminal externa, Península Lago Chico.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

3.1.2 Dominio Proglacial

Este dominio se extiende desde el arco morrénico externo (primer pulso, más antiguo) hacia el Norte bordeando las laderas de la cuenca glacial, incluyendo un sector del Lago O'Higgins.

El arco morrénico del dominio terminal constituye un elemento morfológico fundamental en la configuración de formas del dominio proglacial.

La forma más representativa de este dominio es el llano proglacial de la Península del Lago Chico, localizado inmediatamente al Norte del término del sistema morrénico exterior. Este llano está conformado por dos grandes conos coalescentes separados por el canal central; la morfogénesis del llano proglacial se asocia al lavado de materiales finos desde el dominio terminal por la acción de aguas de fusión a través de portezuelos (Figura 25).

Se distinguen claramente 4 niveles principales dentro del llano. En el nivel superior se evidencia una secuencia de canales abandonados originados por el drenaje de aguas de fusión de canales subglaciales cuando el glaciar alcanzó su máximo avance y un proceso de estacionamiento. Por su parte en el nivel más bajo se presenta un importante llano de inundación ocupado esporádicamente; en algunos sectores de este llano se presentan pequeñas lagunas remanentes de procesos de colmatación de los sectores bajos.

El sistema morrénico terminal actúa en la actualidad como un regulador de presencia provocando que el flujo del Lago Chico adopte una clara dirección Noroeste; como se mencionó anteriormente las aguas del Lago Chico contienen grandes cantidades de material en suspensión las que originan con ayuda de la corriente del lago una convexidad de acreción presente desde el inicio del canal de desagüe hasta la sección Norte de la Península del Lago Chico.

Así mismo, la descarga de material detrítico desde la zona intraglacial de los témpanos del Lago Chico entregan material de mayor calibre para el depósito y acumulación en la convexidad de acreción generando un proceso de progradación de sedimentos en el área de expansión del flujo del Lago Chico en el sector de la desembocadura del mismo.

La orientación Este de la convexidad de acreción permite identificar la dirección predominante de la corriente del lago; el ancho de esta forma está regulada por la acción del Lago O'Higgins. La influencia de ambos cuerpos de agua (Lago O'Higgins y Lago Chico) sobre la convexidad de acreción se evidencia en su carácter estacional, ya que en periodos de lluvias o deshielos tiende a reducirse considerablemente.

El sector bordero de la península está delimitado por un sistema de playas constituidas por materiales rodados, gravas y troncos cuyo origen puede asociarse al socavamiento de la parte baja de la morrena terminal interior (segundo pulso,

más reciente), al transporte de sedimentos desde el glaciar hacia zonas que permiten sedimentación y al aporte de material intraglacial de los témpanos que son balseados por el viento hacia el exutorio de la cuenca; estas playas son de carácter estacional y están supeditadas a eventos de “marejadas” producidas en tiempos de tormentas en el lago o a aumentos del nivel del lago.

En el sector Sur de la Península del Lago Chico la playa presenta características de playa acrecional, es decir, se observa un crecimiento del sistema de playas hacia el Sur del dominio generando distintos niveles de acumulación separados por pequeños escarpes aumentando por tanto la superficie del dominio (Figura 24).

Figura 24: Playa acrecional sector Sur Península del Lago Chico.

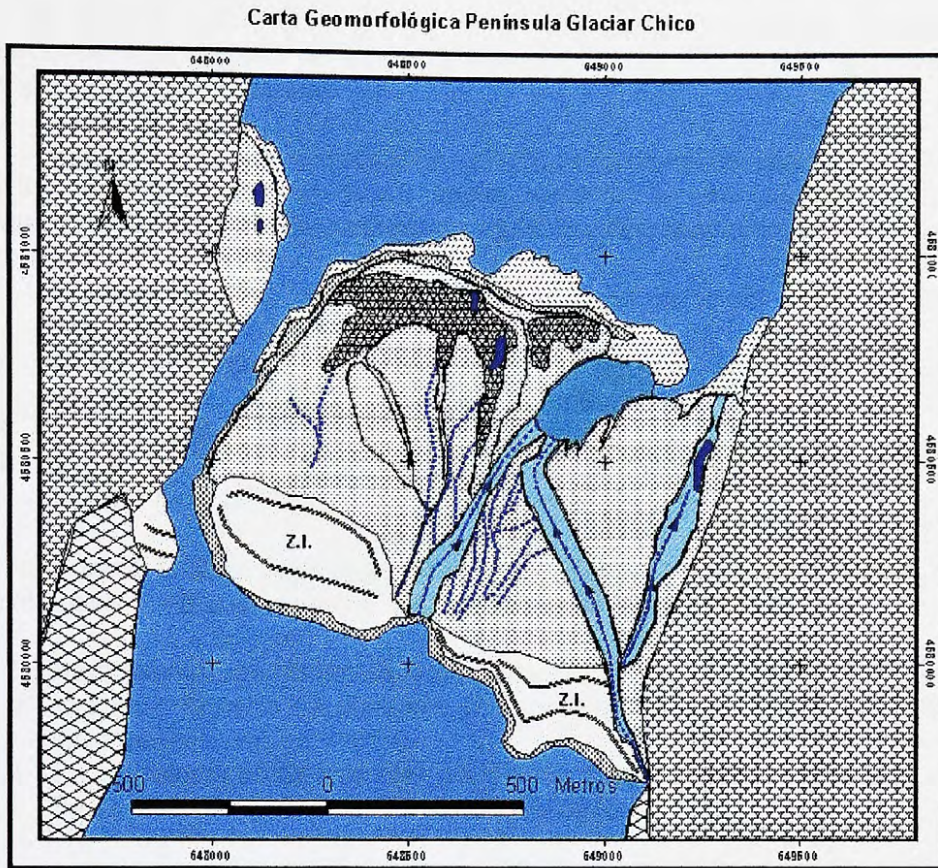


Fuente: Fotografía de terreno 2004.



Fuente: Elaborada por la autora.

Figura 25: Carta Geomorfológica Península Lago Chico, Dominios Terminal y Proglacial.



Leyenda	
Formas Glaciales	
Deposicionales	
	Morrena Terminal
	Morrena Lateral
	Zona Intermorrénica
	Lago Proglacial
Erosionales	
	Roca Aborregada
	Entalle Glacial
Formas Lacustres	
Deposicionales	
	Playa Acrecional
	Convexidad de Acreción
	Laguna Interior
Formas Fluviales	
Deposicionales	
	Depósitos Fluviales
	Llanura de Inundación
	Lagunas de Inundación
Erosionales	
	Canales de Desagüe
	Canales Abandonados
	Escarpes
Formas Proglaciales	
Deposicionales	
	Llano Proglacial o Plano de Outwash

Fuente: Elaborada por la autora.

3.1.3 Dominio Supraglacial

El dominio supraglacial se divide en dos partes principales. La primera corresponde a la **cuenca de alimentación** del Glaciar Chico y la segunda a la **zona de descarga** del mismo.

La **cuenca de alimentación** la constituye la zona del glaciar que recoge toda la masa de hielo en forma sólida, líquida, de precipitación, aludes o avalanchas que llegarán a la zona de acumulación. Se caracteriza por:

1. No presentar una fisonomía específica tanto del hielo como del relieve circundante o confinante.
2. Incluye a la zona de acumulación del glaciar, así como también a alimentaciones subsidiarias de glaciares tributarios.
3. Su morfología no se restringe a la de un circo.
4. Se delimita mediante la identificación de la divisoria de aguas y sobre la masa de hielo por la línea divisoria de flujos glaciales.

La **zona de descarga** queda definida por el área por la cual fluye la masa de hielo hacia la zona de ablación y el frente glaciar. Se caracteriza por:

1. No presentar una fisonomía específica.
2. Incluye a la zona de ablación, así como también, a masas afluentes de hielo de glaciares tributarios.
3. Su morfología no se restringe a la de una artesa o valle.
4. Se asocia a procesos de circulación del hielo.

Cuenca de alimentación

Dentro de esta zona se distinguen tres componentes principales:

- Zona de acumulación del Glaciar Chico.
- Glaciares tributarios.
- Cordones montañosos Gaea – Lliboutry y Gorra Blanca.

La **zona de acumulación** del Glaciar Chico está delimitada por el Paso de los Cuatro Glaciares por el Sur, por el Glaciar Pirámide por el Oeste, por el Cordón Gorra Blanca y el Glaciar Gorra Blanca Norte por el Este y por la línea de equilibrio por el Norte.

En la zona de acumulación se unen diversos flujos de hielo que conforman el flujo principal correspondiente al Glaciar Chico; desde el límite de la cuenca (1450 m) se concentran en el sector del Paso de los Cuatro Glaciares los flujos originados en el plateau de componente Sureste, Norte y Noroeste. En el sector Suroeste se concentran los flujos provenientes del Glaciar Pirámide y de pequeños glaciares tributarios desprendidos del Cordón Gaea – Lliboutry.

El límite de la zona de acumulación está representado por la línea de equilibrio del glaciar que corresponde a la línea divisoria entre las zonas de acumulación y ablación donde el balance de masa es cero localizada a los 1200 m aproximadamente (Carta Geomorfológica adjunta).

Sin embargo, la altura de la línea de equilibrio es variable y fluctúa de acuerdo al año y estación que se considere en el análisis; de esta manera el análisis de la imagen satelital Landsat (Mayo del 2001) muestra la localización de la línea de equilibrio del Glaciar Chico a 1100 m.s.n.m que coincide con la altura de la línea de nieves persistente que fluctúa entre los 1100 – 1250 m.s.n.m para la misma fecha.

Por otro lado, la inspección de terreno realizada en Febrero de 2004, permitió identificar la altura de la línea de equilibrio a aproximadamente 1300 m, por su parte la línea de nieves se encontraba aproximadamente a los 1500 m de altitud.

Existen dos sistemas **glaciares tributarios** importantes, correspondientes al Glaciar Pirámide en el sector Oeste de la cuenca y al Glaciar Gorra Blanca Norte en el sector Este de la cuenca (Carta Geomorfológica adjunta).

El flujo del Glaciar Pirámide posee una dirección de componente Sureste, sin embargo, al entrar en contacto con la corriente principal del Glaciar Chico, sufre una fuerte compresión, redireccionando a la lengua del glaciar tributario hacia el Noroeste. La condición de tributario del Glaciar Pirámide, se evidencia por la existencia de una **morrena medial** generada en la zona de contacto de ambos glaciares, por el redireccionamiento de la lengua del Pirámide y por la evidencia de deformaciones de tipo *ojivas* o arcos apuntados sobre la superficie de hielo (Carta Geomorfológica adjunta).

Por su parte, la subcuenca del Glaciar Gorra Blanca Norte está limitada por el Cordón Gorra Blanca y el Cordón El Trueno reduciendo de esta manera el contacto entre la zona de acumulación del Glaciar Chico y el Glaciar Gorra Blanca Norte a un pequeño paso entre el *nunatak* Soberanía y el Cerro Gorra Blanca.

Dentro de la subcuenca del Glaciar Gorra Blanca Norte se observa la existencia de un promontorio rocoso o *nunatak* que provoca una difluencia del hielo; en el sector Noreste de la difluencia se evidencia un pequeño lago o *tarn* que ocupa una concavidad generada por la acción erosiva del glaciar (Carta Geomorfológica adjunta).

La morfología de la cuenca de alimentación se caracteriza por la existencia de un importante sistema de pequeños glaciares que se descuelgan desde los **cordones montañosos** de la sección Este (Gorra Blanca) y Oeste (Gaea – Lliboutry) de la cuenca. La influencia de estos glaciares dentro de la zona de acumulación es importante, no sólo por el aporte de hielo, sino también por el aporte de una gran carga de detritos desde las partes altas de la cuenca.

Aguas abajo el flujo del Glaciar Chico fusiona las lenguas de los glaciares tributarios a la masa principal, generando por tanto una corriente homogénea y única que adopta una dirección Noreste.

Los *nunataks* existentes dentro de la cuenca de acumulación aportan material detrítico que es incorporado a las **morrenas centrales y mediales** del dominio supraglacial; al mismo tiempo actúan como barreras del flujo de hielo redireccionando y encauzando las corrientes.

La cuenca de alimentación, por tanto, corresponde a un área donde se evidencian procesos de acumulación derivados del aporte de glaciares tributarios y afluentes al Glaciar Chico; procesos de depositación, asociados a la existencia de morrenas mediales en la zona de contacto entre dos lenguas glaciales y morrenas centrales; procesos de deformación, representados por *ojivas* o arcos apuntados, generados por diferencias de velocidad entre el centro del flujo y los bordes del mismo y la existencia de *nunataks*, que frenan el flujo predominante produciendo un reorientación de este (Carta Geomorfológica adjunta).

Zona de descarga

Esta zona se caracteriza por la existencia de **morrenas superficiales o centrales**, formadas por materiales sueltos sin matriz o con matriz discontinua, proveniente desde el Cerro Gorra Blanca y el Cordón Gaea. El contenido sedimentario de estas morrenas es till o diamictón masivo y ceniza volcánica proveniente del volcán Lautaro (Carta Geomorfológica adjunta).

Estas morrenas centrales, presentan una morfología particular asociada a la velocidad del flujo de la corriente de hielo, evidenciándose un desarrollo longitudinal mucho mayor en el centro que en los bordes; se aprecia, entonces la diferencia de velocidad entre el centro de la corriente de hielo y los bordes de la misma.

Así mismo, se presentan dos **morrenas mediales** compuestas de till originadas por la unión del Glaciar Chico y el Glaciar Gorra Blanca Norte en el sector Este y del Glaciar Chico con el Glaciar Pirámide en el sector Oeste. Estas morrenas presentan un desarrollo longitudinal importante asociado a la influencia de la corriente de hielo del Glaciar Chico (Carta Geomorfológica adjunta).

Las lenguas de ambos glaciares tributarios (Gorra Blanca Norte y Pirámide) evidencian una compresión por parte del Glaciar Chico hacia los bordes de la cuenca principal, generándose una diferencia de alturas y pendientes bastante marcada; de esta manera, ambas lenguas afluentes presentan una altura mayor que la observada en el Glaciar Chico; el cambio de pendiente está limitado por las morrenas mediales.

La existencia de glaciares tributarios al Glaciar Chico, permiten distinguir diferencias en la masa de hielo; es así, como se puede observar que el hielo

proveniente del Glaciar Chico tiene características de hielo viejo, presentando diferentes capas de hielo, cobertura detrítica importante y una densidad mayor; por su parte, el hielo de los glaciares tributarios presenta características de hielo joven asociado a la escasa cubierta detrítica, menor densidad del hielo y evidencias de *firm* o neviza sobre las lenguas.

La diferencia entre el hielo de los glaciares tributarios y el glaciar principal, se asocia a la zona de origen del hielo; en este sentido, el hielo presente en el Glaciar Chico proviene desde el plateau del campo de hielo, asociándose entonces a un periodo de acumulación bastante más prolongado y a procesos de diagénesis (proceso de congelamiento – descongelamiento – recongelamiento que permite la transformación de nieve a hielo) más desarrollados.

Por su parte el hielo presente en los glaciares tributarios (Figuras 26 – 27) se origina en las cuencas de alimentación de cada uno, sin tener directa relación con la acumulación del campo de hielo y por lo tanto el periodo de acumulación y los procesos de diagénesis asociados, consideran un rango de tiempo menor.

Figura 26: Glaciar Gorra Blanca Norte tributario del Glaciar Chico.



Glaciar Gorra Blanca Norte

Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 27: Glaciar Pirámide tributario del Glaciar Chico.



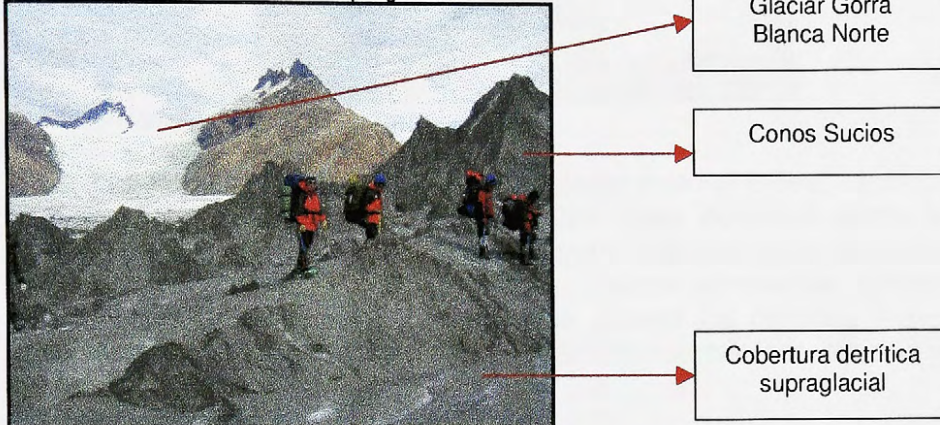
Glaciar Pirámide

Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Otras formas de acumulación son los **conos sucios o dirt cone**, estas formaciones son depósitos de detritos provenientes de desprendimientos desde las laderas o de aportes del flujo de *debris* o escombros del glaciar.

Estos materiales protegen al hielo subyacente de los procesos de ablación, generando acumulaciones importantes de detritos sobre la superficie glacial formando promontorios de escombros generando procesos de inversión del relieve (Figura 28).

Figura 28: Cobertura detrítica supraglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Los materiales detríticos supraglaciales no son seleccionados y van desde harina glacial hasta bloques erráticos. La existencia de bloques erráticos refleja la competencia del flujo de hielo para transportar grandes bloques y el poder erosivo del glaciar, que mediante procesos de arranque incorpora a su masa rocas de gran tamaño.

Dentro de esta zona se presentan formas erosivas importantes, las más representativas son los *moulins* (orificios verticales en el hielo) que canalizan las aguas de fusión a través de surcos supraglaciales (Figura 29). Las aguas de fusión supraglacial infiltran hacia zonas intraglaciales y subglaciales a través de los *moulins*.

Estos cursos de agua transportan los detritos sueltos en la superficie del glaciar, permitiendo su infiltración a niveles inferiores incorporándolos a la circulación líquida existente en el glaciar en todos los niveles. Las aguas de fusión cargadas de sedimentos afloran posteriormente en el frente de la lengua.

Figura 29: Formas erosionales dominio supraglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Los flujos de agua de fusión supraglacial pueden infiltrar también a través de grietas. La zona de grietas en el Glaciar Chico, comienza desde la zona de acumulación, específicamente desde el *nunatak* Soberanía y se prolonga hasta el frente terminal de la lengua, observándose diversos patrones de agrietamientos y deformaciones. Es necesario destacar que durante los periodos invernales, las grietas de la zona de acumulación están recubiertas por nieve haciéndolas imperceptibles incluso en terreno.

El patrón de grietas es diverso y generalizado. Se presentan grietas laterales en el área anterior a la existencia de umbrales, evidenciando el paso del glaciar por un sector de mayor pendiente en la que aumenta la velocidad y la capa de hielo se hace más delgada.

Hacia el Norte, aguas abajo del sector de los umbrales se presenta una secuencia de *ojivas* o arcos apuntados que muestran una deformación ondulatoria en superficie arqueada hacia los bordes, debido al desplazamiento más rápido en el centro del flujo de hielo (Carta Geomorfológica adjunta).

En el frente del glaciar existen dos patrones de grietas, por un lado, se encuentran **grietas longitudinales** que siguen el sentido del flujo y que se generan por una expansión lateral del hielo y por otro, **grietas frontales** típicas de los sectores terminales del hielo generadas por diferencias en la velocidad de superficie y de fondo (Carta Geomorfológica adjunta).

El gran desarrollo de grietas en la parte frontal de la lengua se debe a tres factores:

1. Cambio de pendiente evidenciado desde el sector de los umbrales hacia el Lago Chico, generándose un quiebre en la masa de hielo y por tanto un agrietamiento considerable de la misma.
2. Paso de la masa de hielo desde una zona estrecha y de quiebre de pendiente a una zona más amplia y con pendiente constante, formando una morfología de abanico en el frente de la lengua.

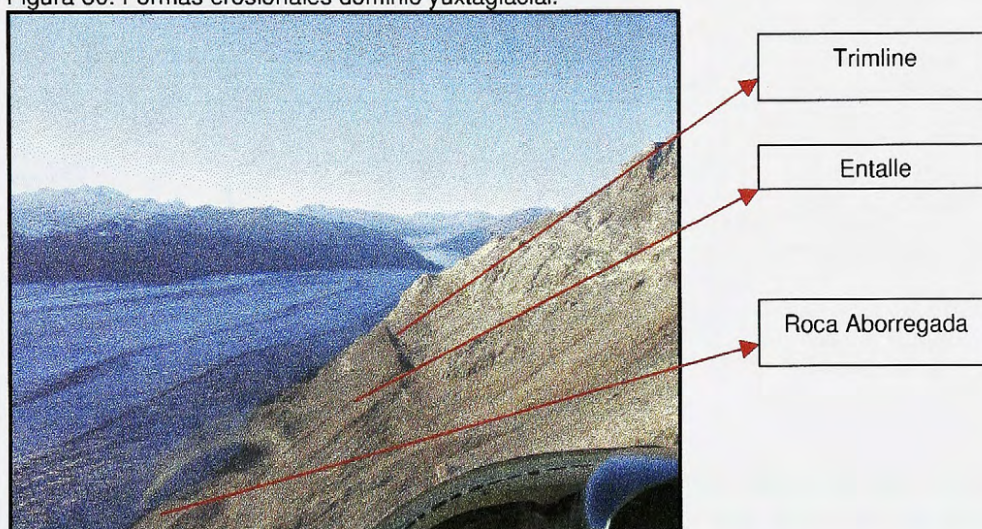
3. Pérdida de estabilidad de la lengua en el frente glaciar al entrar en contacto con el Lago Chico.

3.1.4 Dominio Yuxtaglacial

Este dominio se extiende por toda la cuenca del Glaciar Chico, localizándose en las zonas laterales de esta, ocupando las partes bajas de las vertientes Este y Oeste.

En el sector meridional de la vertiente Oeste se aprecia claramente una **trimline** que fija el límite de la acción erosiva del glaciar sobre el dominio yuxtaglacial. Por debajo de la *trimline*, se observa el **entalle glaciar**, forma que evidencia la acción abrasiva y erosiva glaciar dejando una superficie plana, pulida y con gran pendiente sobre la vertiente, el entalle limita en el sector superior con la *trimline* y en el sector inferior con **rocas aborregadas**, morfología propia de zonas basales donde los resaltantes rocosos evidencian acanaladuras y estrías orientadas según el movimiento del hielo, son conocidas también como *drumlins rocosos*. (Figura 30).

Figura 30: Formas erosionales dominio yuxtaglacial.



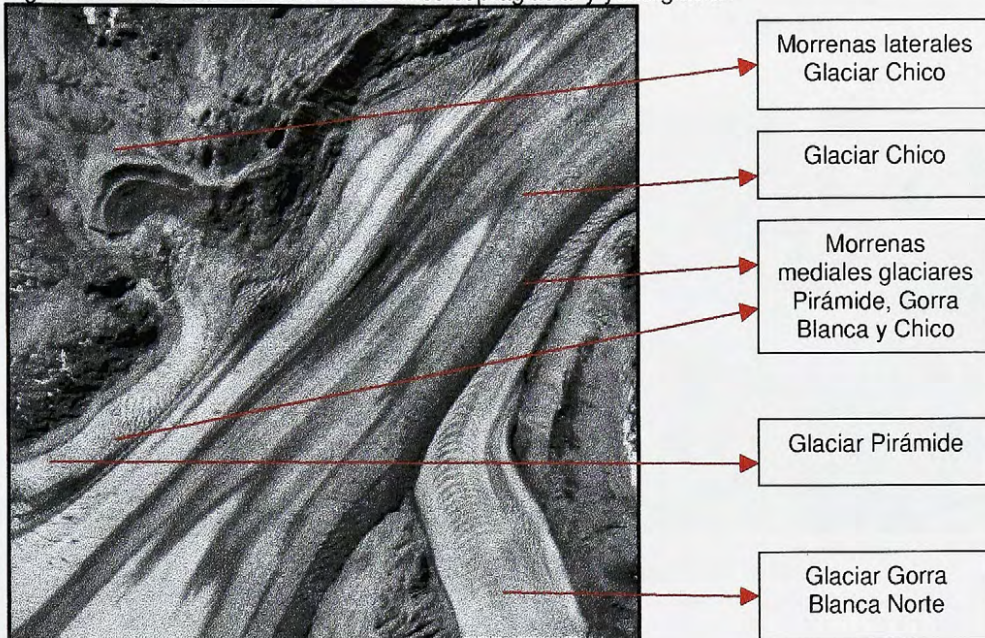
Fuente: Fotografía de terreno 2002.

La secuencia (de base a techo) roca aborregada con altitudes promedio de 250 – 450 m, entalle 500 – 800 m, *trimline* 900 – 950 m, se presenta hasta el valle del Glaciar Gaea, sector donde la acción erosiva del Glaciar Chico se concentra al interior del valle. La irrupción de la lengua hacia el valle, aminora la acción erosiva del Glaciar en la vertiente Noroeste. La morfología secuencial de la pared del valle, representa el dominio de procesos erosivos, evidenciando la gran capacidad del glaciar para generar pulimientos, estrificaciones, acanaladuras y arranque de material.

Otra característica morfológica del dominio yuxtaglacial es la existencia de **sistemas morrénicos laterales**, localizados bajo la *trimline* en ambas vertientes de la cuenca.

En el sector Suroeste las morrenas laterales presentan una morfología bastante particular. La forma convexa de las morrenas laterales se asocia al empuje y compresión ejercida por el Glaciar Chico sobre la lengua del Glaciar Pirámide y por la influencia de la lengua del Glaciar Gorra Blanca Norte que presiona hacia la sección Oeste de la cuenca, la unión de los tres flujos de hielo ejerce una importante influencia sobre la pared del valle generando una convexidad hacia el interior del valle del glaciar colgante (Figura 31).

Figura 31: Sistemas morrénicos dominios supraglacial y yuxtaglacial.



Fuente: Fotografía aérea 1997.

En el sector Norte de la vertiente oeste, la existencia de una importante cobertura vegetal disminuye la visualización de formas permitiendo identificar parcialmente la secuencia *trimline*, morrenas laterales, entalle, roca aborregada; sin embargo, se presentan valles longitudinales que desaguan sobre el Lago Chico.

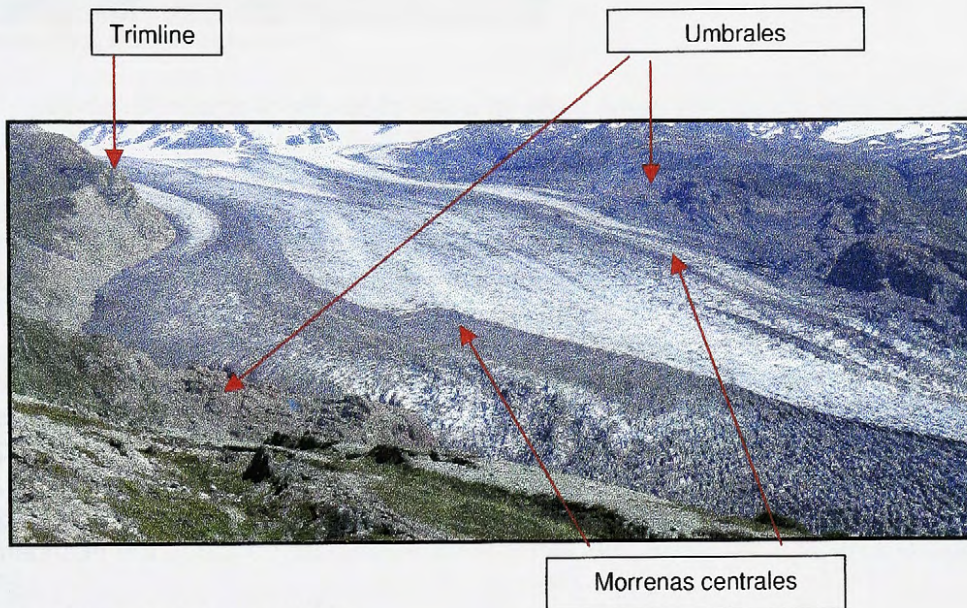
Los valles longitudinales son de origen fluvial y no presentan influencias glaciales; estos cursos se extienden hasta el actual nivel del lago, desaguando sobre éste importantes torrentes originados en las partes altas de la vertiente.

En la vertiente este, desde el Glaciar Gorra Blanca hacia el Norte, se evidencia una clara *trimline* (Figura 32) que presenta correspondencia de altura

respecto a su homóloga en la vertiente oeste; sin embargo, la extensión de esta, es mayor que la de la vertiente opuesta prolongándose hacia el Norte más allá del valle del Glaciar Gaea.

Al igual que en la vertiente oeste, la *trimline* de la vertiente este representa el límite superior de la influencia del Glaciar Chico sobre la pared rocosa; así mismo se presenta la secuencia *trimline* (techo) con una altitud aproximada de 800 m, entalle (medio) entre los 750 – 450 m y roca aborregada (base) entre los 450 – 250 m. Sin embargo, en algunos sectores el entalle glacial producido por el desgaste continuo por efecto de la fricción limita en su base con terrazas de kame.

Figura 32: Formas erosionales y deposicionales dominios supraglacial y yuxtaglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2002.

En la secuencia (de techo a base) *trimline*, entalle, terraza de kame, se presenta una diferencia importante respecto a su homóloga en la vertiente oeste, correspondiente a procesos de depositación en la base generados por la ablación del glaciar y la pérdida de espesor de la capa de hielo.

La zona donde predominan las terrazas de kames (Figura 33) no consolidadas es en el sector sur de los umbrales rocosos, permitiendo que la rimaya se reduzca bastante.

Figura 33: Terrazas de Kames domino yuxtaglacial vertiente este.



Fuente: Fotografía de terreno 2003.

El derretimiento in situ de la masa de hielo genera procesos de acumulación de material detrítico proveniente desde las zonas supraglacial e intraglacial, lo que unido al desprendimiento de materiales desde las laderas, generan depósitos conocidos como terrazas de kames entre el glaciar y el dominio yuxtaglacial. La conformación de estas terrazas, deja en evidencia un proceso importante de adelgazamiento de la masa glaciar.

La disminución de espesor del glaciar no sólo se refleja en los sectores laterales, sino que también, en la zona supraglacial. La tendencia de adelgazamiento se estima considerando datos obtenidos por el CECS en septiembre de 2001 y la expedición del ICCH en febrero de 2004, tomando la altura del mismo punto en la zona de ablación del glaciar llamado BA2. En septiembre del 2001 el punto presentaba un altura de 1051.9 m, por su parte la remediación del punto en febrero de 2004 arroja una altura de 1003 m (navegador GPS).

En los sectores altos de la cuenca, tanto en la vertiente este como en la oeste, la *trimline* presenta alturas relativas de aproximadamente 900 m disminuyendo paulatinamente hacia el Norte con altitudes cercanas a los 700 m, los cambios de altura relativa de la *trimline* revelan el paso del glaciar hacia la zona distal de la cuenca y consecuentemente la zona terminal de la cuenca del Glaciar Chico.

En los sectores bajos de la vertiente este, existen pequeñas playas de gravas y material grueso cuya génesis se asocia a los desprendimientos de las partes altas y a la existencia de taludes, desde los cuales caen materiales por gravedad hacia las partes bajas de las laderas generando acumulaciones de materiales seleccionados de acuerdo a su granulometría.

Un aspecto importante a destacar, es la diferencia de alturas que presentan en ambas vertientes las secuencias mencionadas, esto presumiblemente se debe

a que en la vertiente este la acción de los glaciares colgantes y tributarios ha tenido un mayor desarrollo, disminuyendo por tanto el área de influencia del glaciar principal.

En el sector medio de la cuenca, se evidencian umbrales en ambas vertientes, generando un sector de estrechamiento del valle principal y una zona de caída del glaciar y quiebre de la pendiente del mismo, generando de esta manera, un aumento del patrón de grietas. La acción de los umbrales se relaciona así mismo con un redireccionamiento del flujo glaciar hacia el Noroeste (Carta Geomorfológica adjunta).

3.1.5 Dominio Infraglacial:

El dominio infraglacial se divide en dos subsistemas, el **infraglacial antiguo** y el **infraglacial moderno**.

Infraglacial antiguo

Se extiende desde el límite Norte de la cuenca, emplazándose sobre el dominio yuxtaglacial de ambas vertientes.

Los rasgos geomorfológicos característicos de este dominio son las **rocas aborregadas** existentes sobre el entalle glacial en ambas vertientes. Estas rocas aborregadas son el testimonio más antiguo de la influencia del Glaciar Chico. La antigüedad de estas formas se evidencia considerando su posición geomorfológica sobre las formas erosivas del dominio yuxtaglacial, específicamente del entalle glacial y la *trimline* de ambas vertientes de la cuenca.

En las rocas aborregadas se presentan grandes acanaladuras generadas por efectos del roce de bloques y materiales transportados por el glaciar, (incorporados en la masa de hielo o transportados por canales subglaciales) sobre irregularidades iniciales de la roca o en sectores de debilidad estructural (Figura 34 y 35).

Así mismo, se evidencia el depósito de bloques erráticos dentro de los canales producidos por la erosión glacial (Figura 36) y sobre promontorios rocosos (Figura 37). Este panorama permite deducir la antigua posición de la masa de hielo a una altitud mayor que la actual.

Las laderas, junto con presentar acanaladuras y estriamiento de gran envergadura, evidencian la fuerte acción del pulido. La constante abrasión sobre la roca, genera superficies planas y bastante lisas en ambas vertientes.

El estriamiento y acanalamiento de las rocas es importante y constituye un indicador de la dirección predominante del flujo del Glaciar Chico de componente Sur – Norte.

Figura 34: Acanaladura dominio infraglacial antiguo.



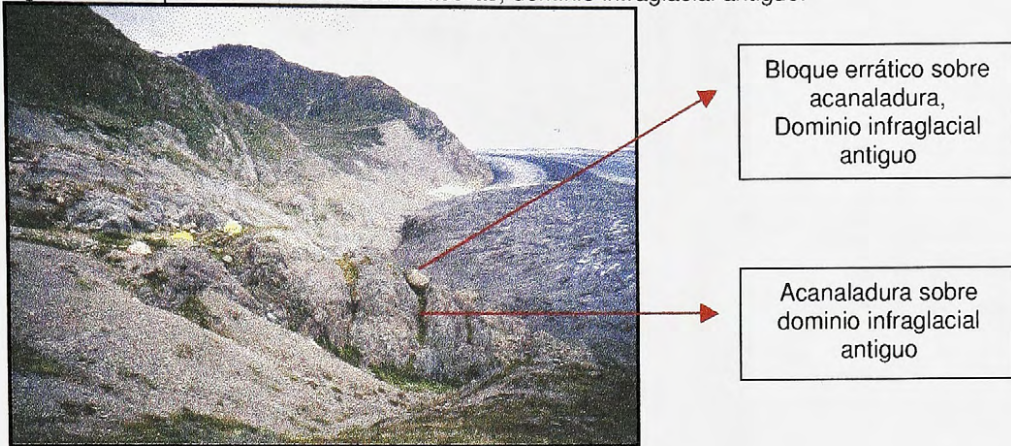
Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 35: Acanaladura dominio infraglacial antiguo, dirección Sur – Norte.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 36: Bloque errático sobre acanaladuras, dominio infraglacial antiguo.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 37: Bloque errático sobre superficie pulida y estriada, dominio infraglacial antiguo.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

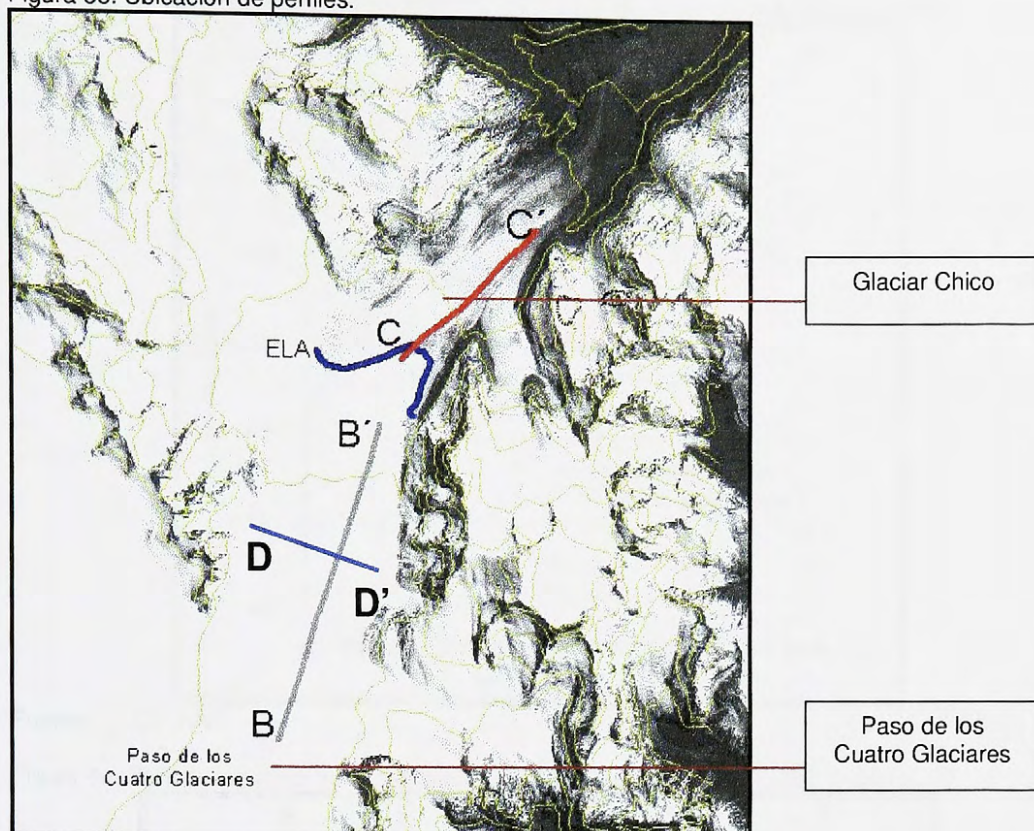
Las rocas aborregadas de este dominio no se presentan sólo en las partes altas de las laderas; es así como la roca del centro del Lago Chico pertenece también al dominio infraglacial antiguo presentando pulido, estriamiento y acanaladuras que dejan en evidencia la acción erosiva del glaciar cuando se encontraba sobre la roca – isla (Carta Geomorfológica adjunta).

Infraglacial moderno:

Este subsistema se analiza mediante información secundaria, levantada por el Centro de Estudios Científicos (CECS) durante campañas de terreno en el año 1997 a través de métodos de radio eco - sondaje.

Datos obtenidos a través de mediciones de radar (CECS, 1997) muestran espesores de hielo en la zona de acumulación del Glaciar Chico del orden de los 670 m, por su parte los datos del flanco Este y Oeste del valle arrojan resultados de 400 y 450 m respectivamente, lo que evidencia un desarrollo importante del valle subglacial o infraglacial.

Figura 38: Ubicación de perfiles.



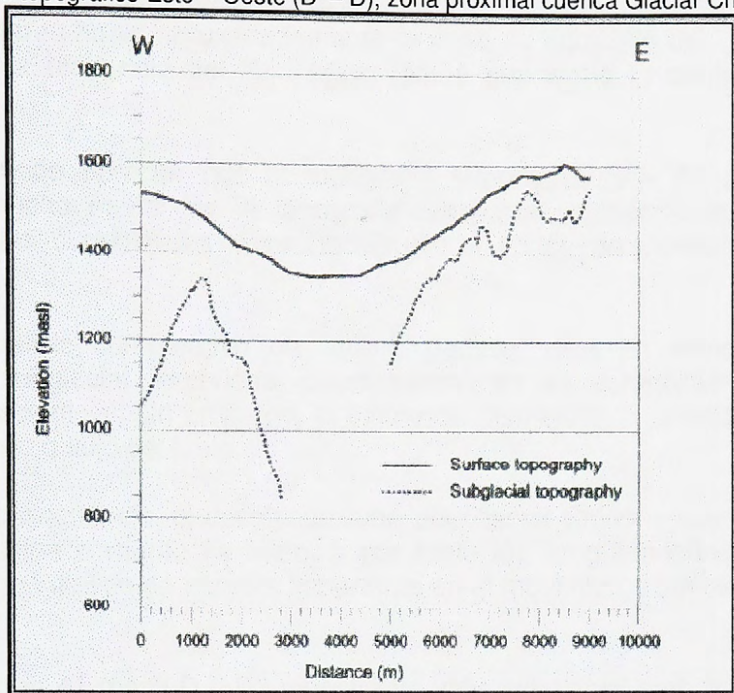
Fuente: Imagen satelital ETM+ 2001.

El perfil desarrollado a partir del monitoreo de radar, muestra en la sección transversal desde el Cerro Gorra Blanca (Este) hasta el Cordón Lliboutry (Oeste) (perfil D' – D) una topografía subglacial que presenta paredes escarpadas y pendientes abruptas, configurando un valle encajonado y de ancho reducido de aproximadamente 3 Km. (Figura 39).

Según análisis de la topografía subglacial, la pendiente de los flancos del valle es del orden de los 45° ; por su parte en el sector del Cerro Gorra Blanca la pendiente que presenta el valle es de 20° (Araos, 2004, inédito).

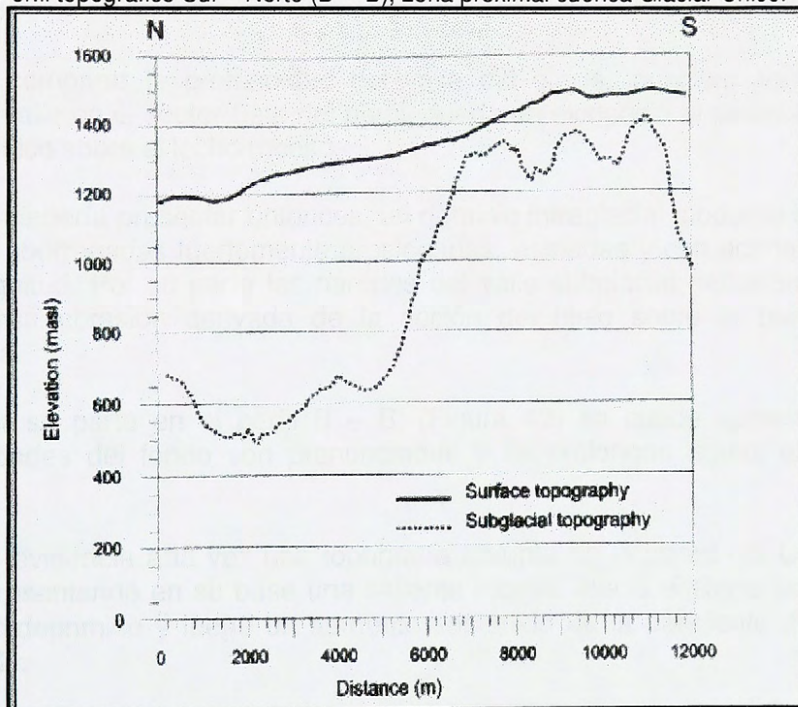
Al mismo tiempo, se puede observar que la topografía superficial correspondiente al dominio supraglacial, adopta un comportamiento que sigue el relieve subglacial evidenciado en la concavidad existente entre el Cerro Gorra Blanca y el Cordón Lliboutry (Figura 39).

Figura 39: Perfil topográfico Este - Oeste (D' - D), zona proximal cuenca Glaciar Chico.



Fuente: CECS 1997.

Figura 40: Perfil topográfico Sur - Norte (B' - B), zona proximal cuenca Glaciar Chico.



Fuente: CECS 1997.

Al analizar el perfil longitudinal B – B' (Sur – Norte) desde el Paso de los Cuatro Glaciares hasta aproximadamente la línea de equilibrio del Glaciar Chico, se observa la tendencia del flujo aguas abajo que sigue la corriente de hielo (Figura 40).

Se puede apreciar que la topografía superficial (S – N) presenta una influencia mucho menor de la topografía subglacial, presentándose pequeñas deformaciones superficiales correspondientes a zonas accidentadas del lecho rocoso.

El análisis comparativo de ambos perfiles, deja en evidencia que la topografía subglacial interviene directamente en el comportamiento de la topografía superficial; sin embargo, la influencia disminuye al considerar el factor de movimiento o flujo del hielo.

En consecuencia, el desplazamiento del Glaciar Chico aguas abajo adopta un flujo del tipo corriente de hielo, y por tanto las irregularidades del dominio infraglacial no influyen de manera importante en el movimiento del hielo a favor de la pendiente.

La figura 41 (perfil D – D') muestra un valle subglacial profundo y estrecho, con paredes de pendientes fuertes y con irregularidades pronunciadas especialmente en el sector Este de la cuenca en el Cerro Gorra Blanca y Cordón El Trueno.

Al comparar la profundidad del valle del glaciar principal con la de un pequeño valle en el sector Este del perfil, queda en evidencia el poder erosivo del Glaciar Chico sobre el lecho rocoso.

Se debería presentar entonces, un dominio infraglacial moderno compuesto de rocas aborregadas fuertemente erosionadas, estriadas y con acanaladuras de gran magnitud. Por su parte las paredes del valle subglacial deberían presentar una intensa abrasión derivada de la acción del hielo sobre la pared rocosa escarpada.

Por su parte en el perfil B – B' (Figura 42) se puede apreciar que las irregularidades del fondo son pronunciadas y se prolongan aguas abajo de la cuenca.

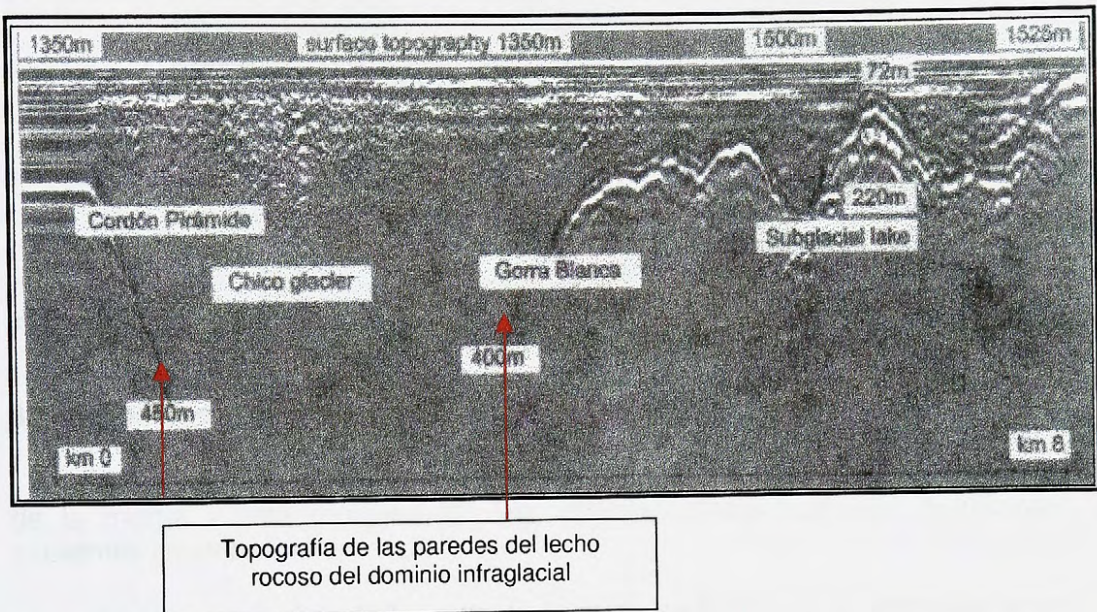
Se evidencia a la vez una topografía abrupta de la pared del Cerro Gorra Blanca presentando en su base una saliente rocosa. Hacia el Norte se evidencia un sector deprimido y luego un aumento sostenido de la pendiente de la pared (Figura 42).

El paso desde una zona deprimida hacia una zona de mayor altura y más abrupta, permiten inferir que en esta zona comienza la influencia del Cordón El Trueno tanto en el dominio infraglacial como en los dominios superficiales.

Así mismo, se puede inferir que en este sector existe un umbral rocoso subglacial, el que podría incidir en la pendiente superficial y en las morrenas centrales y mediales del Glaciar Chico.

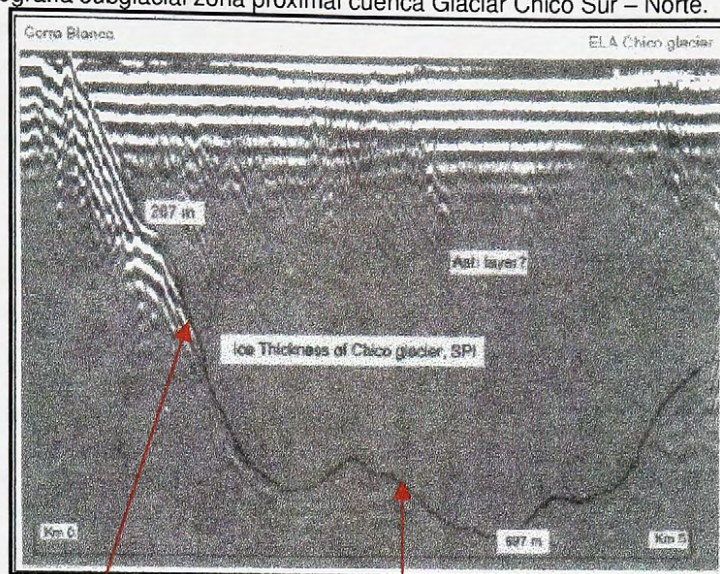
A su vez, el sondaje muestra que en la zona intraglacial existen depósitos constituidos presumiblemente por ceniza volcánica proveniente del volcán Lautaro. Este material intraglacial puede ser incorporado a los dominios terminal y proglacial a través de canales que transporten aguas desde el dominio infraglacial y de la zona intraglacial hacia sectores bajos de la cuenca, los que se depositan por procesos de decantación.

Figura 41: Topografía subglacial zona proximal cuenca Glaciar Chico Este – Oeste.



Fuente: Perfil de radar CECS, 1997.

Figura 42: Topografía subglacial zona proximal cuenca Glaciar Chico Sur – Norte.



Topografía abrupta de la pared del valle dominio subglacial

Topografía irregular y accidentada del lecho rocoso dominio subglacial

Fuente: Perfil de radar CECS, 1997.

3.1.6 Dominio Glacial

Se extiende por toda la cuenca del Glaciar Chico abarcando las partes altas de la misma y está representado por sistemas glaciales activos e inactivos existentes en ambas vertientes.

En las partes altas de la vertiente suroeste se evidencia la existencia de un glaciar activo que dejó vestigios de avances anteriores en un sistema morrénico terminal y de empuje, aguas abajo se presentan depósitos glacio-lacustres encauzados en la actualidad por un canal de evacuación activo desde el frente glacial hasta formar una caída de agua directa sobre el Glaciar Chico (Figura 43).

El límite de los sedimentos glacio-lacustres está dado por la secuencia de morrenas laterales del Glaciar Chico, los que en este sector se encuentran formando una convexidad orientada hacia el Oeste del valle tributario, la influencia de este glaciar no alcanza los límites de la acción del Glaciar Chico por lo que se puede considerar como un glaciar colgante.

Inmediatamente al Norte del sistema glacial anterior, se encuentra otro glaciar de dimensiones menores actualmente activo que no presenta rasgos que determinen una influencia importante sobre la vertiente ni sobre el Glaciar Chico (Figura 43).

En la zona distal de la cuenca, en la vertiente oeste existen dos valles transversales que cruzan la Península de Sudamérica cuya influencia no alcanza al dominio yuxtaglacial. El valle transversal meridional es de origen glacial y su influencia no alcanza el valle principal; en la actualidad el circo actúa como cabecera o naciente de un curso fluvial que escurre a través de la artesa para desaguar hacia el valle del Glaciar Gaea en forma abrupta (Carta Geomorfológica adjunta).

Por su parte el valle transversal septentrional está ocupado por dos sistemas glaciales inactivos que presentan una secuencia de circo-artesa, conectados por un curso de agua que se une aguas abajo a un pequeño valle glacial longitudinal que encauza las aguas para drenar en forma de cascada sobre el Lago Chico (Carta Geomorfológica adjunta).

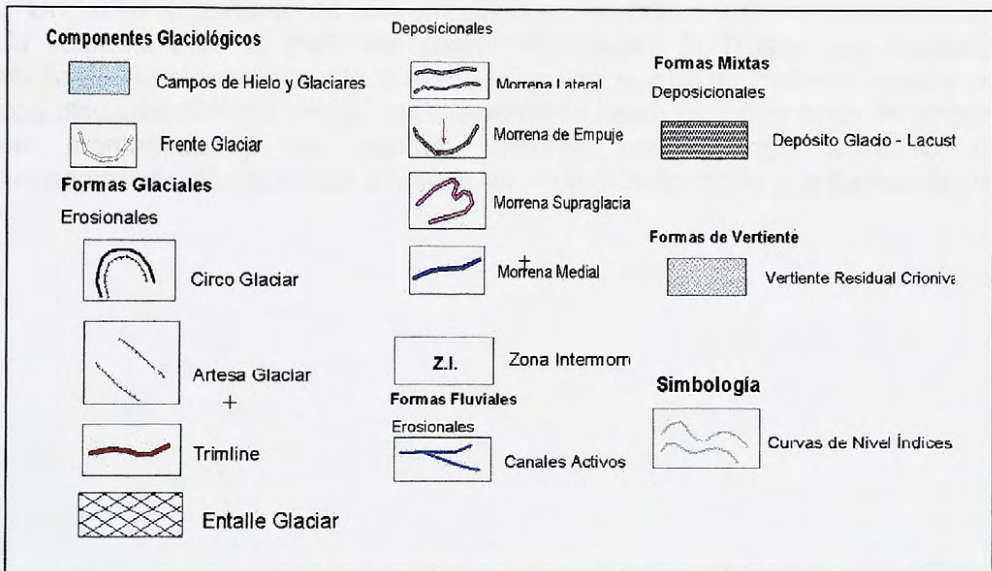
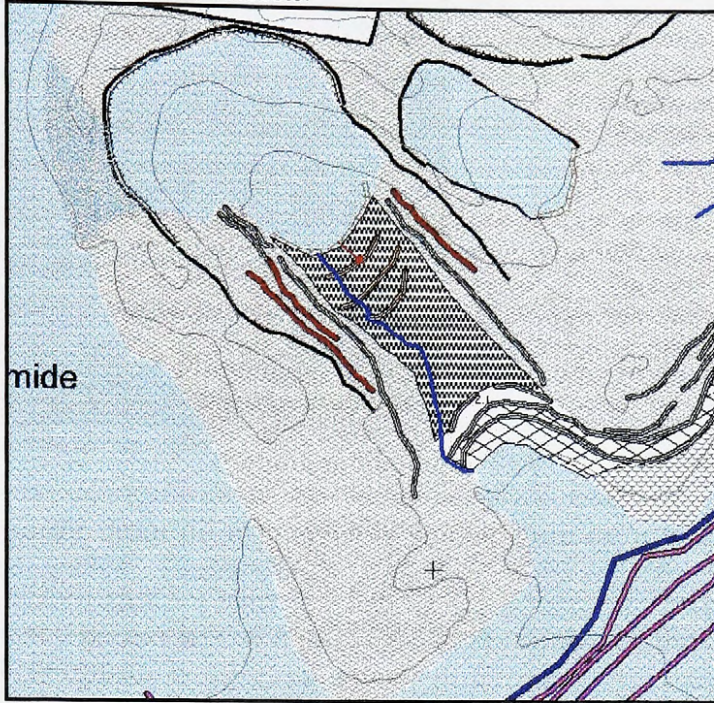
Otra forma evidenciada en la vertiente oeste es la relacionada con la intervención del Glaciar O'Higgins dentro de la cuenca del Glaciar Chico; en la parte distal de la cuenca se presenta un valle de penetración de la masa del Glaciar O'Higgins hacia la zona terminal del Glaciar Chico.

La vertiente este presenta un patrón bastante disímil al de la vertiente oeste, aquí existen importantes sistemas glaciales colgantes cuya influencia se extiende hasta los bordes de la acción del Glaciar Chico, presentándose sectores en los que se produce una confluencia entre las morrenas laterales del Glaciar Chico y morrenas de empuje de los glaciares colgantes (Carta Geomorfológica adjunta).

Uno de los sistemas glaciales colgantes más importantes de la vertiente este es el representado por el Glaciar Pantoja. Este glaciar está actualmente activo, presentando en la zona distal morrenas laterales no consolidadas, morrenas de empuje y lagunas proglaciales en las partes altas del sistema glacial (Figuras 44 y 45).

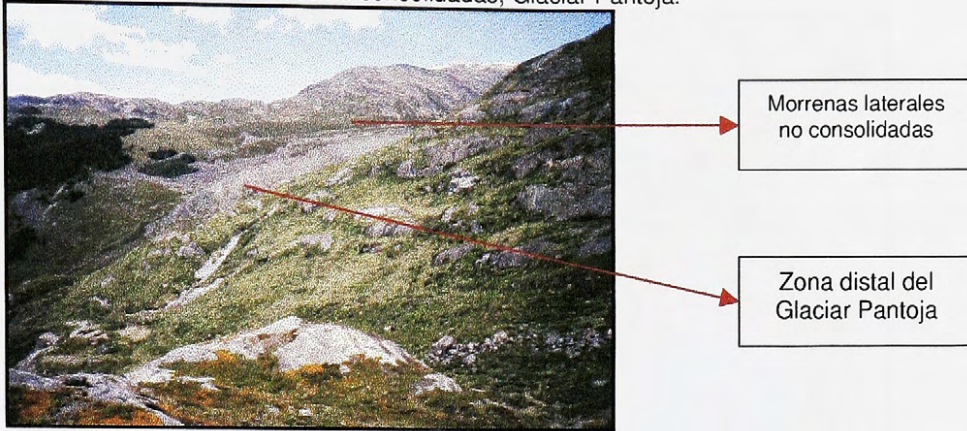
Hacia el Sur de la cuenca del Glaciar Chico, en la vertiente este, se emplaza un sistema glacial colgante inactivo que presenta morrenas laterales consolidadas, morrenas de recesión en el fondo de la artesa glacial y un curso de agua activo que cruza longitudinalmente el circo y la artesa de este sistema (Figura 45).

Figura 43: Dominio Glacial, Sector Suroeste.



Fuente: Elaborado por la autora.

Figura 44: Morrenas laterales no consolidadas, Glaciar Pantoja.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

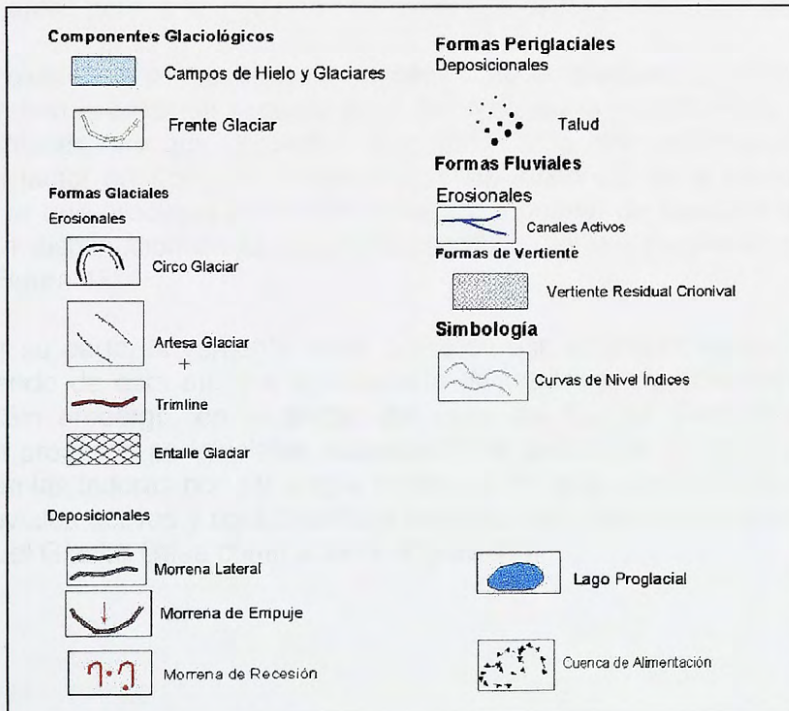
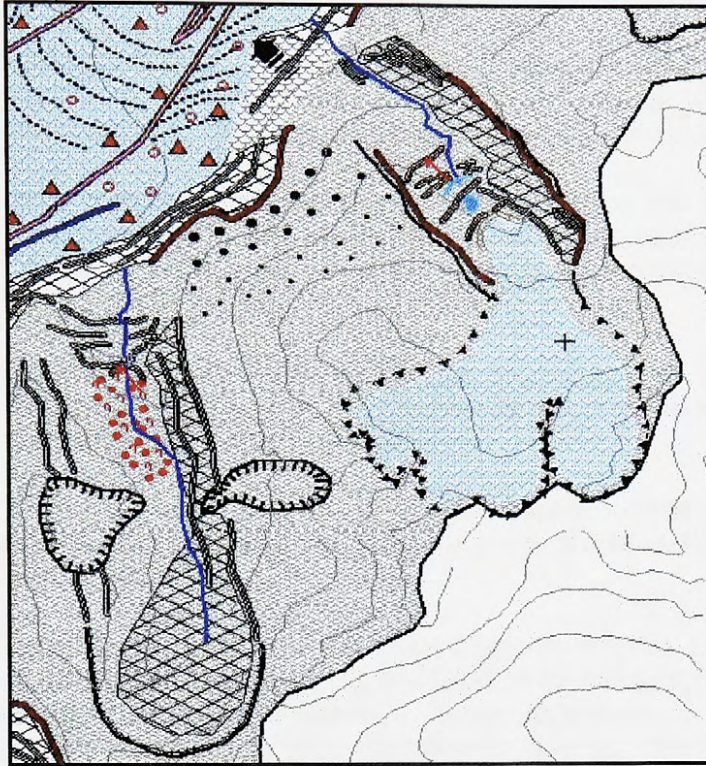
En el sector distal de este dominio se evidencia en ambas vertientes la existencia de **valles suspendidos** ocupados antiguamente por glaciares tributarios caracterizados por tener una sección transversal más pequeña respecto al valle principal y poseer fondos a gran altura con respecto al nivel que ocupa el fondo del valle principal.

Un factor importante de diferenciación entre ambas vertientes consiste en que la vertiente este es parte del cordón montañoso El Trueno que presenta alturas de 2600 m lo que permite la existencia de nichos de acumulación nival y de cuerpos glaciares activos; por su parte la vertiente oeste no forma parte de ningún cordón montañoso y las alturas mayores corresponden a 2100 m aproximadamente situación que inhibe la acumulación de nieve y la formación de hielo.



Fuente: Eichengrün por la cultura.

Figura 45: Sistemas glaciales vertiente este.



Fuente: Elaborado por la autora.

3.1.7 Dominio Periglacial

Se extiende por toda la cuenca del Glaciar Chico abarcando las partes más altas de la misma, se localiza sobre el dominio infraglacial antiguo y está representado por vertientes residuales crionivales, taludes y conos de coluvio.

Las formas periglaciales más representativas dentro de la cuenca del Glaciar Chico, son las **vertientes residuales crionivales**; estas vertientes se extienden por el Este y el Oeste de la cuenca ocupando las partes más altas del sistema.

La existencia de vertientes residuales crionivales es testimonio de ambientes influidos por el frío, donde actualmente se presentan procesos de crioclastismo típicos de ambientes periglaciales.

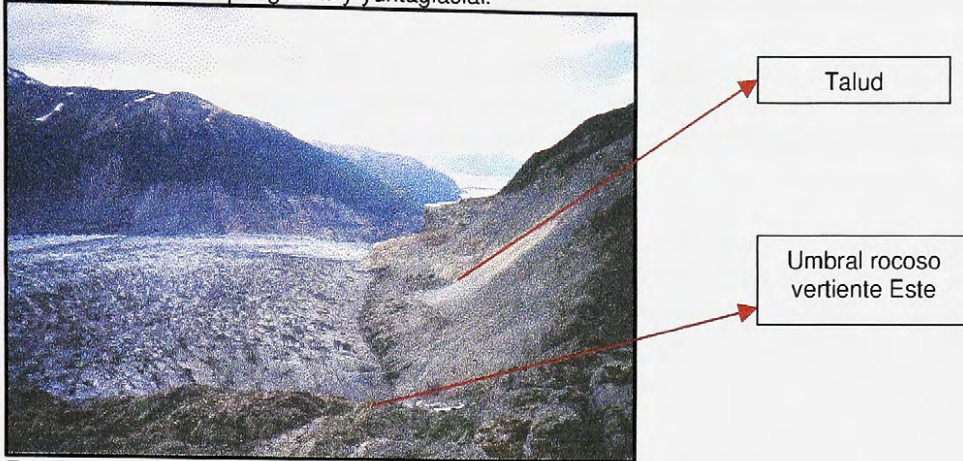
La continua meteorización física de la roca, genera formas asociadas a la existencia de vertientes residuales crionivales y a los procesos de crioclastismo evidenciados en las mismas.

Es así como en los sectores altos de los glaciares colgantes, se evidencian formaciones de **embudos** o nichos de acumulación nival. Estos nichos se generan debido a procesos de congelamiento – descongelamiento – infiltración y recongelamiento de nieve en la roca permitiendo que se originen superficies cóncavas aptas para la acumulación de nieve (Carta Geomorfológica adjunta).

La existencia de secuencias de **cara libre – talud** en la vertiente este se relacionan con la continua meteorización física de rocas metamórficas y volcánico – sedimentarias, las que presentan propensión a la alteración física; al mismo tiempo, el factor antrópico ha tenido importante influencia en la morfología de la vertiente ya que procesos como deforestación y quema de bosques han incidido en la gran disminución de la cobertura vegetal y en la desestabilización de las laderas (Figura 46).

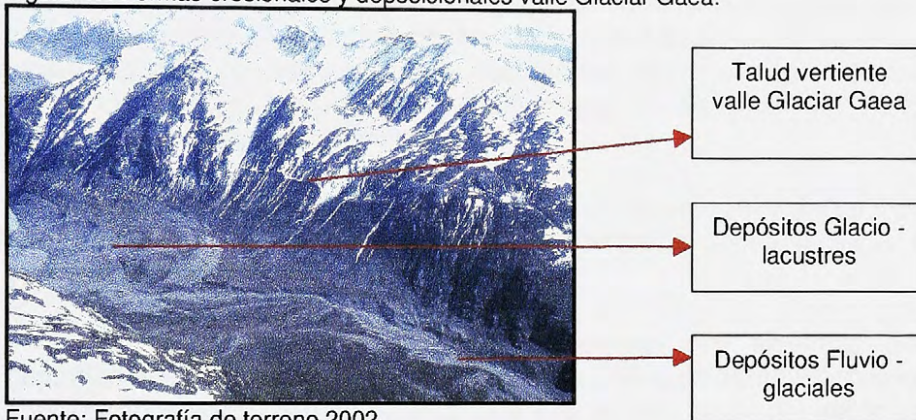
Por su parte, la vertiente oeste presenta una cobertura vegetal importante disminuyendo de esta manera la influencia de procesos de crioclastismo en las laderas. Sin embargo, en el sector del valle del Glaciar Gaea las vertientes presentan procesos periglaciales asociados a la existencia de taludes de amplio dominio en las laderas norte y sur; la existencia de glaciares colgantes, cárcavas, cursos fluviales activos y nula cobertura vegetal caracterizan a las vertientes del valle del Glaciar Gaea como activas (Figura 47).

Figura 46: Dominios periglacial y yuxtaglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2002.

Figura 47: Formas erosionales y deposicionales valle Glaciar Gaea.



Fuente: Fotografía de terreno 2002.

La existencia de **taludes** en ambas vertientes de la cuenca del Glaciar Chico generan el depósito de materiales de gran calibre en las partes bajas de las laderas debido a la caída de materiales por gravedad desde los sectores altos de las vertientes.

Por otro lado, en el cerro Gorra Blanca específicamente en su vertiente oeste se presentan tres **conos de coluvio**. La existencia de estos conos se asocia a la litología presente en el área correspondiente a rocas volcánicas y volcánico - sedimentarias las que presentan altos grados de metamorfismo.

Estos conos tienen sus ápices en la divisoria de aguas del cerro Gorra Blanca y se extienden en forma de abanico hasta unirse con las morrenas laterales del Glaciar Chico. Se puede decir entonces que en la zona proximal de la cuenca el dominio periglacial está limitado y controlado por el dominio yuxtaglacial.

3.2 Morfología del Glaciar en Diferentes Estadios Evolutivos

La consideración de estadios evolutivos implica una subdivisión de una edad, es decir, dentro del Holoceno (época) existen diferentes edades; dentro de la última edad correspondiente al Subatlántico se presentan subdivisiones a las que hace referencia el término estadio.

El análisis de esta evolución se realiza desde el año 1945 hasta el año 1997 tomando en cuenta para esto la zonación establecida con anterioridad. Se debe aclarar que el análisis del dominio proglacial no incluye la situación del año 1945 debido a que las fotografías aéreas de ese periodo no muestran con claridad las formas de ese sector.

3.2.1 Situación en 1945

Al observar la fotografía oblicua Trimetrogón (1945) se puede apreciar que el frente de la lengua cubría completamente la roca aborregada del centro del Lago Chico, produciendo una concavidad pronunciada en la superficie del hielo localizada entre la caída de la lengua glacial desde el sector de los umbrales (cubiertos por la lengua del glaciar) hasta el ascenso del hielo sobre el promontorio rocoso del centro del lago.

Esto demuestra que en el año 1945 el dominio infraglacial incluía formas que en la actualidad pertenecen a los dominios terminal (lago terminal) y yuxtaglacial (umbrales rocosos).

En el dominio supraglacial se presentan dos sistemas de morrenas centrales bien marcadas y un recubrimiento somero de detritos sobre la superficie, concentrados en los bordes de la lengua y en la zona oeste del frente de la misma.

Al analizar la posición del frente de la lengua en el año 1945, se puede observar que esta se encuentra ocupando sectores al Norte de la posición actual por lo que los dominios supraglacial e infraglacial poseían mayor desarrollo y extensión que en la actualidad.

En el dominio terminal, específicamente en el sector suroeste se evidencia un proceso de desprendimiento de témpanos bastante efectivo sobre el lago terminal. Se evidencia también que el curso fluvial que actúa como canal de evacuación del lago terminal del Glaciar Gaea se encuentra activo (Figura 48).

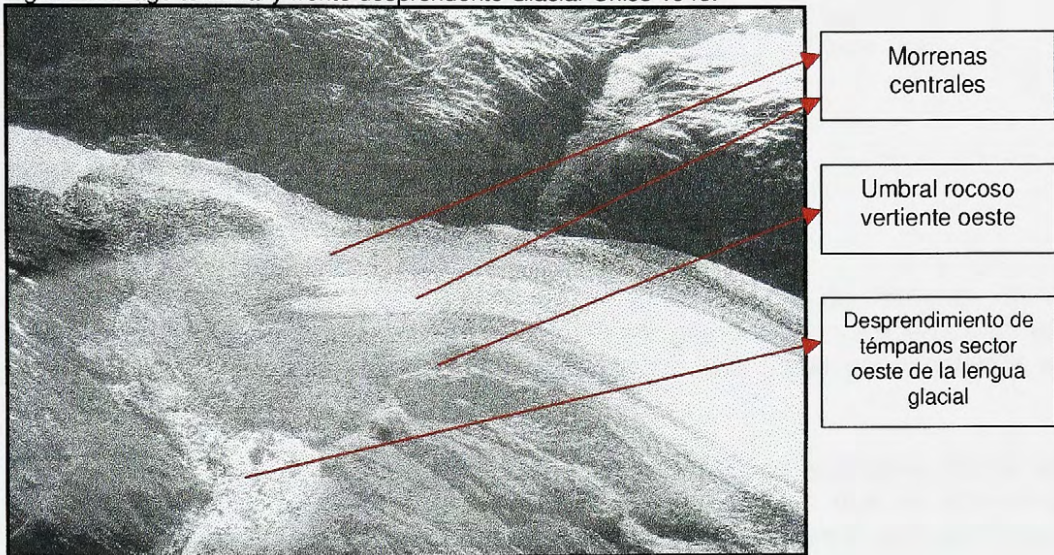
El carácter activo del canal de evacuación se asocia a un nivel mayor del lago del Glaciar Gaea produciendo un drenaje efectivo desde este cuerpo lacustre hacia el lago proglacial en el frente del Glaciar Chico. Lo que deja en evidencia que en este sector del dominio terminal formas como depósitos glacio – lacustres y fluvio – glaciales se encontraban en formación bajo las aguas de la laguna y del canal de desagüe (Figura 49).

Esta situación permite inferir que durante este periodo se efectuaron procesos de acumulación y de progradación importantes dentro del valle del Glaciar Gaea asociados al transporte y acumulación por parte del canal de evacuación y a procesos de sedimentación lacustre de material supraglacial, intraglacial y subglacial de la sección suroeste del frente glacial (Figura 49).

Por su parte, el sistema lacustre del frente oeste de la lengua presenta un desarrollo importante cubriendo zonas actualmente ocupadas por depósitos de origen glacio-lacustre y glacio-fluviales.

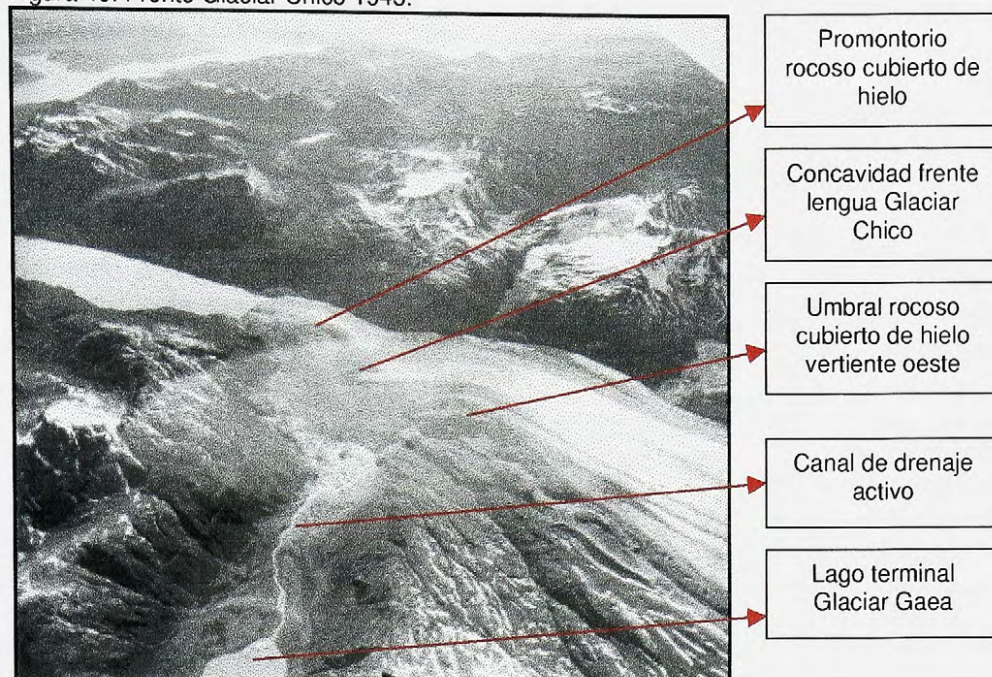
El análisis de las fotografías aéreas de 1945 deja en evidencia que en las vertientes este y oeste la capa de hielo del Glaciar Chico poseía una superficie y espesor superior a los niveles actuales, recubriendo gran parte del umbral oeste y la totalidad del umbral este (dominio yuxtaglacial para el año 1997) los que formaban parte del dominio infraglacial (Figura 48).

Figura 48: Lago terminal y frente desprendente Glaciar Chico 1945.



Fuente: Fotografía aérea Trimetrogón 1945.

Figura 49: Frente Glaciar Chico 1945.



Fuente: Fotografía aérea Trimetrogón 1945.

3.2.2 Situación en 1975

Por su parte en el año 1975, se evidencia un proceso de retroceso en el frente del glaciar; sin embargo, este no resulta ser pronunciado ya que aún no se identifica la roca aborregada central al descubierto que sigue perteneciendo al dominio infraglacial.

Durante este periodo se observa que la posición de la lengua glacial se encontraba más al Norte que en la actualidad, esto implica que los dominios supraglacial e infraglacial poseían mayor superficie y desarrollo lo que disminuye considerablemente la superficie de desarrollo del dominio terminal considerado en el año 1975.

Pueden identificarse tres componentes de orientación en el frente del glaciar, la primera con dirección Norte hacia el Lago Chico, la segunda orientada hacia la zona ubicada entre el Lago Chico y el desagüe del valle del Glaciar Gaea (Noroste) y la tercera orientada hacia el valle del Glaciar Gaea (Oeste). Se puede apreciar también la gran cantidad de cobertura detrítica en superficie y el potente desarrollo de sistemas morrénicos centrales y mediales en el dominio supraglacial (Figura 50).

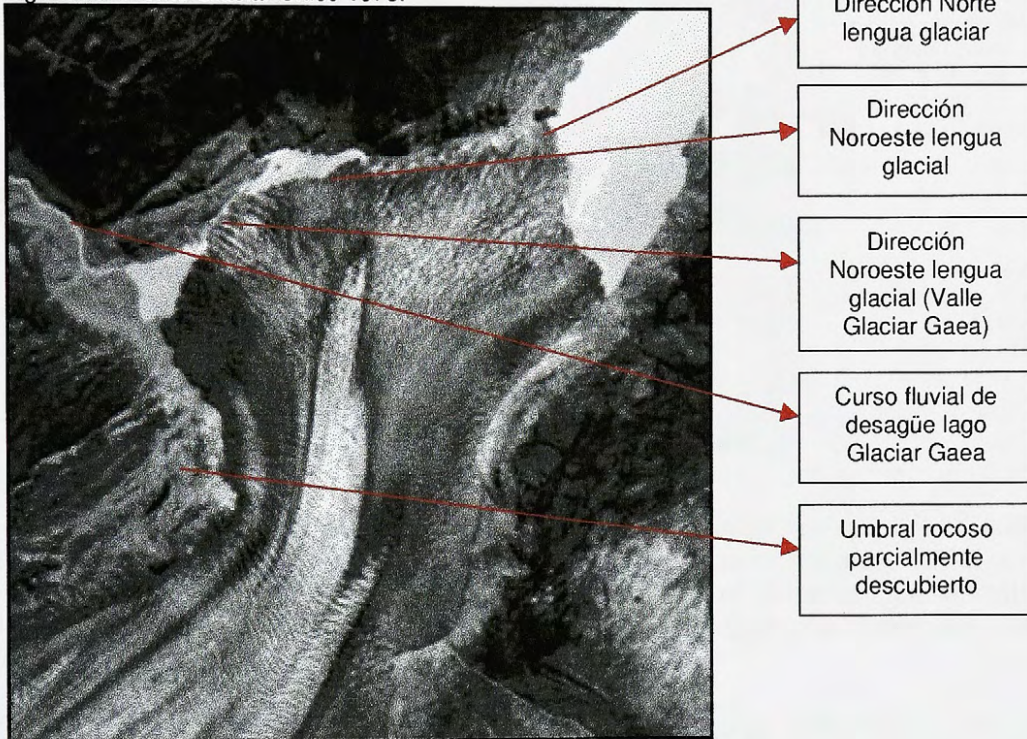
En el año 1975 en el sector suroeste del dominio terminal el drenaje desde el lago del Glaciar Gaea hacia el lago del margen oeste del Glaciar Chico continúa

activo; sin embargo, la presencia en la zona proximal de bancos laterales y medios evidencia una competencia menor del curso fluvial (Figura 51).

Se observa un desarrollo importante del lago terminal del sector suroeste alimentado por procesos de ablación del Glaciar Chico junto con el aporte del curso fluvial que evacua las aguas del lago del Glaciar Gaea (Figura 51).

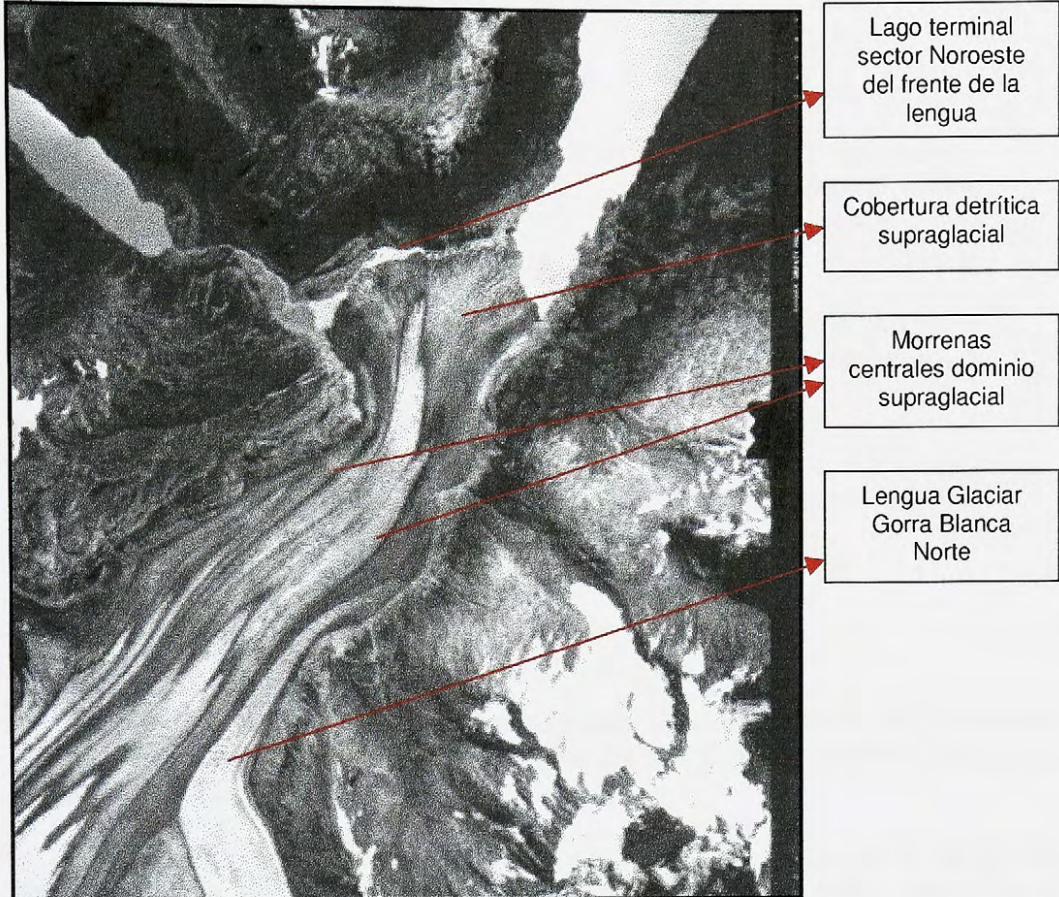
Por su parte el umbral de la vertiente oeste se presenta descubierto pasando a formar parte del dominio yuxtaglacial; sin embargo, el umbral de la vertiente este continúa completamente cubierto por el Glaciar Chico formando parte del dominio infraglacial, evidenciando con esto que el flujo predominante se orienta hacia el Noreste de la cuenca (Figura 50).

Figura 50: Frente Glaciar Chico 1975.



Fuente: Fotografía aérea 1975.

Figura 51: Glaciar Chico 1975.

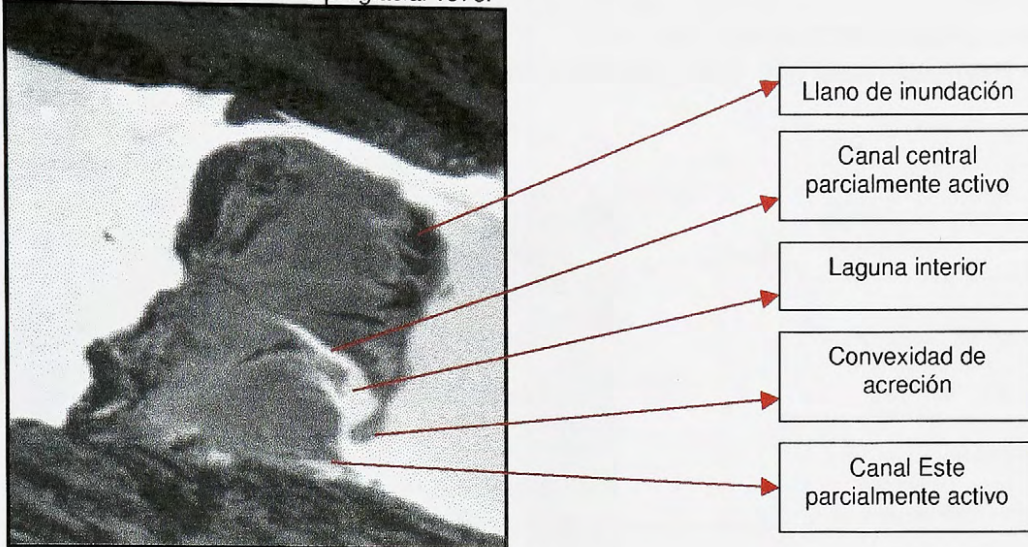


Fuente: Fotografía aérea 1975.

En el sector de la Península del Lago Chico (dominio proglacial) se puede observar un escaso desarrollo de la convexidad de acreción que actúa como barrera de la laguna interior, esta situación potencia el desarrollo de la laguna central y un gran avance de las aguas del Lago O'Higgins a través del canal central hacia el interior de la península (Figura 52).

El llano de inundación localizado en la parte Norte de la Península del Lago Chico se presenta activa; del mismo modo, se observa que el canal Este de la península presenta actividad en su zona distal. Ambas situaciones reflejan un aumento en el nivel del Lago O'Higgins (Figura 52).

Figura 52: Península dominio proglacial 1975.



Fuente: Fotografía aérea 1975.

3.2.3 Situación en 1995

En el año 1995 el retroceso continúa dejando al descubierto el promontorio rocoso del centro del lago pasando a formar parte del actual dominio infraglacial antiguo (Figura 53).

Así mismo, se evidencia un cambio en la orientación del frente del glaciar direccionándose hacia el valle del Glaciar Gaea, esto se hace visible en la pequeña superficie del lago proglacial que queda al descubierto en el margen noroeste del frente de la lengua (Figura 53).

La reorientación del flujo del glaciar hacia la vertiente oeste es evidenciada al observar la gran cobertura de hielo sobre el lago terminal del frente de la lengua (Figura 54).

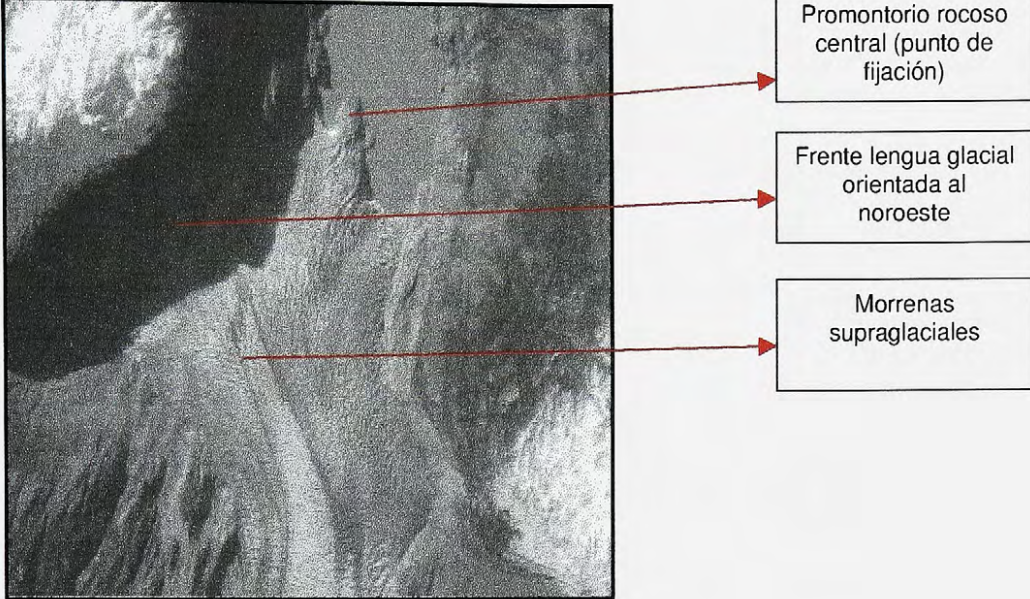
Esta situación indica que el dominio supraglacial e infraglacial para el año 1995 poseía mayor extensión que en la actualidad, cubriendo zonas pertenecientes al dominio terminal del año 1997.

La nueva dirección predominante de la lengua terminal del Glaciar Chico hace que la acción del glaciar se concentre hacia el noroeste dejando en segundo plano la acción sobre la superficie del sector noreste .

Por su parte el canal drenaje desde el lago del Glaciar Gaea comienza a perder competencia, generando así la pérdida de aporte fluvial hacia el cuerpo lacustre del frente noroeste de la lengua del Glaciar Chico (Figura 54).

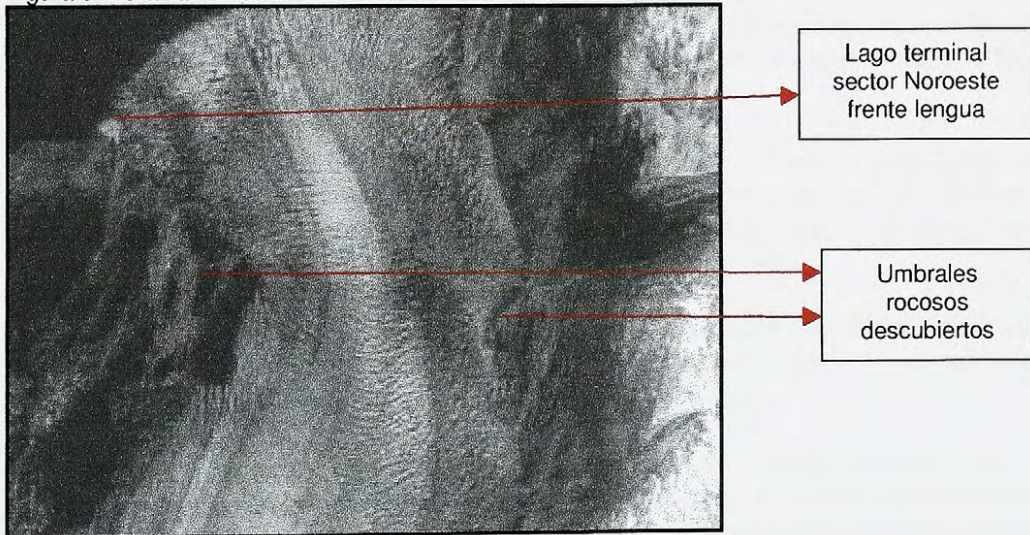
La disminución del nivel del lago del Glaciar Gaea influye en la inactividad del canal de drenaje y por ende en el nulo aporte fluvial desde el suroeste del valle del Glaciar Gaea hacia el lago terminal represado por el frente de la lengua del Glaciar Chico (Figura 54).

Figura 53: Frente Glaciar Chico 1995.



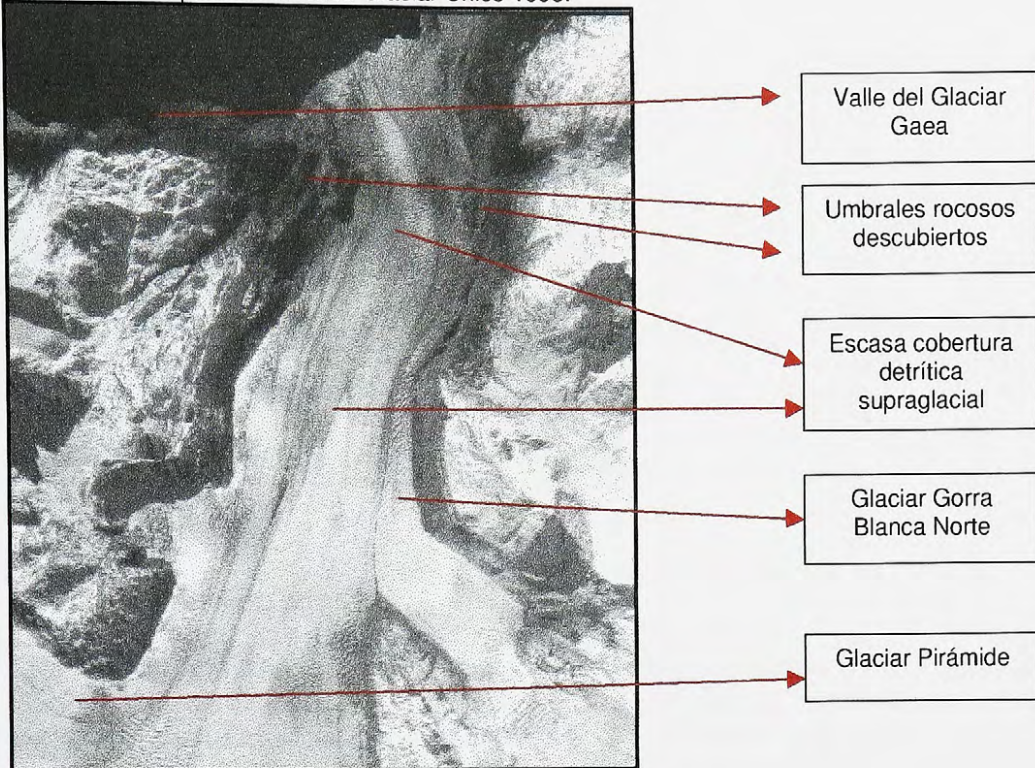
Fuente: Fotografía aérea 1995.

Figura 54: Glaciar Chico 1995.



Fuente: Fotografía aérea 1995.

Figura 55: Zona proximal cuenca Glaciar Chico 1995.



Fuente: Fotografía aérea 1995.

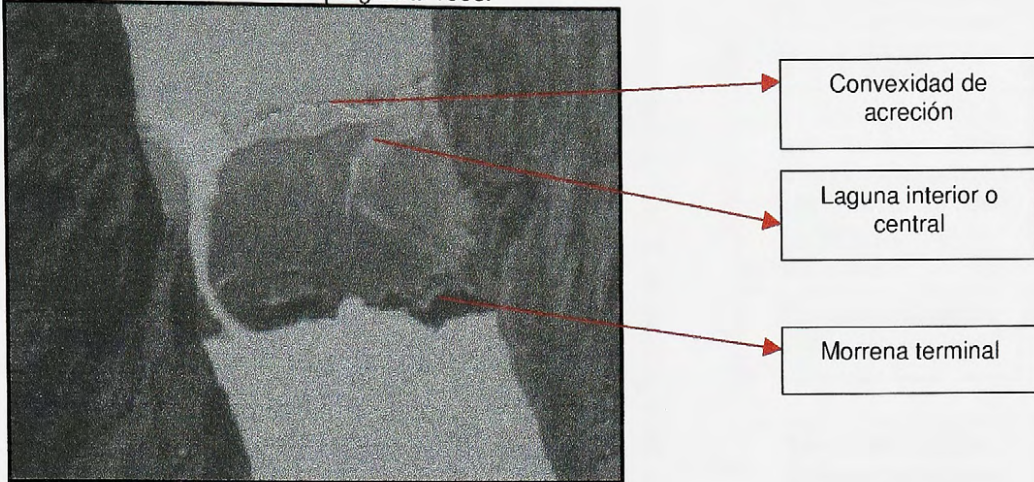
Por su parte, la morfología del dominio supraglacial contrasta considerablemente con los años anteriores debido a una importante cobertura nivosa que restringe la identificación de formas supraglaciales dejando sólo evidencias de dos pulsos morrénicos centrales y parte de las morrenas mediales (Figura 55).

En el año 1995 se observa un cambio en los dominios supraglacial e infraglacial de la vertiente este asociado a una disminución en el espesor y alcance del Glaciar Chico, así el umbral de esta vertiente queda al descubierto pasando a formas partes del dominio yuxtaglacial (Figura 55).

Por su parte en el dominio proglacial se observa un importante desarrollo de la convexidad de acreción que actúa como una barrera sobre la influencia del Lago O'Higgins en la Península del Lago Chico (Figura 56).

Así, las aguas del Lago O'Higgins se internan marginalmente por un estrecho canal en la zona Este de la Península del Lago Chico y su acción en el interior de la misma es casi nula, observándose la ausencia de la laguna central y la parcial inactividad de los canales afluentes. Por su parte se evidencia un gran banco de sedimentos en el centro del canal depositada por procesos de sedimentación lacustres (Figura 56).

Figura 56: Península dominio proglacial 1995.



Fuente: Fotografía aérea 1995.

3.2.4 Situación en 1997

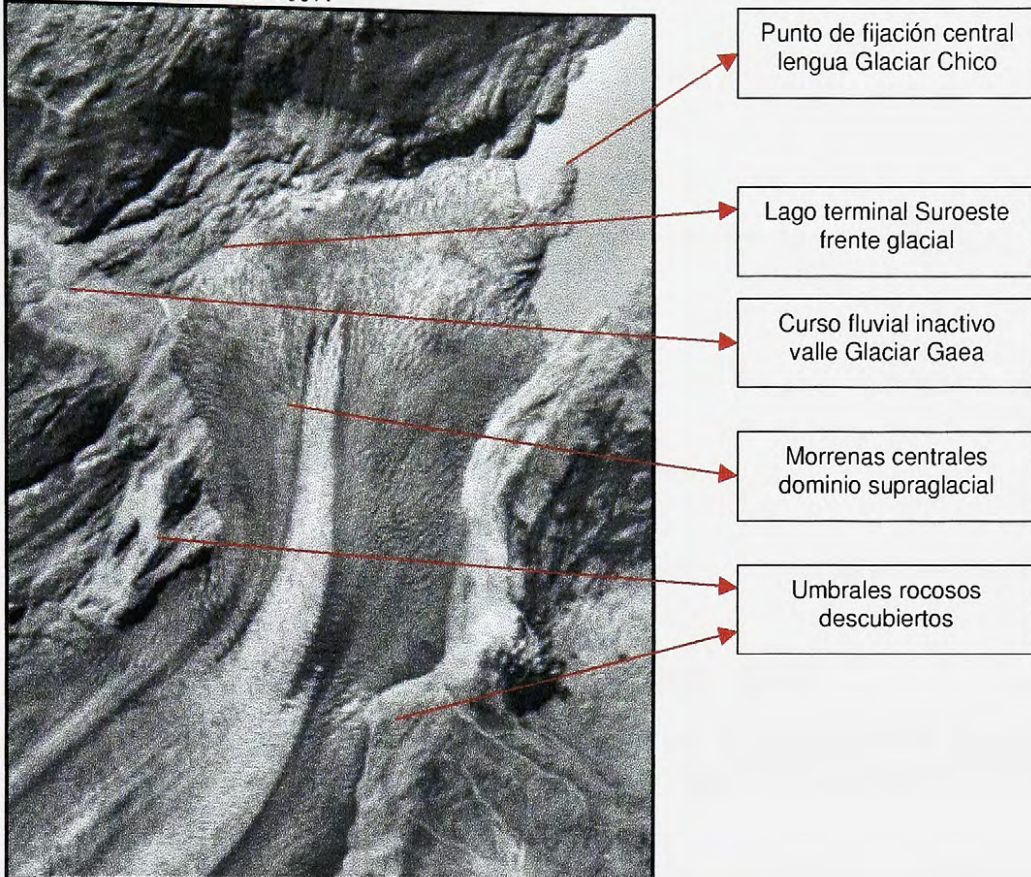
En el año 1997 se puede observar que el promontorio rocoso que actúa como punto de fijación está descubierto al igual que los umbrales de ambas vertientes pasando a ser parte definitivamente del dominio infraglacial antiguo y yuxtaglacial respectivamente, quitándole extensión a los dominios supraglacial e infraglacial (Figura 57).

En el dominio terminal el lago terminal del sector suroeste del frente de la lengua presenta un desarrollo importante que deja en evidencia procesos de ablación continuos del Glaciar Chico (Figura 57).

La inactividad del curso fluvial de desagüe del valle del Glaciar Gaea permite asegurar que la extensión alcanzada por el lago proglacial del margen Noroeste es alimentado exclusivamente por procesos de fusión del Glaciar Chico (Figura 57).

Al mismo tiempo se evidencia una cobertura detrítica importante sobre el dominio supraglacial y una clara consolidación de las morrenas centrales y mediales pertenecientes a este dominio (Figura 57).

Figura 57: Glaciar Chico 1997.



Fuente: Fotografía aérea 1997.

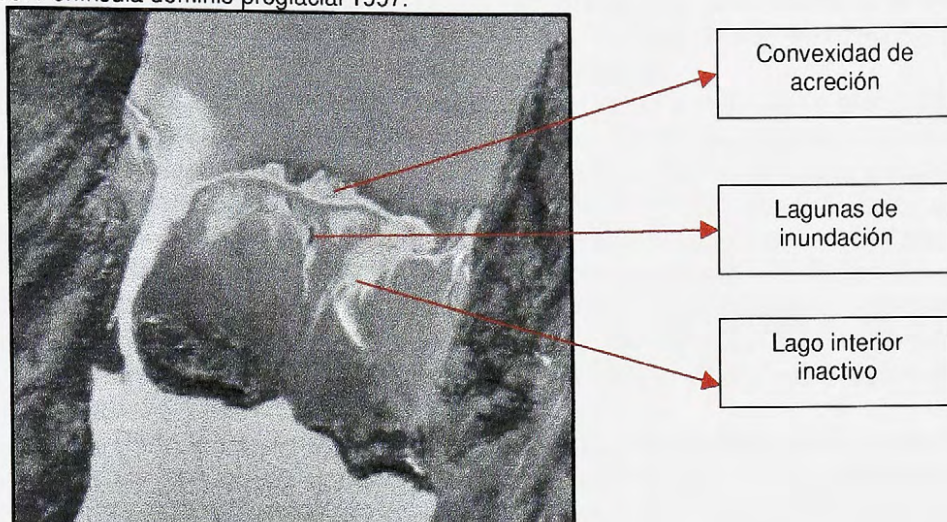
En el año 1997 la convexidad de acreción posee un importante desarrollo tanto en el sector Noreste como en el Noroeste de la Península del Lago Chico evidenciando un gran aporte de sedimentos desde el Sur de la cuenca del Glaciar Chico (Figura 58).

La laguna interior se presenta inactiva y colmatada de sedimentos lacustres; por su parte los canales de la Península del Lago Chico no presentan actividad y muestran sedimentación importante (Figura 58).

Las lagunas de inundación se presentan activas lo que podría asociarse a eventos de precipitación.

Las grandes diferencias observadas en formas como la convexidad de acreción y la laguna interior en los años considerados reafirman el carácter dinámico y estacional de estas formas.

Figura 58: Península dominio proglacial 1997.



Fuente: Fotografía aérea 1997.

3.3 Clasificación Morfológica del Valle del Glaciar Chico:

La inexistencia de una clasificación específica que se adapte al caso del Glaciar Chico, genera la necesidad de clasificarlo mediante una comparación con otros sistemas glaciales.

De esta manera, las características del valle del Glaciar Chico se describen en función de la comparación con otros glaciares de valle que presentan un sistema de circo - artesa simple.

Al considerar la morfología de la zona proximal de la cuenca del Glaciar Chico, se evidencia una clara diferenciación con las formas asociadas a glaciares de circos simples; en este sentido la inexistencia de un circo en la cabecera de la cuenca representan el primer factor de diferenciación del valle del Glaciar Chico respecto a otros valles glaciales.

Es así, como la morfología de la cabecera de la cuenca del Glaciar Chico se caracteriza por incluir cuatro subsistemas glaciales diferentes que conforman la cuenca receptora de masa y energía en las partes altas del valle.

De Este a Oeste la distribución de los subsistemas es la siguiente:

1. Glaciar Gorra Blanca Norte: este subsistema se caracteriza por la existencia de una cuenca glacial bien definida, correspondiente a la cuenca del Glaciar Gorra Blanca Norte. La zona proximal del subsistema está representado por una secuencia de tres circos coalescentes desde donde se concentran los flujos provenientes de la cabecera y se dirigen hacia la

- zona de ablación del Glaciar Chico. La artesa de este subsistema está representada por el cordón El Trueno por el Este y por el cerro Gorra Blanca por el Oeste (Carta Geomorfológica adjunta).
2. Paso de los Cuatro Glaciares: corresponde a la zona más alta y plana de la cuenca, desde donde se concentran los flujos de hielo provenientes desde el CHS los que son reorientados hacia el Norte a través del paso existente entre el cerro Gorra Blanca y el cordón Lliboutry. No presenta una morfología de circo; sin embargo la altura y la morfología plana del sector permiten la acumulación de nieve y la posterior generación de hielo.
 3. Cordón Lliboutry: este subsistema engloba una serie de pequeños glaciares que se desprenden de la vertiente norte del cordón. Estos glaciares presentan una morfología de circo y artesa simple (Carta Geomorfológica adjunta).
 4. Glaciar Pirámide: este subsistema no presenta una morfología bien definida de circo y artesa; su cabecera está conformada por una convexidad del cordón Gaea y su artesa queda definida por el cordón Gaea por el Sur y por la vertiente suroeste de la cuenca del Glaciar Chico por el Norte. En el sector Sur de este subsistema existen pequeños sistemas glaciales de escaso desarrollo que se incorporan al flujo del Glaciar Pirámide (Carta Geomorfológica adjunta).

En la zona distal el valle del Glaciar Chico, se presenta una morfología similar a la de una artesa, evidenciándose un encauzamiento y encajonamiento de la lengua aguas abajo. Las paredes de la artesa del valle están representadas por el cordón El Trueno por el Este y por la Península de Sudamérica por el Oeste.

En ambas vertientes se presentan rasgos geomorfológicos similares a los existentes en sistemas glaciales de circo y artesa simple, como morrenas laterales, morrenas terminales, rocas aborregadas, entalle glacial, *trimline* y umbrales.

Sin embargo, existen elementos que diferencian la artesa del valle del Glaciar Chico de otras artesas de glaciares de valle; estos elementos son:

1. Fiordo lacustre o de aguas dulces en la zona terminal del valle, ocupada por un lago terminal correspondiente al Lago Chico.
2. Formación de la Península del Lago Chico en la zona distal del valle, originada durante el último avance del Glaciar Chico.
3. Irrupción de la lengua del Glaciar Gorra Blanca Norte en el sector medio del valle del Glaciar Chico.
4. Irrupción de la zona terminal de la lengua del Glaciar Chico hacia el interior del valle del Glaciar Gaea.
5. Existencia del cerro Gorra Blanca en la zona proximal de la cuenca que actúa como regulador de presencia reorientando y encauzando al Glaciar Chico en sentido Noroeste.

6. Evidencia de un emplazamiento del Glaciar Chico antiguo a una altitud mayor que el representado por formas modernas de los dominios terminal, proglacial, yuxtaglacial y supraglacial.

Al mismo tiempo, se puede tipificar la cuenca del Glaciar Chico en comparación con otras cuencas de glaciares de *outlet*.

De esta manera, se pueden identificar formas que permiten caracterizar a los glaciares efluentes de la zona oriental de CHS. Siguiendo el criterio de zonación establecido en el punto 3.1 de la presente investigación se puede decir que las características morfológicas de los glaciares efluentes son las siguientes:

Dominio terminal:

- Sistemas morrénicos terminales en las zona distales de las cuencas.
- Lagos terminales localizados entre los frentes de las lenguas y los arcos morrénicos terminales.
- Frentes desprendentes (*calving front*) que generan témpanos de hielo que alimentan los lagos terminales.
- Zonas intermorrénicas entre los arcos morrénicos terminales.

Dominio proglacial:

- Planos de *outwash* o llanos proglaciales.
- Canales de desagüe que disectan los planos de *outwash*.
- Cursos fluviales y depósitos fluvio – glaciales.
- Paleocanales sobre los llanos proglaciales.

Dominio supraglacial:

- Morrenas mediales.
- Glaciares tributarios con influencia sobre el glaciar principal.

Dominio yuxtaglacial:

- Sistemas morrénicos laterales.
- *Trimlines* sobre los sistemas morrénicos terminales.

Todas estas características morfológicas permiten clasificar al Glaciar Chico como un glaciar de exutorio del CHS; sin embargo, se deben considerar también los rasgos particulares de la morfológica supraglacial en la clasificación del Glaciar Chico como un glaciar efluente.

En este sentido, la existencia de grietas transversales y longitudinales de gran extensión y profundidad (Figura 59 y 60) e importantes deformaciones en la superficie del glaciar indican su condición de glaciar efluente descritas por LLIBOUTRY (1956).

Figura 59: Grietas zona proximal Glaciar Chico.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 60: Panorámica dominio supraglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Por otro lado, la morfología de la zona supraglacial permite clasificar al Glaciar Chico de forma alternativa, es así como las formas encontradas en la superficie del hielo permiten clasificar a los glaciares según etapas de desarrollo de un proceso de inversión de relieve.

Se consideran tres etapas principales en el proceso de *Karst* glacial, las cuales se relacionan con la madurez del glaciar; cada etapa se define en relación al desarrollo de procesos de ablación diferencial y de depositación de material generando así morfologías particulares para cada eslabón de la cadena evolutiva.

De esta manera, el Glaciar Chico puede considerarse como un glaciar que presenta procesos patentes de *Karst* glacial, presentando morfologías típicas de esta condición como son: crecimiento de montículos de escombros o *dirt cone* y procesos de fusión diferencial sobre el manto glacial (Figura 61).

La continua y progresiva fusión del hielo en zonas con recubrimiento somero de detritos o sin recubrimiento generan formas como *moulins* (orificios verticales por los cuales escurren las aguas de fusión supraglacial) y grietas; ambas formas corresponden a morfologías típicas de procesos de inversión del relieve de un glaciar (Figura 62).

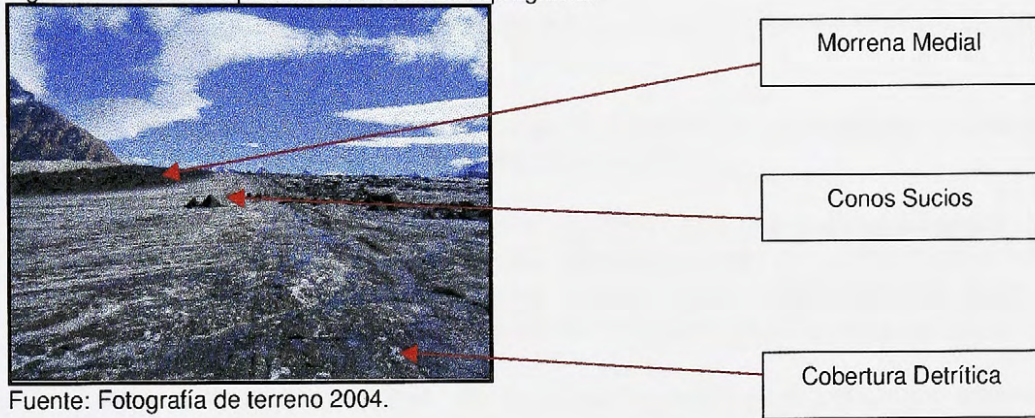
Los conos sucios o *dirt cone*, el área cubierta por material morrénico (morrenas mediales y centrales) y el recubrimiento de detritos en la zona

supraglacial, cubren un área de aproximadamente 37.88 Km² correspondientes al 29% de la superficie total del glaciar (estimación imagen Landsat ETM+ 2001) concentrados principalmente en la zona de descarga del dominio supraglacial.

Estos antecedentes permiten relacionar la cobertura detrítica superficial del Glaciar Chico con un *continuum* que involucra un sistema evolutivo desde glaciares descubiertos hasta glaciares rocosos, cuya fase intermedia corresponde a los glaciares cubiertos. La evidencia en terreno y de fotointerpretación permiten clasificar al Glaciar Chico como un glaciar cubierto.

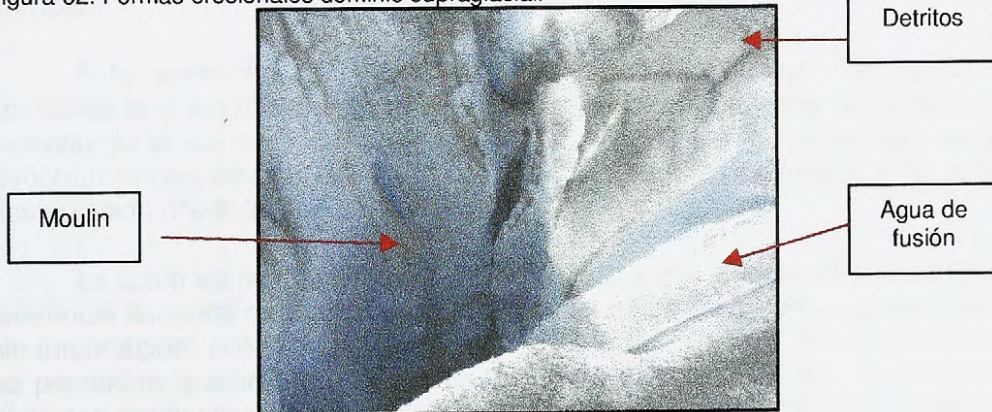
La cobertura detrítica supraglacial se asocia a formas estabilizadas y consolidadas en la superficie del hielo, debido a la ineficiencia que presentan los cursos de agua de fusión para eliminar el exceso de escombros superficiales del glaciar.

Figura 61: Formas deposicionales dominio supraglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Figura 62: Formas erosionales dominio supraglacial.



Fuente: Fotografía de terreno 2004.

Otro factor a considerar dentro de la clasificación del Glaciar Chico como glaciar efluente es la pendiente que presenta la masa de hielo la que se asocia al tipo de flujo característicos de los glaciares de *outlet* del tipo corriente de hielo.

De esta manera, al considerar la pendiente del glaciar correspondiente a 4.55% calculada a partir de un desnivel de 1150 m y una distancia de 25.28 Km. (longitud del glaciar) se observa una gradiente suave de la superficie del hielo.

Sin embargo, se observan cambios importantes en la pendiente a lo largo del glaciar en tres zonas específicas:

1. Entre la zona de acumulación y la zona de ablación (observación de terreno, 2004).
2. En la zona de umbrales donde el glaciar presenta un quiebre en la pendiente y una caída de hielo.
3. En la zona distal del glaciar, específicamente en el frente desprendente donde la gradiente es escarpada debido a que constituye la zona terminal de la lengua.

La existencia de estos tres sectores de quiebres en la pendiente no pueden ser asociados a la gradiente presente en todo el glaciar.

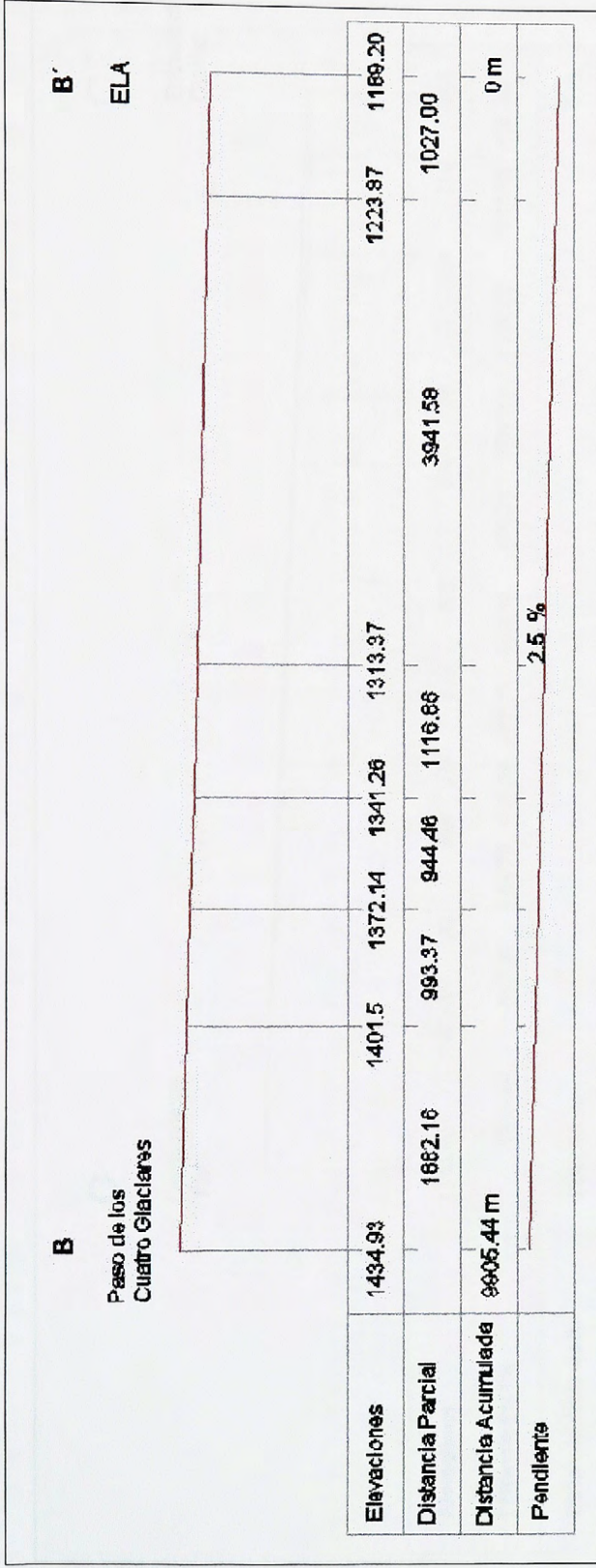
El análisis del perfil 2 revela que la pendiente de la zona de acumulación del Glaciar Chico es del orden del 2.5% presentándose en consecuencia una gradiente suave asociada a una zona relativamente plana propicia para la acumulación de hielo y un desnivel menor que el existente en la zona de ablación.

Bajo la línea de equilibrio en la zona de ablación la pendiente aumenta presentado una gradiente del orden del 4.5% evidenciando por tanto un sector más escarpado del valle y consecuentemente una topografía subglacial más abrupta.

Este aumento considerable de la pendiente refleja que existe una componente gravitacional mayor que favorece el desplazamiento del hielo hacia el exutorio de la cuenca localizada al Norte de la zona de acumulación y por tanto deberían evidenciarse velocidades de flujo mayores a las existentes en la zona de acumulación (Perfil 3).

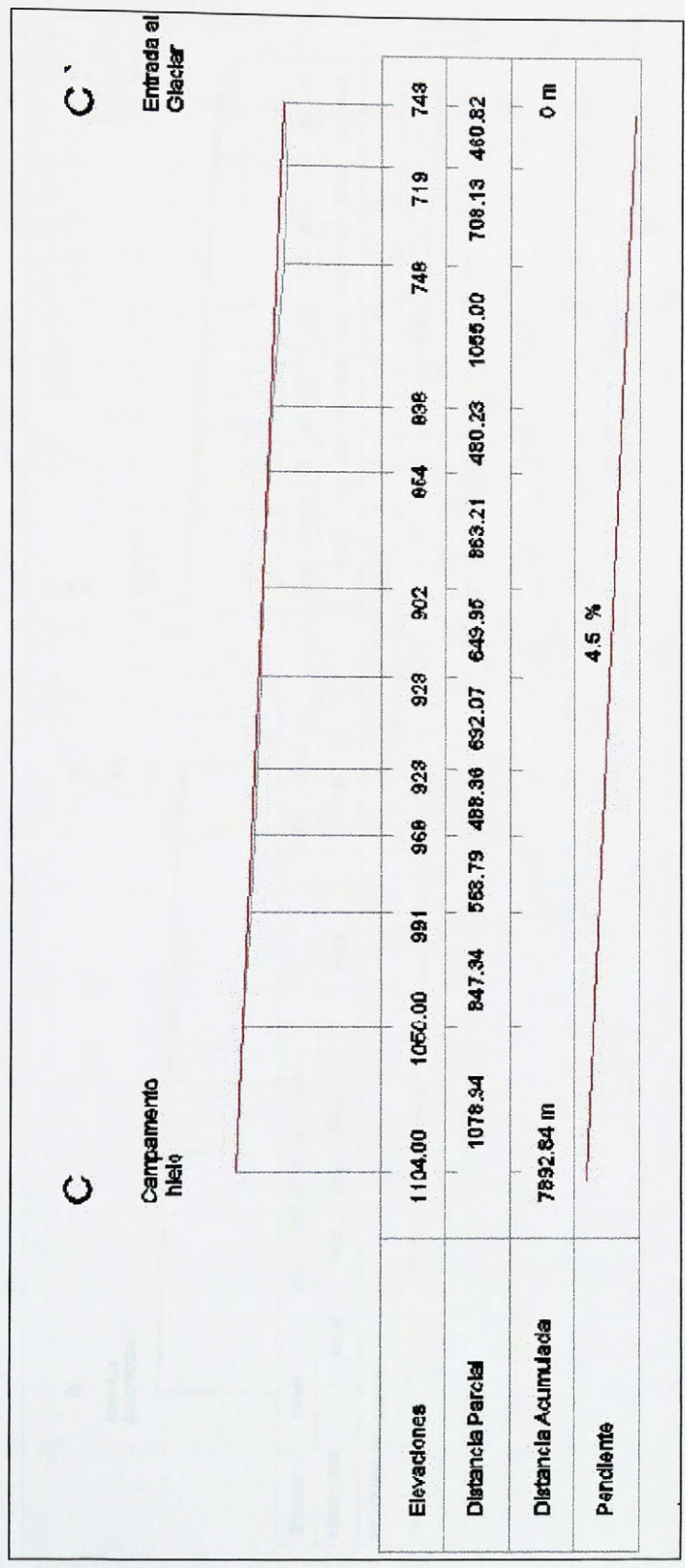
La unión teórica de ambos perfiles (debido a que la toma de datos tiene una diferencia temporal de 3 años y a que existe un tramo de aproximadamente 200 m sin información) refleja una tendencia a lo largo del Glaciar Chico; en general no se presentan quiebres pronunciados, pasando de una zona de acumulación de hielo con gradiente suave a una zona de ablación con pendiente más pronunciada contribuyendo de esta forma al drenaje del hielo y aguas de fusión hacia la zona distal del glaciar (Perfil 4).

Perfil 2: Perfil Sur – Norte, Zona de Acumulación Glaciar Chico 2001.



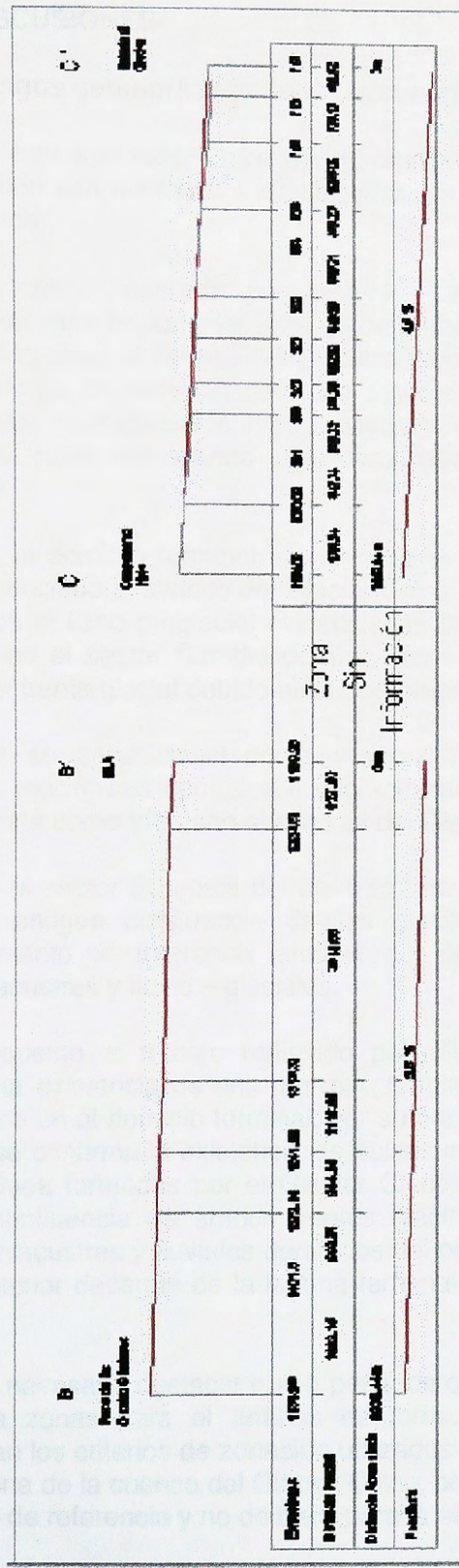
Fuente: Datos Topográficos CECS, Elaborado por la autora.

Perfil 3: Perfil Sur – Norte, Zona de Ablación Glaciar Chico 2004.



Fuente: Datos Topográficos ICCH, Elaborado por la autora.

Perfil 4: Unión de Perfiles Sur –Norte, Glaciar Chico (2001 – 2004).



Fuente: Elaborado por la autora.

4. DISCUSIONES

Rasgos geomorfológicos de la cuenca del Glaciar Chico:

Se han asociado los rasgos geomorfológicos encontrados en la presente investigación con las formas identificadas por otros autores, estas se resumen a continuación.

El trabajo realizado por ARAYA – VERGARA (1961) a sido la base cartográfica más importante para el desarrollo del presente estudio; el análisis geomorfológico de la cuenca del Glaciar Chico ha permitido confirmar la existencia de las formas encontradas por este autor en los dominios proglacial, terminal, supraglacial, yuxtaglacial e infraglacial; así mismo se ha complementado esta cartografía base entregando una carta geomorfológica de detalle del sector estudiado.

En el dominio terminal se confirma la existencia de un cordón morrénico terminal asociado al avance del Glaciar Chico y el posterior depósito de materiales lavados en el llano proglacial evidenciadas por ARAYA – VERGARA (1961); por su parte en el sector Sur del dominio terminal no se evidencia el promontorio rocoso del frente glacial debido al año de mapeo de formas (1961).

Por su parte en el dominio supraglacial se confirma la existencia de depósitos morrénicos centrales o supraglaciales y la influencia del Glaciar Gorra Blanca Norte como tributario al sistema del Glaciar Chico.

En el sector Suroeste del dominio terminal se confirma la existencia de un valle de antigua confluencia de los glaciares Gaea y Chico a través del reconocimiento de morrenas terminales y de empuje, lago terminal, depósitos glacio – lacustres y fluvio – glaciales.

Respecto al trabajo realizado por ITURRIASPE & STRELIN (2002) se confirma la existencia de una morrena terminal en el sector de la Península del Lago Chico en el dominio terminal; por su parte en el sector Suroeste del dominio terminal se confirma la existencia de pulsos morrénicos de empuje en el valle del Glaciar Gaea formados por el Glaciar Chico y el Glaciar Gaea en un sector de antigua confluencia de ambos frentes glaciales; así mismo, se evidencian los depósitos lacustres y fluviales derivados del proceso de ablación del Glaciar Gaea y del posterior desagüe de la laguna terminal formada por el retroceso del frente glacial.

Es necesario destacar que a pesar de que la investigación de estos autores determina zonas para el análisis de formas glaciales y periglaciales, no se especifican los criterios de zonación utilizados y deja vacíos de información en una amplia zona de la cuenca del Glaciar Chico, por lo que el contenido de este trabajo sirve sólo de referencia y no de base para la elaboración de estudios posteriores.

Por su parte los sistemas reconocidos por RIVERA (2004) para el Glaciar Chico están asociados al reconocimiento de formas generales, principalmente sistemas morrénicos y zonas deposicionales como testigos de avances y retrocesos, correlacionando procesos erosivos y deposicionales del Glaciar Chico con dinámicas de sistemas tributarios menores, determinando así años relativos para las macroformas encontradas.

Derivaciones morfogenéticas:

La configuración morfológica de la Península del Lago Chico puede ser explicada mediante el siguiente análisis morfogenético:

1. El avance del Glaciar Chico hasta su posición terminal generando mediante un efecto bulldózer la conformación de un arco morrénico terminal correspondiente al primer pulso o morrena exterior del sistema.
2. Retroceso del Glaciar Chico.
3. Reavance del glaciar conformando el segundo arco morrénico correspondiente al segundo pulso o morrena interna.
4. Contemporáneamente a la conformación de la morrena terminal se asocia un nivel del Lago O'Higgins superior a los 250 m actuales contactándose directamente con el arco morrénico exterior generando la depositación de varves en el sector Norte del primer pulso.
5. Etapa de estacionamiento del glaciar en la morrena interna y procesos de lavado asociados a la existencia de canales subglaciales y supraglaciales cuyos flujos cargados de material fino conformaron el primer proceso de depositación del llano proglacial.
6. Retroceso glacial y conformación de una laguna terminal produciendo un apesamiento de agua entre el frente del glaciar y los arcos morrénicos terminales. Los aportes de agua desde el lago terminal junto con la presión ejercida por el propio cuerpo de hielo provocan un desborde de la laguna generando consecuentemente procesos de lavado de material y depositación en la zona Norte de los arcos morrénicos.
7. El continuo lavado y presión ejercida por las aguas del lago y el frente glacial provocan el colapso de zonas débiles dentro de los sistemas morrénicos generando de esta manera los canales de desagüe en los extremos Oeste, centro y Este de la Península del Lago Chico.
8. La acción de los canales fluvio – glaciales disecta el llano proglacial en distintos sectores.
9. Las playas, convexidad de acreción y laguna interior representan procesos deposicionales activos; esto queda demostrado al confirmar la inestabilidad de estas formas dependientes del nivel de los lagos y fenómenos de marejadas principalmente invernales.

Analizando el dominio terminal se puede inferir que debido al permanente desprendimiento desde el frente de la lengua del Glaciar Chico en el sector Norte y Noroeste unido a un proceso de ablación continuo del glaciar permitirían la unión entre el lago terminal del sector Noroeste y el Lago Chico.

Sin embargo, existen tres factores de control topográfico que inciden directamente en la unión de ambos lagos terminales:

1. La existencia de una roca aborregada que actúa como punto de fijación y como sustentador basal del frente del Glaciar Chico inhibiendo el proceso de calving o desprendimiento.
2. El reducido ancho del valle de emplazamiento del Glaciar Chico que se asocia a procesos de sustentación lateral de la masa de hielo influyendo en la presencia de fenómenos de desprendimiento y retroceso.
3. La profundidad del Lago Chico estimada entre 50 – 80 m (RIVERA, 2004, Conferencia Departamento de Geofísica, Universidad de Chile) lo que indica que el Glaciar Chico no se encuentra en flotación, disminuyendo por tanto la inestabilidad que provoca el agua sobre el hielo.

Siguiendo con el análisis del dominio terminal, se deduce que en el sector del valle del Glaciar Gaea el retroceso de los glaciares Gaea y Chico produjo la formación de depósitos fluvio-glaciales en la sección ocupada por el Glaciar Chico y depósitos glacio-lacustres en la sección ocupada por el Glaciar Gaea.

Por su parte, en el dominio infraglacial antiguo los rasgos geomorfológicos característicos correspondientes a rocas aborregadas existentes sobre el entalle glacial y las *trimline* en ambas vertientes son el testimonio de la influencia del Glaciar Chico durante la Última Glaciación. La extensión de este avance ha sido estudiada por CALDENIUS (1932), el que establece que las morrenas terminales de esta glaciación se encuentran en el Lago San Martín.

Así mismo, la evidencia de depósitos de bloques erráticos dentro de los canales y sobre promontorios rocosos permite deducir la posición de la masa de hielo durante la Última Glaciación y confirmar el poder erosivo, de arranque y de transporte de materiales del Glaciar Chico durante el Pleistoceno.

Conjuntamente, la existencia de rocas agrietadas con profundas estrías y acanaladuras en la parte distal de la cuenca reflejan la competencia erosiva y abrasiva del glaciar durante la Última Glaciación en zonas en las que el Glaciar Chico durante su último avance no dejó vestigios de su acción.

La existencia de formas más recientes pertenecientes a los dominios terminal, proglacial, yuxtaglacial, glacial y supraglacial permiten establecer que la conformación de estos dominios comienza con del cierre morrénico de la Península del Lago Chico y el depósito de las morrenas laterales en ambas vertientes relacionados al máximo avance del Glaciar Chico 1600 años antes del presente (RIVERA, 2004); por su parte la conformación del dominio infraglacial

antiguo está asociado a la Última Glaciación estudiada por CALDENIUS (1932) cuyas morrenas terminales se encuentran al Noreste del área de estudio.

Cambios históricos:

Los cambios evidenciados en la cuenca del Glaciar Chico durante el periodo 1945 – 1997 en los dominios cercanos al frente glacial (terminal, proglacial y yuxtaglacial) tienen directa relación con cambios en la dinámica del glaciar y a procesos de ablación continuos del mismo.

De esta manera, el permanente retroceso y adelgazamiento del Glaciar Chico produce un aumento de superficie en el dominio terminal y yuxtaglacial evidenciado por la génesis y descubrimiento de formas como lagos terminales, depósitos fluvio - glaciales y umbrales de ambos dominios.

Es así como, durante el periodo 1945 – 1995 el Glaciar Chico experimentó un retroceso lineal de 1.9 Km. (RIVERA & CASASSA, 2000).

Una situación similar se observa al considerar la dinámica del dominio proglacial; en este dominio se presentan cambios significativos en formas como la convexidad de acreción, laguna central, canales de desagüe y llano de inundación que presentan mayor desarrollo y actividad relacionado con aumentos del Lago O'Higgins y del Lago Chico.

En este sentido, los mayores cambios evidenciados en las formas del dominio proglacial se observan durante el periodo 1945 – 1975, el cual coincide con aumentos sostenidos en los niveles de ambos lagos asociados a las mayores tasas de retroceso de ambos glaciares (1.4 Km. por año para el Glaciar O'Higgins y 71.4 m. por año para el Glaciar Chico entre 1973 – 1976).

Del mismo modo, la colmatación de los canales de desagüe y el amplio desarrollo de la convexidad de acreción se pueden asociar a procesos de sedimentación lacustre durante periodos de mayor nivel del Lago O'Higgins.

Zonación del sistema:

El escaso desarrollo de criterios y métodos de zonación para sistemas glaciales de exutorio generan la necesidad de establecer un criterio propio de zonación para la cuenca del Glaciar Chico.

Sin embargo, para el establecimiento de zonas o dominios distales de la cuenca del Glaciar Chico se consideraron los criterios expuestos por TRICART & CAILLEUX (1965), referidos a las características de los dominios proglacial y terminal (frontal) y a los rasgos geomorfológicos y procesos morfogenéticos que operan en ellos.

La determinación de dominios se genera a partir de la identificación de formas que presenten procesos morfogenéticos similares durante periodos relacionados al avance, estacionamiento o retroceso del glaciar y por tanto a la presencia o ausencia de hielo.

Relación entre sus partes:

La zonación establecida para la cuenca del Glaciar Chico permite identificar un relación directa entre cada uno de los dominios identificados.

De esta manera, se pueden correlacionar los depósitos de morrenas laterales con las morrenas terminales de la Península del Lago Chico.

Al mismo tiempo, se puede hacer una relación entre la gran cantidad de material detrítico superficial y procesos de fusión del glaciar con la turbidez del Lago Chico y la probable existencia de bancos morrénicos submarinos.

El permanente balseo de témpanos desde el dominio terminal hacia la parte distal de la cuenca por efecto del viento permiten relacionar la conformación de playas acrecionales y convexidad de acreción a procesos de descarga de material intraglacial en el Lago Chico.

La existencia de zonas de grietas ampliamente desarrolladas a lo largo de todo el Glaciar Chico y grandes acumulaciones de material detrítico en su superficie permiten deducir la existencia de depósitos de till en las zonas intraglaciales e infraglaciales transportadas desde el dominio supraglacial a niveles inferiores a través de canales de fusión.

La dinámica del dominio supraglacial está directamente relacionada con la conformación de formas en los dominios yuxtaglacial y terminal; de manera que formas como rocas aborregadas, umbrales y promontorio rocoso central del Lago Chico se originan durante etapas de avance glacial, mientras que depósitos glacio – lacustres y fluvio – glaciales se originan en periodos de retroceso glacial.

La influencia de factores como estrechez y encajonamiento del valle tienen directa relación con el alcance y desarrollo reducido del dominio yuxtaglacial.

La existencia del promontorio rocoso que actúa como punto de fijación del frente de la lengua junto con el encajonamiento del valle disminuyen los procesos de desprendimiento del frente asumiendo por tanto que el aumento y desarrollo de formas como los lagos terminales se asocian a corrientes de agua de fusión a través de canales supraglacial, intraglaciales y subglaciales.

Tipificación de la cuenca en comparación con otros sistemas glaciales:

Con respecto a la clasificación de glaciar efluente del Glaciar Chico y tomando en cuenta lo expuesto por BRÜGGEN (1928), LLIBOUTRY (1956), SUMMERFIELD (2001) y BENN & EVANS (1998) se evidencia una concordancia entre las características generales asociadas a este tipo de glaciares y las existentes en el sistema del Glaciar Chico.

Específicamente su posición marginal Noreste respecto al CHS lo caracteriza como receptor de los flujos divergentes del plateau canalizando de esta manera la masa y energía excedente de las partes altas, determinando su condición de glaciar efluente.

Al mismo tiempo, su posición geomorfológica en un valle periférico del CHS, con características de profundidad, encajonamiento y vertientes de pendientes abruptas lo tipifican como glaciar de exutorio.

Por su parte, en el ámbito geomorfológico se evidencian similitudes en las formas de los glaciares efluentes del sector oriental de CHS, logrando establecer rasgos típicos de glaciares exutorios asociados principalmente a depósitos en las zonas proglaciales y terminales.

Relacionando la cuenca del Glaciar Chico con otros sistemas glaciales efluentes de ambos campos de hielo se puede aseverar la existencia de similitudes en sus morfologías y las características de los valles de emplazamiento.

De la investigación de MALAGNINO & STRELIN (1992) en el Glaciar Upsala se desprende las siguientes características:

- Ancho del valle en el frente terminal de 4 Km.
- Frente terminal del glaciar en un brazo del Lago Argentino.
- Existencia de morrenas mediales.
- Presencia de fenómenos de *calving*.

Por su parte el trabajo realizado por YAMADA (1992) en el Glaciar Tyndall revela que:

- La lengua glacial posee un frente terminal que presenta desprendimientos de témpanos en un lago terminal.
- La zona de ablación del glaciar se encuentra confinada en un valle de aproximadamente 3.5 Km.
- En el dominio supraglacial se encuentran morrenas mediales.

La investigación de ANIYA & SKVARCA (1992) en el Glaciar Moreno muestra características bastante similares a las anteriores:

- Ancho del valle de 4 Km.
- Frente terminal del glaciar en el Lago Rico (Brazo del Lago Argentino).
- Presencia de fenómenos de *calving*.
- Inexistencia de morrenas mediales.

Por su parte en CHN las evidencias morfológicas para los glaciares efluentes se derivan de la investigación de WINCHESTER & HARRISON (2000) en los Glaciares Arco y Colonia.

Arco:

- Presencia de tres sistemas morrénicos (morrena de recesión, morrena terminal, morrena lateral).
- Lago terminal.
- *Trimline* sobre morrena lateral.

Colonia:

- Morrenas terminales y laterales.
- *Trimline*.
- Lago terminal.
- Presencia de fenómenos de *calving*.
- Plano de *outwash*.
- Canales fluviales sobre el plano de *outwash*.

5. CONCLUSIONES

Rasgos geomorfológicos de la cuenca:

La morfología actual de la cuenca del Glaciar Chico caracterizado por la existencia de un dominio infraglacial sobre el dominio yuxtaglacial permite deducir que existe un dominio terminal lejano constituido por las morrenas terminales del Glaciar Chico localizadas en el Lago San Martín y un dominio terminal cercano asociado al sistema morrénico terminal de la Península del Lago Chico, separados por un dominio proglacial constituido por la Península del Lago Chico.

La identificación de tres morrenas laterales permiten deducir la existencia de un tercer cordón morrénico terminal sumergido en las aguas del Lago Chico.

La actual dirección del frente de la lengua del Glaciar Chico orientado hacia el Noroeste podría estar asociado a la existencia de una falla longitudinal que corre por la vertiente este paralela al flujo del glaciar; la nueva dirección del flujo de hielo debería producir un cambio en el rumbo de las disecciones en las formas erosionales otorgándoles una dirección de componente Sureste – Noroeste.

La colonización vegetal y estabilización de formas en los dominios terminal, proglacial, yuxtaglacial e infraglacial antiguo reflejan una directa relación entre la posición de la lengua y la génesis de formas.

La relativa estabilidad del cuerpo de hielo junto con el retroceso de los glaciares colgantes evidenciado en los depósitos morrénicos laterales no consolidados y morrenas de recesión en el fondo de los valles así como la estabilización de formas en los dominios yuxtaglacial, terminal y proglacial permiten deducir que los procesos periglaciales son los principales modeladores actuales del paisaje en las zonas altas y distales de la cuenca del Glaciar Chico.

El amplio desarrollo de vertientes residuales crionivales, taludes y material detrítico supraglacial se asocia a las características litológicas de la cuenca, las que presentan un claro dominio de rocas metamórficas y volcánico – sedimentarias fácilmente alterables por procesos de crioclastismo predominantes en el área.

Derivaciones morfogenéticas:

La conformación de la Península del Lago Chico se asocia al permanente lavado de materiales desde el arco morrénico terminal y a posteriores disecciones fluviales del llano proglacial o plano de *outwash* durante el máximo avance glacial.

La existencia de dos pulsos morrénicos terminales separados por una zona intermorrénica evidencian dos periodos sucesivos de avances y empuje del Glaciar Chico, la formación del llano proglacial se liga al estacionamiento del Glaciar Chico y a procesos de fusión *in situ* del mismo.

Las formas estacionales de la Península del Lago Chico, específicamente la laguna interior, las playas y la convexidad de acreción están sujetas a las dinámicas glaciales y lacustres, de esta forma no se espera que estos depósitos se consoliden.

La morfología compleja de la Península del Lago Chico en una superficie reducida (1 Km de largo por 1,5 Km de ancho) deja en evidencia el gran desarrollo del dominio proglacial derivado principalmente de procesos de acumulación y lavado evidenciados en glaciares de exutorio.

La existencia de material detrítico intraglacial en los témpanos desprendidos desde el frente del Glaciar Chico hacen suponer la existencia de bancos morrénicos en el fondo del Lago Chico originados por la descarga de sedimentos intraglaciales o fenómenos de *drops stones* (gotas de piedras) y de materiales finos decantados.

Así mismo, la decantación de sedimentos en suspensión en las aguas del Lago Chico podrían generar procesos de colmatación del canal Oeste actualmente activo haciendo ineficiente el desagüe del Lago Chico hacia el Lago O'Higgins, lo que sumado a la baja altura de los canales inactivos de la Península del Lago Chico (canal central y canal Este) permitirían una reactivación de estos.

El permanente desprendimiento de témpanos desde el frente del Glaciar Chico y su continua fusión permitirían la unión del Lago Chico y el lago terminal localizado al Noroeste de la cuenca.

Cambios históricos:

La evolución morfológica del Glaciar Chico está asociada a procesos de retroceso y adelgazamiento de la masa de hielo; sin embargo, existen tres factores morfológicos que disminuyen el impacto de las dinámicas glaciales sobre la morfología de la cuenca.

- Sustentación lateral del dominio yuxtaglacial.
- Profundidad del Lago Chico
- Sustentación basal del Glaciar Chico, del dominio infraglacial antiguo.

Zonación del sistema:

La zonación del sistema glacial permite establecer una secuencia en la génesis de morfologías de componente Norte – Sur derivada de la posición de la lengua glacial en distintos estadios evolutivos.

Los criterios de zonación establecidos en la presente investigación pretenden ser un aporte para futuros trabajos de geomorfología glacial debido a la inexistencia de criterios y metodologías de zonación para sistemas glaciales de exutorio.

Relación entre sus partes:

La relación entre las formas identificadas para cada dominio se asocia a la acción de procesos morfogenéticos que han operado en forma contemporánea en la génesis de formas de distintos dominios.

De esta manera, el cambio o alteración presente en un dominio tiene repercusiones directas sobre uno o más dominios adyacentes generando una cadena de conexión entre las zonas establecidas y los procesos morfogenéticos que actúan y operan sobre ellas.

Esto refleja la existencia de una sinergia dentro del sistema de la cuenca del Glaciar Chico, donde las partes componentes son más que el sistema completo.

Tipificación de la cuenca en comparación con otras de outlet:

Al analizar los rasgos geomorfológicos de los glaciares de CHN y CHS en los dominios terminal, proglacial y yuxtaglacial, se puede establecer la existencia de un patrón geomorfológico y morfogenético para los glaciares efluentes localizados en el margen oriental de ambos campos de hielo, definiendo así características típicas de glaciares de exutorio asociados a la existencia de sistemas morrénicos laterales y terminales, lagos terminales, *trimline*, y depósitos glacio – lacustres y glacio – fluviales como componentes principales.

La morfología del valle del Glaciar Chico caracterizada por tener un ancho reducido, paredes escarpadas, encajonamiento y por la existencia de un lago terminal, permiten asumir que es un fiordo lacustre o de aguas dulces que no presenta estuario; lo anterior sumado a la existencia de un dominio proglacial ampliamente desarrollado y estabilizado permiten caracterizar al Glaciar Chico como un glaciar de exutorio.

Por otro lado el permanente aporte de masa y energía desde los glaciares tributarios Pirámide y Gorra Blanca Norte y del Paso de los Cuatro Glaciares a la cuenca del Glaciar Chico, incidirán directamente en el *continuum* glaciar

descubierto – glaciar cubierto – glaciar rocoso, anulando así las posibilidades de que el Glaciar Chico complete la evolución del *continuum*.

Al considerar la clasificación del Glaciar Chico como un glaciar efluente, se debe tomar en cuenta la existencia de flujos glaciales tributarios que inciden en el comportamiento y dinámica del Glaciar Chico como desagüe del campo de hielo por lo tanto se propone la clasificación de glaciar efluente de segundo orden.

1. ANTON, M. 1987. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

2. ANTON, M. 1990. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

3. ANTON, M. 1991. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

4. ANTON, M. 1992. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

5. ANTON, M. 1993. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

6. ANTON, M. 1994. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

7. ANTON, M. 1995. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

8. ANTON, M. 1996. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

9. ANTON, M. 1997. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

10. ANTON, M. 1998. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

11. ANTON, M. 1999. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

12. ANTON, M. 2000. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

13. ANTON, M. 2001. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

14. ANTON, M. 2002. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

15. ANTON, M. 2003. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

16. ANTON, M. 2004. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

17. ANTON, M. 2005. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

18. ANTON, M. 2006. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

19. ANTON, M. 2007. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

20. ANTON, M. 2008. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

21. ANTON, M. 2009. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

22. ANTON, M. 2010. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

23. ANTON, M. 2011. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

24. ANTON, M. 2012. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

25. ANTON, M. 2013. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

26. ANTON, M. 2014. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

27. ANTON, M. 2015. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

28. ANTON, M. 2016. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

29. ANTON, M. 2017. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

30. ANTON, M. 2018. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

31. ANTON, M. 2019. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

32. ANTON, M. 2020. *Glaciares de Chile Austral*. Ed. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 100 pp.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. ACKERT JR. , R. P., 1998. A rock glacier / debris – laden glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming. *Geografiska Annaler*, 80 A (3 – 4): 267 – 276.
2. ANIYA, M., 1992. Glacier Variation in the Northern Patagonia Icefield, Chile, between 1985/86 and 1990/91. In: *Glaciological Researches in Patagonia*, 1990, 53 – 60.
3. ANIYA, M. 1995. Holocene glacial chronology in Patagonia: Tyndall and Upsala glaciers. *Artic and Alpine Research*, 27: 311 – 322.
4. ANIYA, M., 1996. Holocene variations of Ameghino Glacier, southern Patagonia. *The Holocene*, 6: 247 – 252.
5. ANIYA, M. & SKVARCA, P., 1992. Characteristics and Variations of Upsala and Moreno glaciers, Southern Patagonia. In: *Glaciological Researches in Patagonia*, 1990, 9 – 23.
6. ANIYA, M., SATO, H., NARUSE, R., SKVARCA, P. & CASASSA, G., 1996. The use of Satellite and Airborne imagery to Inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 1361 – 1369.
7. ANIYA, M.; SATO, H.; NARUSE, R; SKVARCA, P. & CASASSA, G., 1997. Recent Variation in the Southern Patagonia Icefield, South America. *Artic and Alpine Research*, 29: 1- 12.
8. ANIYA, M. & NARUSE, R. , 2001. Late – Holocene Glacial Advances at Glaciar Soler, Hielo Patagónico Norte, South America. In: *Glaciological and Geomorphological Studies in Patagonia 1998 and 1999*, 51 – 53.
9. ARAOS, J., 2004. Análisis de la estabilidad de los glaciares de Patriot Hills (80° 18'S , 81° 22'W) Antártica Occidental, Universidad de Chile, Santiago, Inédito, 80.
10. ARAYA VERGARA, J.F., 1961. Carta Geomorfológica de la comarca Lago O'Higgins, Fitz – Roy, Lago Viedma, 1:100000 y Bloque diagrama, Santiago, Inedito.
11. ARISTARAIN, A.J. & DELMAS, R.J., 1993. Firn – Core study from the Southern Patagonia Ice – Cap, South America. *Journal of Glaciology*. 39 (132): 249 – 254.
12. BENN, D. & EVANS, D., 1998. *Glaciers and Glaciation*. Ed. Arnol, London, England, 734 –751.
13. BERTONE M., 1997. Aspectos glaciológicos de la zona del hielo continental Patagónico, 11 – 15; 32 – 33; 65 – 67.
14. BRÜGGEN, J., 1928. La glaciación actual y cuaternaria de la cordillera de los Andes, 58 –65.
15. CALDENIUS, C., 1932. Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego, 112 – 133.
16. CARRASCO, J. , CASASSA, G., & RIVERA, A., 1998. Climatología actual del Campo de Hielo Sur y posibles cambios por el incremento del efecto invernadero. *Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Nat. (Chile)*, 26: 119 – 128.

17. CARRASCO, J., CASASSA, G., & RIVERA, A., 2001. Meteorological and climatological aspects of the Southern Patagonian Icefield. The Patagonian Icefields a Unique Natural Laboratory for Environmental and Climate Change Studies, 29 – 40.
18. CASASSA, G., RIVERA, A. & CARRASCO, J., 1998. Glacier variations in the southern patagonian icefields and their relation with climate. American Meteorological Society, Sixth Southern Hemisphere, 312 – 313.
19. CASASSA, G. & RIVERA, A., 1999. Topographic mass Balance model for the Southern Patagonia Icefield. Abstracts International Symposium on the Verification of Cryospheric models. Bringing data and Modellings Scientists together, 16 – 20 August 1999, Zürich, 44.
20. CASASSA, G., RIVERA, A., ANIYA, M. & NARUSE, R., 2000. Características Glaciológicas del Campo de Hielo Patagónico Sur. Anales del instituto de la Patagonia, Chile, Serie Cs. Nat. (Chile), 28: 5 – 21.
21. CLARCK, D. H., STEIG, E.G., POTTER, Jr., N. & GILLSEPIE, A.R., 1998. Genetic variability of rock glaciers, Geografiska Annaler, 80 A (3 – 4): 175 – 182.
22. DERRUAU, M., 1970. Geomorfología, Ediciones Ariel, Barcelona, 161 – 176.
23. D.G.A., 1987. Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile, 59.
24. FERNANDEZ, A., 2003. Variaciones recientes de glaciares ubicados entre 41º y 49º de latitud Sur y su relación con cambios climáticos, Universidad de Chile, Santiago, Inédito, 8 –28.
25. FERRANDO, F., 2002. Las glaciaciones cuaternarias en Chile: Visión general. Revista Geográfica de Chile Terra Australis, 47: 129 – 165.
26. FERRANDO, F., 2003. Aspectos conceptuales y genético – evolutivos de los glaciares rocosos: análisis de caso en los Andes semiáridos de Chile. Revista geográfica de Chile Terra Australis, 48: 43 –74.
27. GLASSER, N., HAMBREY, M. & JANSSON, K., 2001. The Patagonian Icefields: Landforms, Sediments and Glacier Fluctuation, 1 – 7.
28. HUGES, T., 2002. Calving Bays, Quaternary Science Reviews 21: 267 – 282.
29. IBARZÁBAL, T., DONALGELO, T., HOFFMAN, J. A. J. & NARUSE, R., 1996. Recent Climate changes in Southern Patagonia. Bulletin of Glacier Research. 14: 29 – 36.
30. ITURRIASPE, R. & STRELLING, J., 2002. Dinámica de procesos y geoformas vinculadas al retroceso del glaciar O'Higgins – Campo de Hielo Patagónico Sur, Chile. Anales Instituto Patagonia. Serie Cs. Nat. (Chile), 30: 13 –24.
31. KADOTA, T., NARUSE, R., SKVARCA, P. & ANIYA, M., 1992. Ice flow and Surface lowering of Tyndall Glacier, Southern Patagonia. In: Glaciological Researches in Patagonia, 1990, 33 – 38.
32. KOIZUMI, K. & NARUSE, R., 1992. Measurements of Meteorological Conditions and Ablation at Tyndall Glacier, Southern Patagonia, in

- December 1990. In: *Glaciological Researches in Patagonia, 1990*. 49 – 52.
33. LLIBOUTRY, L., 1956. Nieves y Glaciares de Chile, *Fundamentos de glaciología*, Ed. Universidad de Chile (Santiago de Chile), 98, 112 – 113, 147 – 151, 160 – 169.
 34. MALAGNINO, E. & STRELIN, J., 1992. Variations of Upsala Glacier in Southern Patagonia since the Late Holocene to the Present. *Glaciological Researches in Patagonia, 1990*, 61 – 86.
 35. MARDEN, C., 1993. Lateglacial and holocene variation of the Gray glacier, and outlet of the South Patagonian Icefield. *Scottish Geographical Magazine*, Vol. 109, 1: 27 – 31.
 36. MARDEN, C. & CLAPPERTON, C., 1995. Fluctuations of the South Patagonia Ice-field during the last Glaciation and the Holocene. *Journal of Quaternary Science*, 10: 197 – 210.
 37. MERCER, J.H., 1976. Glacial History of Southern most South America. *Quaternary Research*, 6: 125 – 166.
 38. NARUSE, R. & CASASSA, G., 1985. Reconnaissance survey of some glaciers in the Southern Patagonia Icefield, in *Data Center for Glacier Research*, Japanese Society of snow and ice, 121 – 133.
 39. NARUSE, R., & ANIYA, M., 1992. Outline of glacier research project in Patagonia 1990. *Bulletin of Glacier Research*, 10: 31 – 38.
 40. PEDRAZA, J., 1996. *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*.
 41. POST, A. & LACHAPPELLE, E., 2000. *Glacier Ice*. Revised Edition University of Washington Press Seattle, 10 – 15.
 42. RIVERA, A. & CASASSA, G., 2000. Variaciones recientes y características de los glaciares Chico y O'Higgins, Campos de Hielo Sur. IX Congreso Geológico Chileno, Vol. 2, Simposio Nacional N° 2 : 244 – 248.
 43. RIVERA, A. & CASASSA, G., 2001. Ice thickness measurements on the Southern Patagonia Icefield. Meteorological and Climatological aspects of the Southern Patagonia Icefield, 101 – 114.
 44. RIVERA, A., 2004. Mass Balance Investigations at Glaciar Chico, Southern Patagonia Icefield, Universidad de Bristol, Inglaterra, Inédito, 67 – 89.
 45. SANTIS, A., 2005. Estudio de los glaciares O'Higgins y Chico utilizando imágenes satelitales y cartografías, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Inédito, 115 – 119.
 46. SUGDEN, D.E., HULTON, N.R.J. & PURVES, R.S., 2002. Modelling the inception of the Patagonian Ice Sheet, *Quaternary International* 95 – 96, 55 – 64.
 47. SUMMERFIELD, M., 2001. Glacial processes and landforms. *Global Geomorphology*, 261 – 287.
 48. TRICART, J. & CAILLEUX, A., 1965. *Le Modelé Glaciaire et Nival. Traité de Géomorphologie*. Tomo II, 340 – 388.
 49. VAN DER VEEN, C.J., 2002. Calving Glaciers, *Progress in Physical Geography* 26, 1: 96 – 122.

50. VASQUEZ, C. & FERNANDEZ, R., 2004. Estudio Geológico de la Cuenca del Glaciar Chico, Universidad de Chile, Santiago, Inédito.
51. WINCHESTER, V. & HARRISON, S., 2000. Dendrocronology and Lichenometry: Colonization, Growth rates and dating of geomorphological events on the East side of the North Patagonian Icefield, Chile, *Geomorphology* 34: 181 – 194.
52. YAMADA, S., 1992. Distribution of Moraines and Ice – scoured Topographies on the Eastern side of Tyndall Glacier, Southern Patagonia. *Glaciological Researches in Patagonia*, 1990, 87 – 94.