PODER LEGISLATIVO

PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO,
ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR
REPÚBLICA ARGENTINA

COMUNICACIONES OFICIALES

Nº 042 **PERÍODO LEGISLATIVO** 2014

EXTRACTO P.E.P. NOTA Nº 055/14 ADJUNTANDO INFORME REQUERIDO MEDIANTE RESOLUCIÓN DE CÁMARA Nº 309/13 (SOLICITANDO AL P.E.P. INFORME SI EXISTEN ESTUDIOS OFICIALES EN RELACIÓN A LA POSIBLE PÉRDIDA DE MASA HÍDRICA DEL GLACIAR MARTIAL) Y OTROS ÍTEMS.

Entró en la Sesión de:

Girado a la Comisión Nº:

Orden del día Nº:

"2014 – Año de Homenaje al Almirante Guillermo Brown,
en el Bicentenario del Combate Naval de Montevideo"

PODER LEGISLATIVO
SECRETARIA LEGISLATIVA
14 MAR 2014
MESA DE ENTRADA
Nº 042 Hs 11 FIRMA

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina

Provincia de Tierra del Fuego
Antártida e Islas del Atlántico Sur
Poder Legislativo
PRESIDENCIA
REGISTRO Nº 217 | 13 MAR 2014 | HORA 13:45
FIRMA

NOTA Nº 055
GOB.

USHUAIA, 11 MAR. 2014

FOLIO 160

SEÑOR PRESIDENTE:

Tengo el agrado de dirigirme a Usted en mi carácter de Gobernadora de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, con el objeto de remitirle en contestación a lo solicitado mediante la Resolución de la Cámara Legislativa de la Provincia Nº 309/13, dada en la Sesión Ordinaria del 21 de Noviembre de 2013, consistente en Nota DPOSS N° 162/14, suscripta por el Sr. Presidente de la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios, y Nota S.D.S. y A. N° 051/14, suscripta por el Sr. Secretario de Desarrollo Sustentable y Ambiente, con la documentación allí indicada.

Asimismo, y en conformidad con lo dispuesto en la Ley Pcial. Nº 650, se acompaña soporte informático conteniendo la información suministrada.

Sin otro particular, saludo al Señor Presidente de la Legislatura Provincial, con atenta y distinguida consideración.

María Fabiana Ríos
GOBERNADORA
Provincia de Tierra del Fuego,
Antártida e Islas del Atlántico Sur

Pase a secretaria legislativa
a sus efectos.
Ushuaia 13-03-14.-

AL SEÑOR PRESIDENTE
DE LA LEGISLATURA PROVINCIAL
Dn. Roberto Luis CROCIANELLI
S/D

Juan Felipe RODRIGUEZ
Vice-Presidente 1º
a cargo de la Presidencia
Poder Legislativo

D.P.O.S.S.

Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios

Gdor. Campos 133 – Ushuaia - Tierra del Fuego
Tel. – Fax 02901 – 421421/329 E-mail: administracion@dposs.gov.ar

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina

FOLIO 2 Nº

NOTA DPOSS Nº 162/2014.-

Cde: Nota Nº 27/14 –

Letra:D.G.C.S. (S.L. y T.)

Ushuaia, 27 de febrero de 2014.

DIRECCIÓN GENERAL DE COORDINACIÓN Y SUPERINTENDENCIA
SECRETARÍA LEGAL Y TÉCNICA:

Me dirijo a Ud., en el marco de la nota nombrada en el corresponde mediante la cual se requiere otorgar respuesta al pedido de informe aprobado mediante Resolución Legislativa Nº 309, dada en la sesión ordinaria del 21 de noviembre de 2013.

En tal sentido, se adjunta a la presente Nota DPOSS Nº 161/2014, a través de la cual se otorga formal respuesta a cada uno de los requerimientos efectuados por la Cámara Legislativa.

Sin otro particular, saludo a Ud.muy atte.

Roberto Murcia
PRESIDENTE
D.P.O.S.S.

DRA. CLAUDIA MARCELA BECERRA
DIRECCIÓN GENERAL DE COORDINACIÓN Y SUPERINTENDENCIA
SECRETARÍA LEGAL Y TÉCNICA
PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO A.e I.A.S.
S / D:

SECRETARÍA LEGAL Y TÉCNICA
28 FEB. 2014
HORA: 11:27 RECIBIDO 10 MAR 2014

"Las Islas Malvinas, Georgias y Sándwich del Sur, son y serán Argentinas"

D.P.O.S.S.

Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios

Gdor. Campos 133 – Ushuaia - Tierra del Fuego
Tel. – Fax 02901 – 421421/329 E-mail: administracion@dposs.gov.ar

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina

FOLIO 27

NOTA DPOSS N° 161/2014.-

Cde: Nota N° 27/14 –

Letra:D.G.C.S. (S.L. y T.)

Ushuaia, 27 de febrero de 2014.

DIRECCIÓN GENERAL DE COORDINACIÓN Y SUPERINTENDENCIA
SECRETARÍA LEGAL Y TÉCNICA:

Me dirijo a Ud., en el marco de la nota nombrada en el corresponde mediante la cual se requiere otorgar respuesta al pedido de informe aprobado mediante Resolución Legislativa N° 309, dada en la sesión ordinaria del 21 de noviembre de 2013.

Que, mediante dicho pedido de informe la Honorable Cámara Legislativa solicita que se indique lo siguiente:

a) si existen estudios oficiales con relación a la posible pérdida de masa hídrica del Glaciar Martial, tiempo en que ello ocurriría, incidencia en el caudal del Arroyo Buena Esperanza y todo otro dato ilustrativo que permita delinear un cuadro de situación, en caso de afirmativo, acompañar copias de los mismos;

En relación a dicho requerimiento, cabe informar que esta Dirección no efectúa estudios sobre la masa hídrica del Glaciar por cuanto dicha tarea es efectuada por la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente por ser de su competencia.

b) si se prevé la realización de estudios para analizar la posibilidad de extraer agua de napas subterráneas mediante los métodos tradicionales, en caso afirmativo, acompañar copias;

D.P.O.S.S.

Dirección Provincial de
Obras y Servicios Sanitarios

Gdor. Campos 133 – Ushuaia - Tierra del Fuego
Tel. – Fax 02901 – 421421/329 E-mail: administracion@dposs.gov.ar

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina

Poder Legislativo FOLIO 4

el tema que nos ocupa.

Sin otro particular, saludo a Ud. con atenta y distinguida consideración.

Roberto Murcia
PRESIDENTE
D.P.O.S.S.

SECRETARÍA LEGAL Y TÉCNICA
28 FEB. 2014
HORA: 11:27 RECIBIÓ:

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARIA DE DESARROLLO SUSTENTABLE Y AMBIENTE

NOTA N° 051/14
LETRA: S.D.S. y A.

FOLIO Nº 5

USHUAIA, 05 MAR. 2014

SECRETARIA LEGAL Y TECNICA
Dir. Gral. de Coordinación y Superintendencia
S_____/_____D.

Tengo el agrado de dirigirme a Ud. en mi carácter de Secretario de Desarrollo Sustentable y Ambiente de la Provincia, a fin de respoder a su Nota D.G.S.C.(S.L.Yt.) Nº 25/14, referente al pedido de Informe aprobado mediante la Resoluciòn Legislativa Nº 309/13.

A tal fin remito Nota Nº 241/14, producida por la Direcciòn General de Hidricos, en relacion a la posible perdida de masa Hidrica del Glaciar Martial y otros items.

Sin más saludo a Ud. atentamente.

ING. FORESTAL FABIÁN BOYERAS
SECRETARIO
SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE Y AMBIENTE

Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente
SALIO
05 MAR 2014
Dpto. Mesa de Entrada y Salida
Hora: 14:10 Nº

Secretaría Legal y Técnica
DOCUMENTACIÓN SUJETA A REVISIÓN. LA RECEPCIÓN DE LA PRESENTE NO IMPLICA ACEPTACIÓN NI CONFORMIDAD
Fecha: 06 MAR 2014 Hora: 10:06

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente
ENTRO
28 FEB 2014
Dpto. Mesa de Entrada y Salida
Hora: 11:30 Nº 404

Poder Legislativo FOLIO Nº 6 Secretaría Legislativa

NOTA N° 241 / 14
LETRA: D.G.R.H.

USHUAIA, 28 de Febrero de 2014

SR. SECRETARIO DE DESARROLLO SUSTENTABLE Y AMBIENTE
ING. FABIAN BOYERAS

Por medio de la presente me dirijo a usted a fin de dar respuesta a los requerimientos formulados en la Resolución legislativa N° 365/13, en relación a la posible pérdida de masa hídrica del glaciar Martial y otros items, a fin de detallar la información solicitada en los puntos indicados en la misma:

a) Existen estudios oficiales detallados que abordan la temática, encarados por la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente de la Provincia.

Dichos estudios se vienen desarrollando desde el año 2000, en el que comenzó el monitoreo del glaciar Martial y los estudios de balance de masa, trabajos que posteriormente se extendieron a otros glaciares.

Los estudios mencionados comenzaron inicialmente en forma conjunta con el Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), organismo con el cual se firmó un acta de cooperación para estas tareas que tuvo vigencia entre los años 2004 y 2006

Posteriormente, el CADIC dejó de participar en estos trabajos y las actividades continuaron a cargo por cuenta de la DGRH, con el aval académico de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, hasta el año 2012 en que se materializó el traspaso de la Sede Ushuaia de la UNPSJB a la UNTDF.

Entre 2004-2007 se desarrolló el proyecto "Monitoreo de Glaciares vinculados a las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia", avalado por la UNPSJB y dirigido por el Ing. Rodolfo Iturraspe, profesional de la DGRH y docente investigador de esa Universidad.

Entre 2005-2008 la DGRH de la SDSyA obtuvo financiamiento de la Unión Europea desempeñándose como nodo nacional del proyecto EPIC FORCE, liderado por la Universidad de Newcastle, Reino Unido, en el cual se estudió en

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

detalle la hidrología de la cuenca del A° Buena Esperanza con foco en la ocurrencia de eventos extremos, vinculados a precipitaciones y deshielo. Esto permitió financiar la instalación instrumental hidrológico en la cuenca, una estación climática en inmediaciones del glaciar Martial y contratar personal para mediciones hidrológicas y glaciológicas.

En 2007, la DGRH de la SDSyA se presentó a un concurso de pequeñas donaciones del GEF (Fondo Global para el Medio Ambiente). Entre más de 500 propuestas a nivel nacional, sólo 19 proyectos fueron seleccionados; la DGRH ganó dos, uno de los cuales fue "Estudios glaciológicos para la planificación de usos del agua en escenarios de cambio climático", con financiamiento de PNUMA (Programa de las Naciones Unidad para el Medio Ambiente) que permitió dar continuidad a las actividades y mejorar y completar el equipamiento glaciológico, incorporar personal contratado y financiar gastos operativos. Las actividades de este proyecto tuvieron lugar entre 2008 y 2011 bajo la dirección del Ing. Rodolfo Iturraspe.

Entre 2008 y 2012 la DGRH colaboró con el proyecto "Cartografía, monitorización y seguimiento térmico de formas crionivales en la región sub-antártica: Andes Fueguinos e Isla de los Estados (Tierra del Fuego, Argentina) dirigido por el Dr A. Pérez Alberti de la Univ. Santiago Compostela, España, cuyos estudios se focalizaron en el glaciar Alvear.

Entre 2009 y 2012 fue encarado conjuntamente otro proyecto entre la DGRH y la UNPSJB, cuya denominación fue *"Glaciología, Hidrología e Hidroinformática aplicadas a la investigación del impacto del cambio climático sobre los glaciares y el régimen de los cursos de montaña de Tierra del Fuego"*.

Todos los proyectos mencionados fueron sometidos a evaluación externa en diferentes instancias e incluyeron la participación de otros organismos, como el Instituto Antártico Argentino, la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional del Córdoba, ONGs, y entes nacionales como la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, así como de organismos provinciales y municipales. Los resultados fueron publicados en revistas científicas y de divulgación del País y del

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 90

extranjero. Con frecuencia fueron también difundidos en los medios de comunicación locales y provinciales.

Actualmente el balance de masa y monitoreo de detalle continua en los glaciares Martial Este, Martial Central, Vinciguerra y Alvear. En estos ambientes se realiza también el monitoreo climático e hidrológico en base a estaciones que registran en forma automática los datos con frecuencia horaria.

Desde 2009, la estructura de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente de Tierra del Fuego incluye al Departamento de Glaciología y Nivología, dependiente de la DGRH a cargo del Ing. Sergio Camargo.

El grupo de glaciología de la Provincia de Tierra del Fuego es reconocido a nivel nacional y tiene vínculos a nivel latinoamericano a través del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos del Programa Hidrológico Nacional, siendo el Ing. Rodolfo Iturraspe el representante nacional en el mismo. Los resultados de balance de masa que se realizan en el glaciar Martial están homologados por el World Glacier Monitoring Service, organismo internacional con sede en Suiza que recopila las mediciones glaciológicas producidas por los principales grupos de investigación del mundo en una gran base de datos. El glaciar Martial es el único glaciar de Argentina del que se remiten resultados detallados anualmente a dicho organismo.

Actualmente la DGRH trabaja en el Inventario de Glaciares en forma conjunta con el IANIGLA, en el marco del Inventario Nacional de Glaciares requerido por la Ley de Protección de Glaciares. El IANIGLA aportó para ello el financiamiento del contrato de un profesional por el término de un año y una computadora con software específico. Personal de la DGRH asistió a cursos de capacitación orientados al inventario de glaciares dictados por el IANIGLA y por la CONAE.

De los antecedentes mencionados resulta un buen nivel de conocimiento sobre el estado de los glaciares fueguinos, su comportamiento y su real significación referente a los aportes a las fuentes de agua que abastecen a la población.

Es correcto suponer que en el transcurso de algunas décadas el glaciar Martial perderá superficie, retrayéndose a niveles más elevados. En 2009 se

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

Poder Legislativo
FOLIO
9
Nº
Legislativa

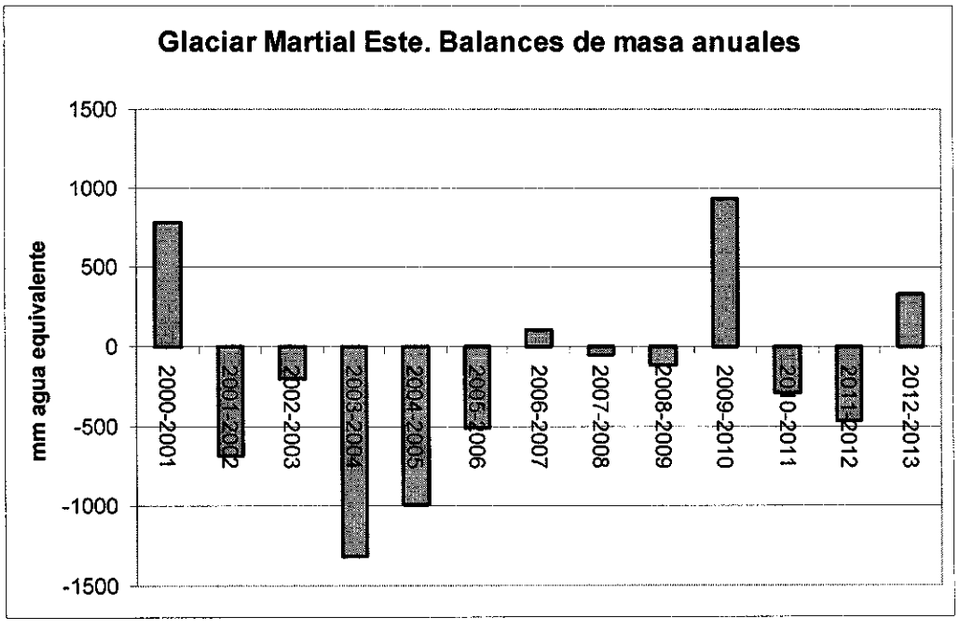
publicó un artículo en una revista científica elaborado conjuntamente con investigadores de la Universidad de Aachen, Alemania, en donde se modeló hacia el futuro el balance de masa del glaciar Martial Este (situado a la derecha de la visual del observador), suponiendo un escenario de moderado incremento de la temperatura a lo largo del siglo XX1. Este cuerpo se extinguiría hacia fines del siglo, en tanto que la extinción de los otros cuerpos se produciría varias décadas antes. En los próximos 30 años se presume que la reducción del volumen de hielo será notoria y evidente.

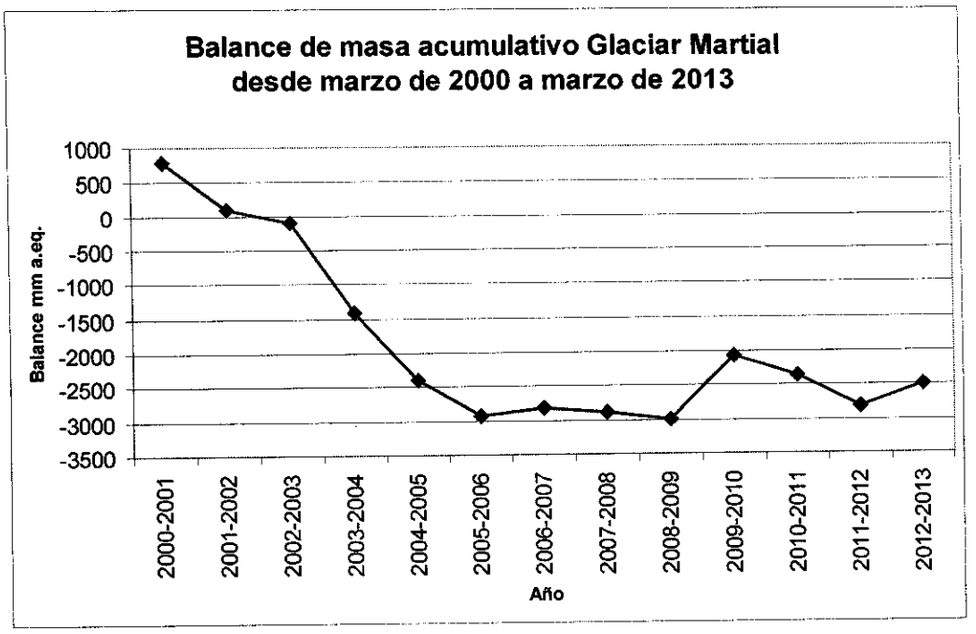
En la actualidad la superficie que presenta el glaciar Martial es de 1/3 de la que tenía al comenzar el siglo XX. Desde entonces la pérdida de masa ha sido casi constante. Es este un patrón que se replica en el resto de los glaciares de la cordillera Fueguina.

Entre 1984 y 1998 el Martial experimentó un adelgazamiento de 50 cm por año en promedio, de acuerdo a comparaciones de relevamientos topográficos realizados in situ en ambos años. Los balances de masa entre 2000 y 2006 indican un compartamiento similar, sin embargo desde 2006 a la fecha los balances han sido estables en promedio, y aún levemente positivos. El año glaciológico de abril de 2009 a marzo de 2010 fue notablemente positivo, con casi 1m de acumulación; también prevaleció la acumulación en 2011-2012 y se estima que al fin de la presente temporada resultará un balance positivo nuevamente. Este cambio de tendencia se debe a que han predominado desde 2006 veranos relativamente fríos y con precipitación nívea frecuente en el ambiente glaciario. Sin embargo, se estima que se trata de un período plurianual de corta duración que responde a fluctuaciones menores del clima regional dentro de un periodo cálido en una escala de tiempo de mayor alcance. Se espera que el comportamiento deficitario vuelva a prevalecer y que el retroceso de los glaciares continúe en el futuro.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 10





Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO Nº 13

durante este período una proporción más significativa, del orden del 20% respecto del caudal total.

Cuando el verano es seco y cálido, otros reservorios de agua como el de la nieve estacional, pueden agotarse, brindando los glaciares una garantía para la provisión de agua: más calor, más agua, por aceleración de la fusión.

Resumiendo, aunque a nivel anual las contribuciones de origen glaciar son muy poco importantes, éstas tienen significación en veranos especialmente secos y cálidos, constituyendo un "seguro" en la disponibilidad hidrológica, que no depende de la cantidad de nieve que se haya acumulado en invierno. El aporte glaciar no es apreciable en veranos frescos y lluviosos.

Lo precedente contesta aspectos que tienen que ver con la influencia de glaciares sobre el escurrimiento, que debe ser evaluada cuenca por cuenca, ya que tal influencia cambia en cada caso.

En materia de fuentes de agua, corresponde aclarar a continuación algunos conceptos mencionados en los fundamentos del pedido de informe. El glaciar Martial no es "la" fuente de aprovisionamiento de la ciudad de Ushuaia. Ya se ha expresado que la contribución del Martial sólo es apreciable en períodos secos y cálidos de verano y que la hidrología del A° Buena Esperanza depende en mayor medida del régimen de lluvias y de la fusión de la nieve estacional. Más allá de esto, el A° Buena Esperanza es en la actualidad una fuente secundaria de agua para la ciudad, ya que el mayor caudal de agua que se potabiliza procede del Arroyo Grande, valle de Andorra.

El acueducto desde el A° Grande a la Planta Potabilizadora Buena Esperanza tiene una capacidad máxima de 220 l/s. Las plantas potabilizadores modulares situadas en la salida del valle de Andorra (cuya capacidad se duplicó en 2013) captan y procesan 120 l/s que aportan a la red de distribución, lo que suma unos 340 l/s suministrados por A° Grande. El consumo de Ushuaia es de fluctá en torno a los 410 l/s, o sea que el A° Buena Esperanza entrega sólo 70 l/s cuando las captaciones sobre el A° Grande trabajan a pleno. Esto es menos del 20%.

En períodos muy fríos de invierno suele suceder que el caudal del Buena Esperanza se reduce a 40 o 50 l/s, lo cual produce problemas de abastecimiento. Este déficit era más grande antes de incrementarse la capacidad de las plantas

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO
Nº 14

modulares de A° Grande. En un par de años se prevé la entrada en funcionamiento de la planta Río Pipo, con una capacidad de 120 l/s. De tal manera las fuentes de agua están diversificadas. En todo momento, al menos desde los años 70, los problemas de abastecimiento de agua de la ciudad se debieron a un crecimiento poblacional más intenso que el de las obras de infraestructura que permitían la captación y producción de agua potable. Cabe también tener en cuenta que tanto el A° grande como el río Pipo reciben aportes glaciarios, pero también en una proporción pequeña, como ocurre con el Buena Esperanza.

Tanto en el caso del A° Grande como en el Pipo la captación contempla una fracción menor del caudal total. El arroyo Grande podría abastecer la totalidad del consumo urbano; la limitación para ello está dada por la capacidad del acueducto que lleva el agua a la Planta potabilizadora Buena Esperanza y a las limitaciones propias de dicha planta.

b) La posibilidad de aprovechar el agua de las napas freáticas se descarta por dos motivos:

- No hay depósitos sedimentarios extensos en las proximidades de Ushuaia que posibiliten la existencia de acuíferos que permitan satisfacer la demanda de la ciudad. En las zonas próximas a Ushuaia el sustrato rocoso aflora o bien se encuentra muy cercano a la superficie. Hay acumulación de sedimentos glaciarios que sólo esporádicamente adquieren espesor y extensión relevante. Tan sólo en situaciones localizadas sería factible aprovechar este recurso en forma muy acotada (para abastecer a grupos de no más de 5 - 10 viviendas). Se trata de una alternativa que debe ser reservada a zonas rurales o suburbanas no servidas por la red domiciliaria. Debe también tenerse en cuenta que debido al bombeo, es siempre más costoso captar agua subterránea que superficial.
- Como ya ha sido mencionado, no hay necesidad de utilizar aguas subterráneas ya las fuentes superficiales son abundantes y de buena calidad, y lo seguirán siendo en la medida de que prevalezca una política de preservación de aquellas cuencas que son fuentes actuales o potenciales de agua potable para la ciudad, y se priorice el uso del agua para el abastecimiento de poblaciones sobre los otros usos posibles.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 45

c) De acuerdo a lo ya expresado en el punto a), existen numerosos vínculos y contactos con institutos científicos y universidades locales, nacionales y del extranjero para abordar la temática, tanto en el marco de la glaciología como de la hidrología de cuencas.

Algunos de estos vínculos son:

- Universidad Nacional de Tierra del Fuego, a través del Acta de cooperación con la SDSyA firmada en 2012, que atiende entre otros tópicos temas de inventario de recursos hídricos, y fuentes de agua potable.
- Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Según ya se ha mencionado en el ítem a) la UNPSJB avaló y aportó a proyectos de investigación sobre esta temática.
- Instituto Antártico Argentino y Universidad Nacional de Córdoba. A través del Lic. Jorge Strelin, quien desde el comienzo de las actividades a formado parte del equipo de trabajo, aportando además equipamiento. Se han realizado conjuntamente publicaciones en revistas internacionales.
- Instituto Argentino de Glaciología y Nivología (IANIGLA). Desarrollo del Inventario de glaciares de Tierra del Fuego en el marco del Inventario Nacional de Glaciares dispuesto por la Ley de Protección de Glaciares. El IANIGLA ha aportado con equipamiento, personal contratado y cursos de capacitación.
- Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO. Reuniones anuales desde el año 2003 que vinculan a los grupos de glaciología de América Latina que realizan balance de masa y monitoreo de glaciares.
- Universidad de Aachen. Desde la DGRH se ha co-dirigido a un estudiente que realizó una pasantía y su tesis de maestría sobre modelación del glaciar martial. Se realizaron publicaciones conjuntas en revistas internacionales. En 2011 se recibió a un grupo de estudiantes de dicha universidad que realizó visitas a glaciares locales en viaje oficial con un docente instructor.
- Unidad de Glaciología del Centro de Estudios Científicos de Valdivia, Chile. Colaboración en temas de investigación. Con el apoyo y equipos de

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 16

medición de glaciologos de este Centro pudo medirse el espesor de hielo en los glaciares Martial y Vinciguerra.

- World Glacier Monitoring Service. (Suiza) Este organismo internacional que depende de UNESCO coordina el monitoreo de los glaciares a nivel mundial y maneja una base de datos con información de glaciares de todos los continentes. El Martial es el único glaciar de Argentina (no antártico) que aporta información anualmente a esta base de datos. En el verano 2012-2013 se recibió la visita de Samuel Nussbaumer, un especialista de ese organismo que supervisó actividades de monitoreo que realiza la DGRH.
- Universidad de NewCastle (Reino Unido); Universidad Politécnica de Madrid; Universidad de Padova; Universidad Nacional de La Plata. En forma conjunta con estas universidades se desarrolló el proyecto EPIC FORCE financiado por la Unión Europea para investigar el efecto de eventos extremos en cuencas de montaña con cobertura forestal producidos por lluvia y deshielo. La cuenca del A° Buena Esperanza, a la que contribuye el glaciar Martial fue objeto de estudios hidrológicos, nivológicos y glaciológicos. Los estudios se realizaron entre 2005 y 2008, pero el instrumental instalado entonces continúa aportando información y se mantienen los vínculos técnicos con los especialistas que conformaron el equipo de trabajo. Luego de finalizado el proyecto un estudiante de la Universidad Politécnica de Madrid elaboró una tesis sobre la hidrología y morfología de la cuenca del A° Buena Esperanza.

d) Se cuenta efectivamente con un inventario de cuencas hídricas que incluye a aquéllas que son fuentes de agua actuales y a las que tienen potencialidad para serlo (Ver el informe adjunto elaborado por la DGRH para la DPOySS). Los arroyos Buena Esperanza, Grande, Pipo y Olivia, en pleno rigor de la época invernal en la que los caudales se minimizan, permitirían abastecer a una población de 350.000 habitantes si se construyesen las obras adecuadas, sin necesidad de embalses de regulación, aún a la excesiva tasa de consumo actual de 500 litros /hab día (que es 2,5 veces la que se considera en proyectos de abastecimiento siguiendo recomendaciones de la OMMS).

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO Nº 17

e) Se adjunta documentación que aporta al conocimiento acabado del tema:

- Resultados de Estudios Glaciológicos y Nivológicos del glaciar Martial
- El retroceso del glaciar Vinciguerra como respuesta al cambio climático en los Andes de Tierra del Fuego, Argentina.
- Vulnerabilidad de las cuencas hídricas ante la recesión de los glaciares en Tierra del Fuego.
- Informe DGRH a la DPOySS s/ Resumen hidrológico de cursos de aguas que constituyen fuentes de agua potable de la ciudad de Ushuaia (Actuales o potenciales)

Conclusiones

Se ha formulado una apreciación general sobre el comportamiento de los glaciares, en particular el Martial y la influencia de éstos sobre el régimen de los ríos locales. Queda por agregar un concepto, que es básico y concreto: el cuello de botella en el abastecimiento de agua de la ciudad ha sido siempre el período invernal, cuando la reducción de los caudales alcanza niveles significativamente más bajos que las esporádicas disminuciones de caudal apreciables en veranos secos. Nunca ha faltado agua en verano; puede haber problemas por turbidez en situaciones de crecidas que dificultan el proceso de potabilización, pero no inconvenientes por falta de agua cruda. Es por ello que la capacidad de una fuente de agua superficial debe evaluarse en invierno, donde su condición es crítica. **En invierno los glaciares no aportan agua** y por lo tanto no tienen influencia sobre la disponibilidad de agua en dicha estación.

Para qué considerar entonces a los glaciares locales en el contexto de las fuentes de agua?

Existe la necesidad de evaluar correctamente los recursos hídricos de la Provincia y considerar la potencialidad de otros usos de estas fuentes, distintos de la provisión del servicio de agua potable y que pudieran ser específicos del período de verano, donde en la actualidad hay aportes glaciarios. Un ejemplo puede ser el

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARÍA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS
HIDRICOS

FOLIO 180

caso de la captación de agua para riego, un uso del agua que actualmente casi no se practica en estas cuencas pero que podría en el futuro implementarse y en algún momento afectar la disponibilidad del recurso para agua potable, de aquí la necesidad de planificar en base al conocimiento.

Es estrictamente necesario mantener políticas de preservación de las cuencas que constituyen fuentes de agua potable para la ciudad: A° Buena Esperanza y A° Grande son las fuentes actuales, en tanto que en el corto plazo lo será la cuenca del río Pipo. Asimismo, el río Olivia es potencialmente otra fuente a utilizar en el futuro y la que mayor capacidad en términos de caudal presenta. Ante la posibilidad de pérdida de glaciares deben protegerse otros mecanismos naturales de regulación como son las turberas, lagos, lagunas y el manto de nieve estacional de la alta montaña. Tanto el bosque como las turberas contribuyen a controlar el transporte de sedimentos y por lo tanto a mejorar la calidad de agua. Es por lo tanto imprescindible armonizar el desarrollo de los ambientes urbanos y suburbanos con la conservación de los ambientes naturales que intervienen en el ciclo del agua en estas cuencas y controlar muy particularmente las descargas domiciliarias e industriales así como el lavado de áridos aguas arriba de las tomas de agua. En materia de usos del agua, debería ser prioritario el abastecimiento a poblaciones ante otras alternativas, sin embargo esto no está normado.

La efectiva implementación de estas políticas, cuya importancia y necesidad nadie pone en duda, requiere de instrumentos legales que no están disponibles, pese a las propuestas en materia de legislación de aguas que en diferentes gestiones políticas a través de dos décadas, el Poder Ejecutivo ha presentado a la Legislatura.

Sin otro particular saludo a Ud. Atte.

Ing. Gerardo Noit
Director Gral. de Recursos Hídricos
Sec. de Desarrollo Sustentable
y Ambiente

VULNERABILIDAD DE LAS CUENCAS HÍDRICAS ANTE LA RECESIÓN DE LOS GLACIARES EN TIERRA DEL FUEGO.

Rodolfo Iturraspe [(1)(2)], Adriana Urciuolo [(1)(2)], Rodrigo Iturraspe [(1)] y Sergio Camargo [(1)]
[(1)] Dirección General de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego
[(2)] Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

San Martín 1401. (9410) Ushuaia. Tel 02901-431354 iturraspe@tdfuego.com;

FOLIO 19

XXII Congreso Nacional del Agua. Puerto Madryn, 2009

RESUMEN

El calentamiento global que ha tenido lugar en la última centuria ha producido un notable desequilibrio en todos los glaciares de la Provincia de Tierra del Fuego. La reducción significativa en la generalidad de los casos y la desaparición total de los cuerpos de hielo más pequeños es el resultado de la sostenida pérdida de masa que evidencian los mismos. Este fenómeno, que se ha agudizado en las últimas cuatro décadas no es un hecho puntual sino que tiene alcance global, y en particular afecta a toda la cordillera Americana. El objetivo del presente trabajo es presentar resultados relativos a las características del proceso recesivo observado en dos glaciares piloto de Tierra del Fuego y obtener conclusiones sobre la importancia de los aportes glaciarios en la hidrología de cuencas locales, identificando además vulnerabilidades consecuentes de la posible desaparición de glaciares.

El régimen de escurrimiento de los cursos de agua regionales cuenta con una importante componente de origen glaciar que tiende a reducirse con la retracción de las superficies englazadas. En el presente trabajo se presentan resultados de balances de masa de glaciares piloto en Tierra del Fuego llevados a cabo por el grupo de trabajo, así como el análisis de la información hidrológica resultante, que ha permitido determinar la significación de los aportes de origen glaciar y su distribución a lo largo del año.

Sobre esta base, y a partir del inventario de áreas englazadas por cuenca, se ha evaluado la vulnerabilidad a este proceso de cuencas hídricas locales con aportes glaciarios, teniendo en cuenta la potencial reducción de la capacidad de regulación y el aumento de la demanda de recursos hídricos por parte de la creciente población local. Se estima que las conclusiones obtenidas son importantes para la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático relacionadas con el manejo de los recursos hídricos en Tierra del Fuego.

Palabras clave: cambio climático, glaciares, balance de masa, vulnerabilidad, Tierra del Fuego.

INTRODUCCION

Los glaciares reaccionan sensiblemente a cambios pequeños pero sostenidos del clima y como consecuencia cumplen una función relevante en la regulación de cuencas, no sólo en el contexto del ciclo hidrológico anual sino al nivel de períodos interdecádicos y seculares. Así, las contribuciones glaciarias que se manifiestan durante el verano no sólo resultan del almacenaje alcanzado en el período invernal sino también de la masa acumulada en épocas más frías y húmedas. Los glaciares de Tierra del Fuego, Argentina, persisten en virtud de la expansión que experimentaron durante la Pequeña Edad del Hielo (PEH), período que abarcó los siglos XVI a XIX en el que la temperatura habría sido al menos dos grados inferior a la actual y sobre el cual hay evidencias a nivel global presentadas por numerosos investigadores. Desde entonces, la recesión ha sido significativa, dando lugar a una pérdida de más de 2/3 de la extensión alcanzada en la PEH, correspondiendo buena parte de esta proporción a las últimas cuatro décadas. Un detallado análisis de la deglaciación parcial del circo del Martial, en inmediaciones de Ushuaia fue presentada por Strelin e Iturraspe (2007). La activa recesión de los glaciares tiene en Argentina carácter general con muy escasas excepciones (Leiva, 2008). Lo propio ocurre en la mayoría de los glaciares de la Patagonia Chilena, con 4m por año de adelgazamiento en Campo de Hielo Patagónico Norte (Rivera, 2007), general retroceso en el Parque Torres del Paine (Rivera y Casassa, 2004) y mayoría de glaciares con frentes en retroceso en el resto del Campo de Hielo Patagónico Sur (Aniya, 1997)

La importancia de las contribuciones procedentes de glaciares está ligada a la extensión que presentan los mismos en cada cuenca, sin embargo hay pocos estudios relativos a la cuantificación de estos aportes, en particular en el caso de los glaciares andinos. El objetivo de este artículo es contribuir en este aspecto del conocimiento, cuantificando la importancia de los aportes glaciarios sobre el régimen hidrológico y así detectar vulnerabilidades en las cuencas de Tierra del Fuego ante la potencial desaparición – o drástica reducción - de éstos por consecuencia del cambio climático. La idea de vulnerabilidad está en este caso enfocada en la potencial reducción de la disponibilidad de agua en el período del año en que se materializa el aporte, sin perder de vista que la descarga de estas cuencas constituye la fuente de agua de la ciudad de Ushuaia y del área turística de influencia.

Los tipos de cuenca de Tierra del Fuego han sido caracterizados por Iturraspe y Urciuolo (2000) en función de criterios hidro-ecológicos, con especial énfasis en los sistemas de regulación presentes. El área de estudio coincide con el de las cuencas de Cordillera, que son aquellas que en Tierra del Fuego cuentan con mayor disponibilidad y diversidad de sistemas de almacenamiento y regulación. Tal condición, y la característica no estacional del régimen de precipitaciones motiva que el régimen hidrológico de las cuencas locales dependa sólo parcialmente de los aportes glaciarios, aunque a priori es factible inferir la hipótesis de que es en la época estival cuando estos aportes son más significativos.

Entre las cuencas analizadas con régimen glaciario se incluyen las compartidas con Chile, particularmente la del Lago Roca-Río Lapataia y la del Lago Fagnano, ambas con significativo englazamiento en territorio chileno.

Los resultados presentados en este trabajo fueron obtenidos en el marco de los proyectos "Glaciological studies for the planning of Water Resources in escenarios of climate change" (GEF-UNEP) y "Monitoreo de glaciares vinculados a las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia". (Univ. Nacional de la Patagonia San Juan Bosco)

FOLIO
Nº 21
Legislatura

METODOLOGÍA

La metodología implementada comprende el balance de masa de glaciares piloto para la determinación de pérdidas netas de masa por año, la elaboración de un inventario de áreas englazadas por cuenca y posteriormente la estimación de aportes glaciarios por cuenca para luego asignar categorías de vulnerabilidad según una propuesta de categorización relativa a cuencas de régimen pluvionival con aportes glaciarios.

El balance de masa es un procedimiento que permite determinar los cambios de volumen que experimenta un glaciar en un intervalo de tiempo, normalmente coincidente con el transcurso del año hidrológico, que en la zona de estudio comienza en el mes de abril (Iturraspe et al, 2000). La ejecución de observaciones periódicas durante el transcurso del año, con incremento de la frecuencia a partir del pico de la acumulación, permite determinar los aportes de origen glaciar al escurrimiento durante cada intervalo. Los glaciares Martial Este y Vinciguerra son glaciares piloto localizados en proximidades de la ciudad de Ushuaia (figura 1), instrumentados y monitoreados sistemáticamente, el primero desde el año 2000 y el segundo, desde 2003. Sus características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los glaciares piloto

Glaciar	Martial Este	Vinciguerra
Cuenca a la que aporta	Buena Esperanza	A. Grande (Valle de Andorra)
Tipo de Glaciar	De montaña	De montaña
Superficie	10 ha	63 ha
Cota inferior	950 m	760 m
Cota superior	1180 m	1250m
Máxima elevación del macizo	1360 m	1310 m
Exposición	SE	SE

El balance en cada glaciar se realiza siguiendo la metodología clásica para este tipo de observaciones (Lliboutry, 1965; Kaser et al, 2003) en base a 10 balizas distribuidas en las zonas de ablación y acumulación (Fig. 2), las que se insertan en el cuerpo de hielo luego de su perforación con una sonda a vapor tipo Heucke (Heucke, 2003). El agua equivalente correspondiente a la nieve acumulada se determina mediante cateos que integran el estrato (Fig. 3), en tanto que anualmente se realizan calicatas en la zona de acumulación a fin de delimitar correctamente la acumulación anual y contrastar los cateos integradores. En forma bi-anual se realizan relevamientos topográficos de la superficie de los glaciares piloto (Fig. 4). A partir de los balances en cada una de las balizas de medición se realiza el trazado de isolíneas de balance de cuya integración resulta el balance neto anual.

Es posible distinguir dos tipos de aportes glaciarios: los correspondientes a la fusión de la nieve estacional y los que resultan de la pérdida de masa del glaciar en desequilibrio. En el primer caso los aportes corresponden principalmente a la zona de acumulación, en tanto que los segundos tienen lugar a partir de la desaparición de la nieve sobre la superficie glaciaria, dando lugar a la pérdida de hielo en la zona de ablación durante los meses de verano. Mediante la ejecución de observaciones frecuentes en las balizas ambos tipos de aportes pueden distinguirse y determinarse los volúmenes erogados en cada período. Aguas abajo del glaciar, sensores digitales registran las variaciones horarias del flujo glaciario.

Debido al reducido rango altitudinal de los glaciares, que en general es inferior a 200 m, y excepcionalmente alcanza a 400 m (gl. Vinciguerra y gl. Alvear) en años muy deficitarios todo el glaciar se comporta como zona de ablación. Muy eventualmente sucede lo contrario en años ricos.

FOLIO
22

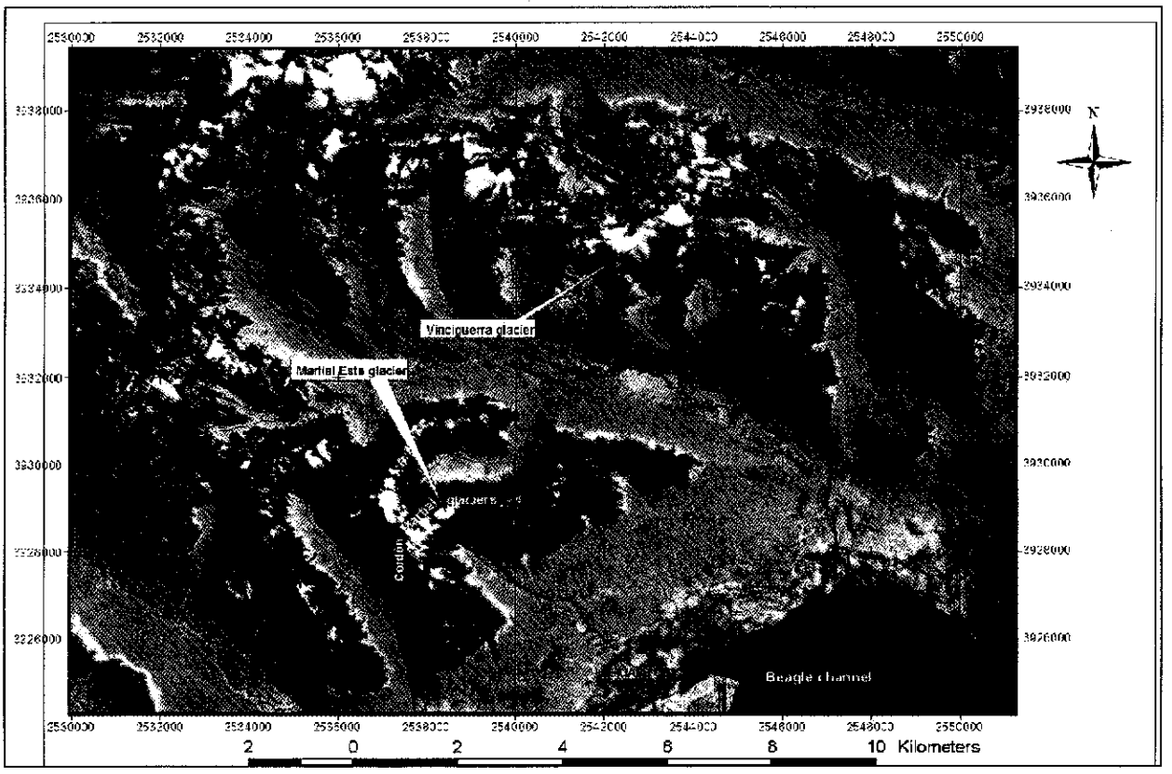


Figura 1. Ubicación de los glaciares Martial Este y Vinciguerra, en proximidades de Ushuaia

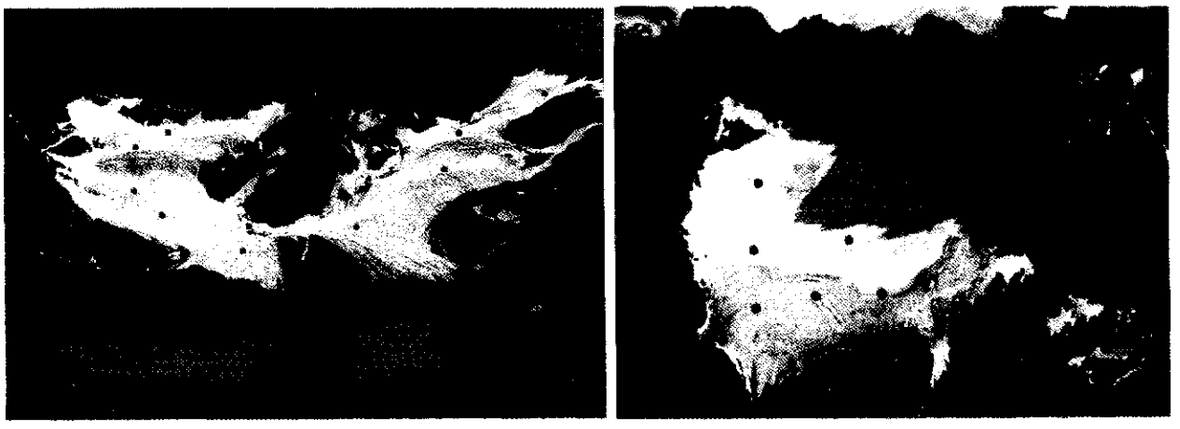


Figura 2. Vista general y ubicación de las balizas de medición en los glaciares Vinciguerra (izquierda) y Martial Este (derecha,). La laguna de los Témpanos, cercana al frente del Vinciguerra, en 1970 no existía porque todavía era ocupada totalmente por el cuerpo glaciario. Las vistas corresponden a enero de 2008 y febrero de 2009 respectivamente.

FOLIO 23

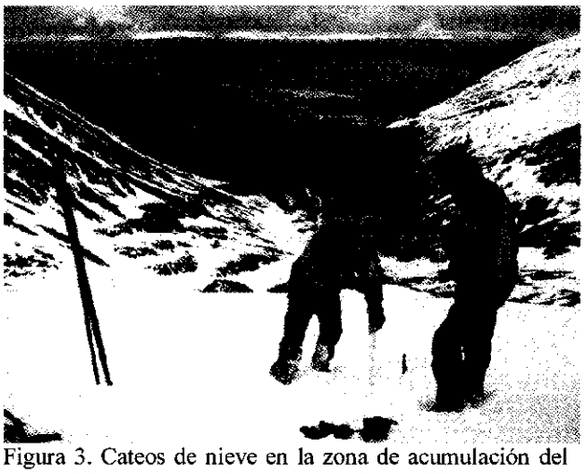


Figura 3. Cateos de nieve en la zona de acumulación del glaciar Martial. Al fondo se ve la ciudad de Ushuaia.

Figura 4. Relevamiento topográfico de la superficie de la zona de ablación con GPS diferencial

Un inventario de los glaciares de Tierra del Fuego realizado a nivel preliminar, ha permitido establecer la extensión de glaciares por cuenca, así como el rango altitudinal en que éstos se encuentran. Para ello se ha trabajado con imágenes satelitales Landsat 7 TM y ASTER, correspondientes a febrero de 2002, de muy buena calidad por la ausencia de nubes y de nieve estacional, por cuanto se trató de un verano seco y cálido. La habitual nubosidad y la ocurrencia de nevadas estivales en los ambientes glaciarios limita seriamente la disponibilidad de imágenes satelitales. Asimismo, imágenes Spot de Enero de 1995 y fotografías aéreas de 1970 han sido analizadas para una mejor comprensión de la recesión glaciaria en el área de estudio.

La determinación de superficie de glaciares por cuenca se realizó con la base del mapa de cuencas de Tierra del Fuego elaborado con detalle 1:20000. El modelo digital del terreno SRTM 2000 con grid de 3" x 3" (aproximadamente 90 m) se utilizó para determinar la altitud media de los glaciares. La información geográfica fue sistematizada en SIG implementado en software Arcview.

Considerando que la variabilidad del balance de masa entre los diferentes cuerpos glaciarios depende en buena medida de la altitud media de los mismos, sobre la base de este parámetro se interpoló el déficit resultante por cuenca, en base a los valores observados en el Martial y en el Vinciguerra. Los mismos representan situaciones casi extremas, el primero como glaciar elevado y el segundo con importante desarrollo del área de ablación en cotas bajas. Se obtuvo de esta forma una estimación del déficit anual en el balance de los glaciares por cuenca, que si bien es elemental, es indicativa de la magnitud de las perdidas de masa glaciar. Su producto por la superficie de glaciares en la cuenca determina la pérdida de masa anual por cuenca, que representa el aporte glaciario neto.

Las observaciones realizadas indican que la pérdida de hielo se produce en los meses más cálidos y luego del agotamiento de la nieve estacional en la zona de ablación. El período abarca aproximadamente 60 días, entre mediados de enero y mediados de marzo. (Figura 5)

FOLIO
24

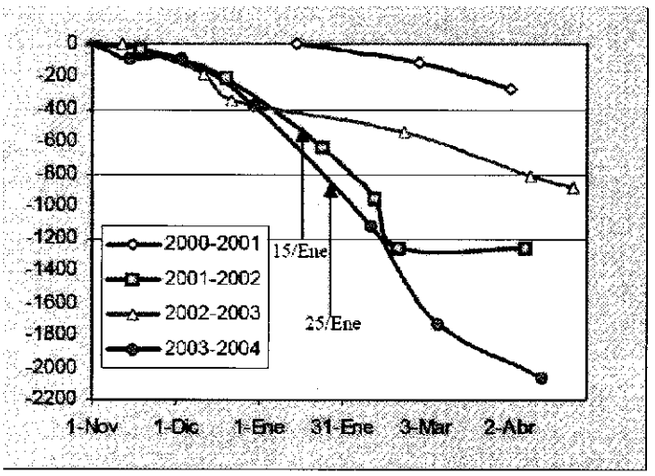


Figura 5. Pérdidas de masa en el glaciar Martial (en mm agua equivalente) en diferentes temporadas. Las flechas indican el momento del agotamiento de la acumulación estacional en los dos años más deficitarios. Las pérdidas posteriores a las fechas indicadas implican reducción neta de masa glaciaria. Extraído de Iturraspe et al, 2005.

La relación porcentual entre los aportes glaciarios y el escurrimiento en la cuenca en el período, es un parámetro indicador de la dependencia del escurrimiento a nivel de cuenca (o de subcuenca) de estos aportes. Denominaremos a este porcentaje *índice estacional de contribución glaciaria neta* (IECGN), el cual será utilizado para establecer clases o categorías de vulnerabilidad a la pérdida de estos aportes, de acuerdo a rangos de este índice, según se detalla en la tabla 1. La información hidrológica correspondiente a las cuencas analizadas fue proporcionada por la DGRH de Tierra del Fuego. El IECGN se relaciona, aunque no linealmente con el porcentaje de superficie englazada en la cuenca, como se aprecia en tabla 1. No obstante, tal relación puede cambiar extra-regionalmente, ante condiciones distintas de temperatura, precipitación y radiación.

Tabla 2. Categorías de vulnerabilidad de cuencas en base al índice estacional de contribución glaciaria neta

Clase	IECGN	Englaza-miento (%)	Descripción
1	0	0	Sin vulnerabilidad a la desaparición de los glaciares. Los cambios en el régimen hidrológico el cambio climático dependerán sólo de efectos sobre la nieve estacional.
2	<6	< 1.2%	La contribución glaciaria sólo es perceptible en tramos propios del ambiente glaciar y periglaciar. Eventualmente, a nivel de cuenca en episodios muy secos y cálidos. Vulnerabilidad reducida.
3	6 a 12	1.2% a 3.5%	Cuencas moderadamente sensibles a la recesión glaciaria, especialmente durante veranos secos y calidos en los que los aportes glaciarios compensan la falta de agua. El impacto es más fuerte en las subcuencas. Vulnerabilidad moderada
4	12 a 24	3.5% a 7%	Apreciable influencia de los aportes glaciarios en el verano. Hay variabilidad diurna/nocturna en los caudales por el proceso de fusión incluso durante el verano. Marcada Vulnerabilidad
5	24 a 40	7% a 14%	Los aportes glaciarios son importantes en veranos y apreciables en el caudal medio anual. Alta vulnerabilidad
6	>40	> 14%	El régimen hidrológico de la cuenca depende sustancialmente del flujo glaciario. Las crecidas dependen en mayor medida de la temperatura que de las precipitaciones. Muy alta vulnerabilidad.

FOLIO 25

RESULTADOS

Balances glaciarios

En ambos glaciares resultan balances anuales negativos, con déficit más acentuado en el Vinciguerra que en el Martial. Si bien la información obtenida permite analizar muchos aspectos del comportamiento hidrológico de estos glaciares, atendiendo al objetivo del trabajo se focalizarán los resultados en los valores medios de balance para el periodo de cuatro años hidrológicos (2003/2004–2007/2008), a los efectos de un análisis comparativo, según se aprecia en la figura 6. La pérdida de masa media anual del glaciar Martial Este fue en este período de 0,55 m a^{-1} (en agua equivalente) en tanto que el Vinciguerra fue de 1,1 m a^{-1}. Strelin e Iturraspe (2007) presentaron resultados de balances del glaciar Martial Este correspondientes a los tres años precedentes.

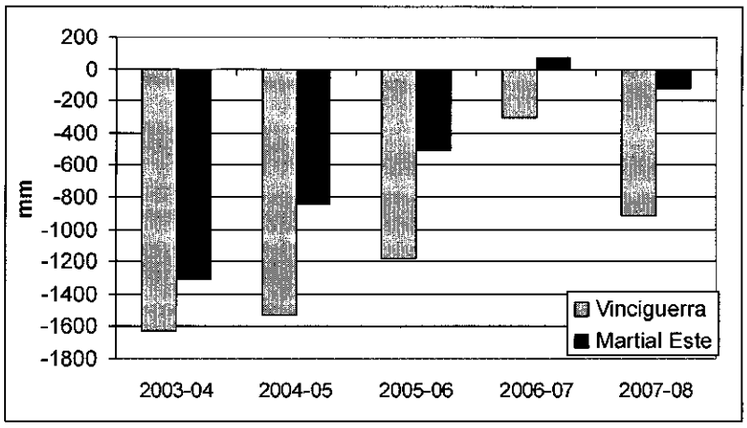


Figura 6. Balances de masa los glaciares Vinciguerra y Martial Este en el período 2003-2004 / 2007-2008

Valoración de los aportes glaciarios y vulnerabilidad

El englazamiento disminuye de W a E a lo largo de la Cordillera Fueguina, en concordancia con la disminución de la altitud de las cumbres de los macizos. Los glaciares más significativos se manifiestan en las cuencas con nacientes en Chile, como los de la cuenca del río Lapataia, el emisario del lago Roca. La superficie total de glaciares que aportan a las cuencas argentinas de Tierra del Fuego, incluidas las binacionales, es de 105.64 km^2, de la cual sólo 19.6 km2 (18.6%) corresponden a glaciares de la Provincia de Tierra del Fuego; el resto está situado mayoritariamente en el sector chileno de dos grandes cuencas: Lapataia (65.2 km^2) y Fagnano (23 km^2). Quince son las cuencas que reciben contribuciones de glaciares en la Provincia de Tierra del Fuego, según puede apreciarse en tabla 3 - figura 6, donde se presentan los parámetros que permiten estimar las mismas. El volumen anual de escurrimiento aportado por la pérdida de masa neta, se ha determinado como producto de la superficie de glaciares por cuenca por el déficit en el balance estimado para cada una en función de la altitud media de los glaciares. El mayor error en las estimaciones correspondería a los aportes de glaciares de Chile, debido al escaso conocimiento de su comportamiento, y a que los mismos presentan características transicionales entre las grandes unidades de Cordillera Darwin y los pequeños glaciares de la Provincia de Tierra del Fuego.

Los porcentajes de cobertura glaciaria son en general, reducidos y por tal motivo, poco significativas sus contribuciones consideradas al nivel del ciclo anual total. Sin embargo adquieren relevancia durante el verano. En los tramos de cuenca más próximos al ambiente glaciario se incrementa la dependencia de esta componente. Como estudio de caso, en tabla 4 y figura 7 se presenta el análisis correspondiente a las subcuencas del A° Grande, categorizado como clase 4, de

marcada vulnerabilidad. Se aprecia el incremento del IECGN en las subcuencas con glaciares, dando lugar a clases de vulnerabilidad más elevadas.

Tabla 3. Contribuciones glaciarias por cuenca y vulnerabilidad

Cuenca	Sup. Cuenca	Ext Glaciar	Ext Glaciar	Pérdida de masa media anual	Volumen anual CGN	CGN distribuida en el año	CGN distribuida en 60 dias	Caudal anual de la cuenca	Caudal período estival cuenca	Proporción en el año	IECGN = Proporc. en 60 dias verano	Clase vulnera-bilidad
	a		b	$c=a.b.10^4$	$d=\frac{c}{86400.365}$	$e=\frac{c}{86400.60}$	f	g	d/f . 100	e/ g .100		
	Ha	Ha	%	m	m3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%	
Guanaco	2856	1.1	0.04	0.65	7020	0.0002	0.001	0.75	0.82	0.03	0.16	2
Varela	16074	9.0	0.06	0.65	58240	0.002	0.011	4.3	4.73	0.04	0.24	2
Elder	1327	1.72	0.13	0.65	11180	0.0004	0.002	0.3	0.33	0.12	0.65	2
R. de la Turba	122153	43.0	0.04	0.60	258000	0.008	0.050	6	5.5	0.14	0.90	2
S/N(E de Guanaco)	2472	12.8	0.52	0.65	83460	0.003	0.016	0.66	0.73	0.40	2.22	2
2 de Mayo	1712	12	0.70	0.60	72000	0.002	0.014	0.44	0.48	0.52	2.89	2
Lasifashaj	42118	170.4	0.40	0.70	1192800	0.038	0.230	9	9.9	0.42	2.32	2
Encajonado	6183	46.0	0.74	0.65	298740	0.009	0.058	1.5	1.65	0.63	3.49	2
Pipo	15813	148.6	0.94	0.60	891360	0.028	0.172	4.01	4.73	0.70	3.63	2
Fagnano	347691	2368	0.68	0.60	14208000	0.451	2.741	48	54	0.94	5.08	2
Pta seg	3047	44.0	1.45	0.65	286260	0.009	0.055	0.9	1.08	1.01	5.11	2
B Esperanza	1656	46.6	2.81	0.56	260736	0.008	0.050	0.37	0.44	2.23	11.33	3
Olivia	20924	638.2	3.05	0.60	3828960	0.121	0.739	5.4	6.4	2.25	11.54	3
A.Grande	12538	499.4	3.98	0.67	3345712	0.106	0.645	3.2	3.8	3.32	16.98	4
Lapataia	56147	6523.5	11.62	0.55	35879360	1.138	6.921	19	24	5.99	28.84	5

CGN: Contribución glaciaria neta IECGN: Indice estacional de contribución glaciaria neta

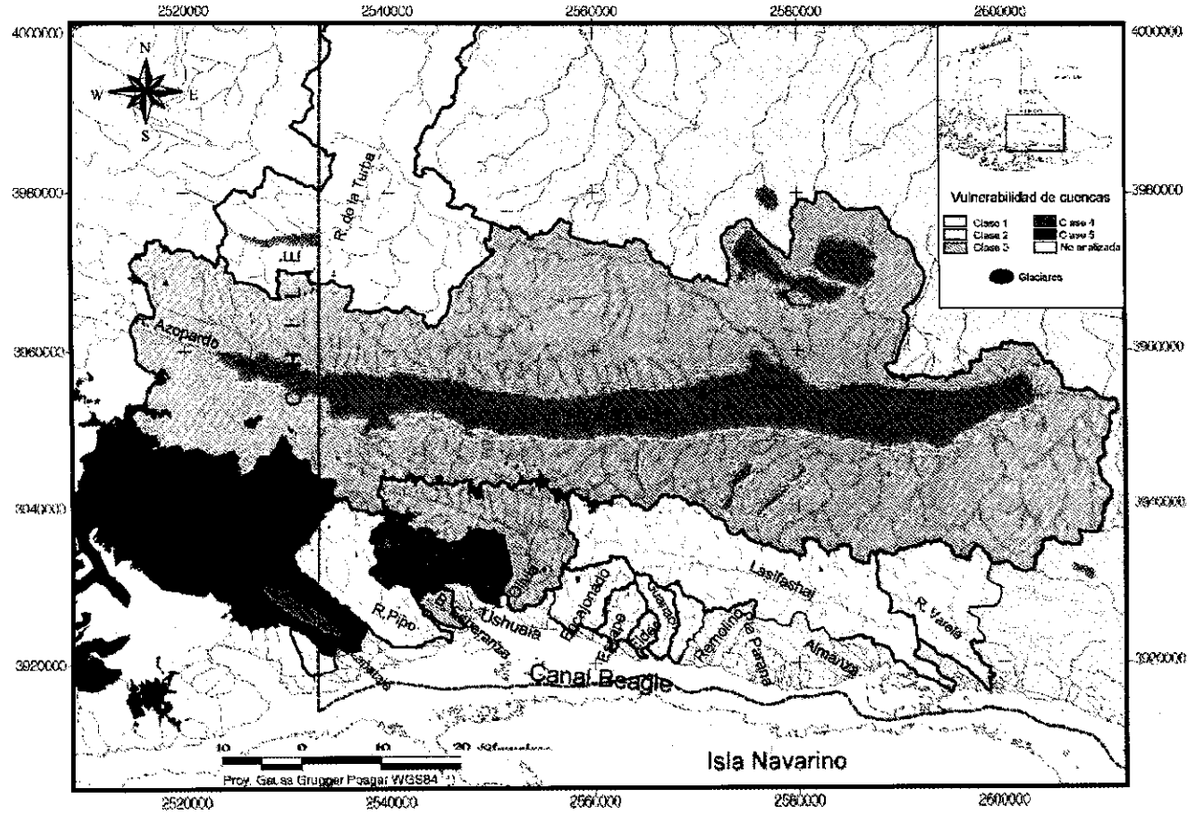


Figura 7. Categorías de vulnerabilidad de cuencas de la Prov. de Tierra del Fuego con aportes glaciarios.

Poder Legislativo
FOLIO
Nº 27

Tabla 4. Análisis de caso: vulnerabilidad de las subcuencas del A° Grande (valle de Andorra).

Sub-cuenca	Sup. Cuenca	a Ext Glaciar	Ext Glaciar	b Pérdida de masa media anual	c=a.b.10^4 Volumen anual CGN	d=c/86400.365 CGN distribuida en el año	e=c/86400.60 CGN distribuida en 60 dias	f Caudal anual de la cuenca	g Caudal período estival cuenca	f/d.100 Proporc. CGN en el año	g/e . 100 IECGN = Proporc. en 60 dias verano	Clase vulnerabilidad
	Ha	Ha	%	m	m3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%	
MI1	2103	114.7	5.45	0.60	688080	0.022	0.720	0.541	0.720	4.0	18.4	4
MI2	743	32.8	4.41	0.60	196560	0.006	0.251	0.190	0.251	3.3	15.1	4
MI3	875	75.2	8.59	0.57	428412	0.014	0.298	0.230	0.298	5.9	27.7	5
MI4	379	6.4	1.69	0.57	36480	0.001	0.100	0.095	0.100	1.2	7.0	3
MI5	353	7.8	2.20	0.70	54320	0.002	0.097	0.089	0.097	1.9	10.8	3
MI6	391	66.3	16.94	1.15	762220	0.024	0.273	0.121	0.273	19.3	52.7	6
MI7	458	7.3	1.59	0.57	41496	0.001	0.121	0.114	0.121	1.2	6.6	3
MI8	2213	56.9	2.57	0.60	341280	0.011	0.610	0.557	0.610	1.9	10.8	3
MD1	1130	80.5	7.13	0.60	483120	0.015	0.371	0.294	0.371	5.2	25.1	5
MD2	924	50.6	5.47	0.60	303600	0.010	0.286	0.238	0.286	4.0	20.5	4
INF	*7357	* 442.5	6.01	0.67	2964616	0.094	0.578	2.249	2.800	4.2	20.6	4
MEDIA	*12538	* 499.4	3.98	0.67	3345712	0.106	0.645	3.200	3.800	3.3	17.0	4

* acumulativo de áreas que aportan

CGN: Contribución glaciaria neta IECGN: Indice estacional de contribución glaciaria neta

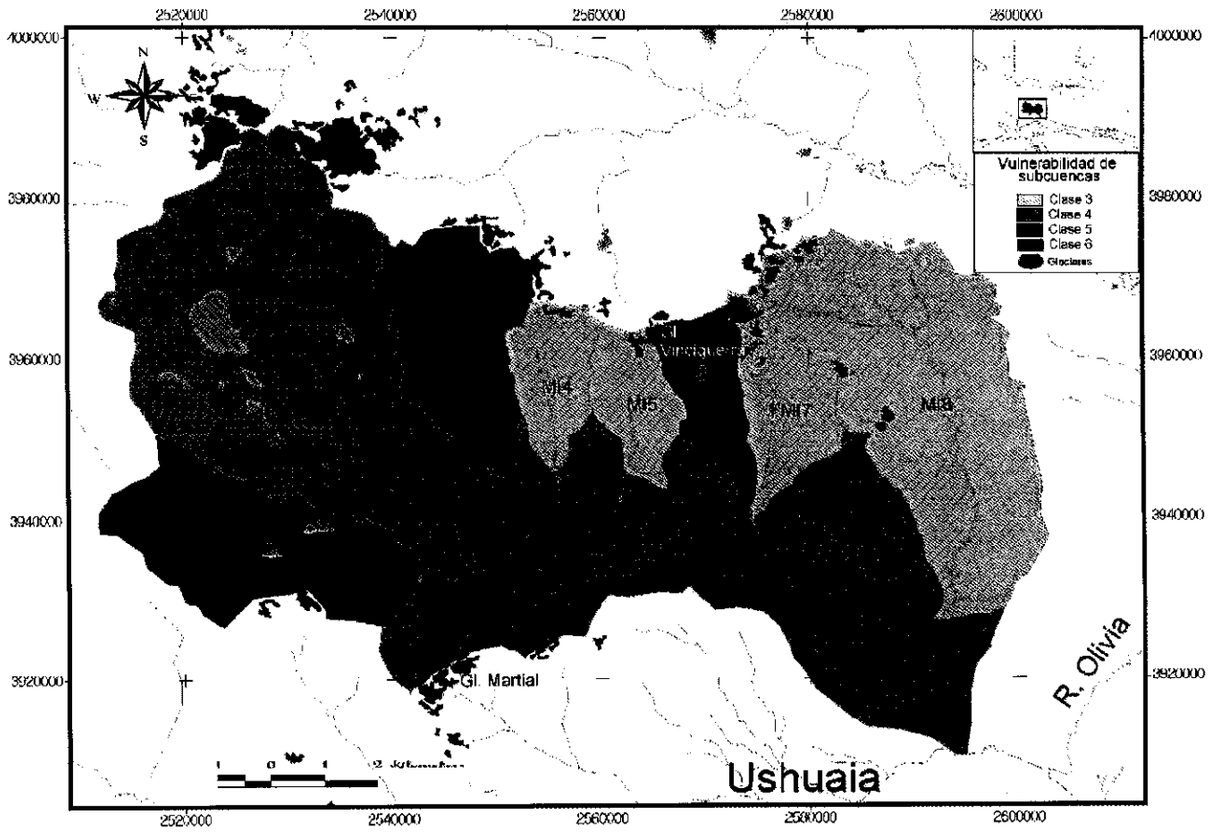


Figura 8. Vulnerabilidad de las subcuencas del Valle de Andorra (A° Grande).

FOLIO 28

DISCUSION

Los trabajos publicados referentes a la evaluación de aportes glaciarios al escurrimiento, en general cuantifican el total de los aportes procedentes del ambiente glaciario: la escorrentía propia del ciclo hidrológico más la contribución glaciaria neta. Si el objetivo es evaluar cambios en el régimen hidrológico ante un escenario de pérdida de englazamiento, sólo debe ser considerada esta última, ya que el área desocupada por el glaciar continuará aportando escorrentía, en función de las precipitaciones y del ciclo de la nieve estacional. Debe entenderse por lo tanto que de la metodología aplicada no resultan caudales totales procedentes de glaciares sino la componente diferencial que se perdería con la desaparición de éstos.

La categorización propuesta en materia de vulnerabilidad de cuencas permite comparar relativamente el efecto de la potencial desaparición de los glaciares aún entre cuencas muy diferentes. Por ejemplo, para la subcuenca MI 6 (tabla 4) recargada por el glaciar Vinciguerra, se espera un impacto relativo mayor, en términos de reducción porcentual de caudal durante el verano, que la del río Lapataia (tabla 3), que es la que cuenta con mayor extensión de hielo.

Es factible mejorar las estimaciones de balances glaciarios por cuenca, basadas en este trabajo en resultados del monitoreo de los glaciares piloto, extendiendo las observaciones de campo a otros cuerpos de hielo. Ya se dispone de un año de mediciones en dos nuevos glaciares, el Martial Central y el Alvear, es decir que la relación altura-balance se podrá ajustar con cuatro puntos. En una posterior etapa se espera modelar el comportamiento glaciario, calibrando los mismos con datos de los glaciares piloto. No obstante, una metodología elaborada para estimar vulnerabilidad a nivel regional debe estar basada en información relativamente simple de obtener. El efecto del error en la estimación del balance glaciario por cuenca, que es el parámetro con mayor nivel de incertidumbre, no es suficiente como para producir una modificación en la asignación de categoría, excepto en casos próximos al límite de uno de los rangos de asignación.

Un aspecto a considerar es el relativo al carácter mediato o inmediato del problema, ya sea bajo las condiciones climáticas actuales o en escenarios de cambio climático. En relación al ejemplo mencionado, es esperable que el impacto que experimentaría en pocas décadas la pequeña subcuenca alimentada por el Vinciguerra, se verificaría mucho tiempo antes que en la cuenca del río Lapataia. En términos generales, en cuencas con muy baja vulnerabilidad (presentan glaciares muy pequeños) la desaparición de los glaciares es inminente, en tanto que lo opuesto sucede en cuencas muy englazadas, o sea de alta vulnerabilidad a la deglaciación. Los casos intermedios, correspondientes a categorías 3 y 4 deben ser atendidos con más detalle, en función del balance y de espesores medios de glaciares en la cuenca.

Otra consecuencia del cambio climático, no cuantificada en este estudio, es la disminución de la capacidad reguladora del manto nival. Es previsible la menor persistencia de la nieve en los circos glaciarios luego de la desaparición de los cuerpos de hielo, el agotamiento anticipado de nichos de nivación que actualmente perduran aún en meses de verano y la elevación del límite inferior de las nevadas durante la primavera tardía. El escurrimiento durante la época invernal es fuertemente dependiente de la temperatura (Iturraspe et al, 1998) y por lo tanto bajo condiciones invernales cada vez más templadas se puede esperar mayor disponibilidad de escorrentía durante el invierno, con la consiguiente reducción del stock de agua en la cuenca. Similar hipótesis ha sido formulada para cuencas de la República Checa por Horáček et al. (2008) en base a resultados de modelación matemática.

FOLIO 29

Ante esta situación, la pérdida de los glaciares es aún más relevante ya que son varios los factores que conducen a que el escurrimiento tenga cada vez más dependencia del régimen de precipitaciones y se profundice y prolongue el estiaje estival, que podría a llegar a ser más restrictivo que el invernal.

CONCLUSIONES

El balance hidrológico de glaciares piloto suministra información precisa sobre los aportes glaciarios netos a los sistemas de escurrimiento. Los resultados obtenidos del monitoreo de los glaciares Martial Este y Vinciguerra, en conjunción con un escenario climático esperado para el presente siglo que considera la persistencia de condiciones climáticas cálidas y su progresivo aumento, permiten pronosticar mayor dependencia del escurrimiento en verano respecto de las precipitaciones, a lo que también contribuirá la disminución de la capacidad reguladora del reservorio de nieve estacional.

El volumen de agua aportado por los glaciares de la cordillera oriental de Tierra del Fuego como resultado de la pérdida de masa neta anual, es en la mayoría de los casos muy poco significativo en el contexto del balance hidrológico a nivel de cuenca, debido a la reducida extensión de los cuerpos glaciarios respecto de la superficie total de cada cuenca. La importancia de estos aportes radica en que se producen en verano, luego del agotamiento de los principales sistemas de almacenamiento, como la nieve estacional. Por este motivo los cambios en el régimen de escurrimiento atribuibles a la pérdida de los cuerpos de hielo existentes serán significativos en mayor medida durante esa época del año y más aún en las subcuencas que cuentan con englazamiento.

La metodología propuesta para clasificar la vulnerabilidad del régimen hidrológico de las cuencas en relación a la recesión de los glaciares es aplicable a cuencas de otras regiones situadas en latitudes medias a altas.

Las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia (A°. Grande y Buena Esperanza) se encuentran entre las más vulnerables a la pérdida de estas contribuciones, situación que se complica por el creciente incremento de la demanda. Surge así la necesidad de la implementación de estrategias de adaptación que incluyan medidas estructurales, tales como la ejecución de captaciones en nuevas fuentes de agua con las correspondientes obras de conducción; y medidas no estructurales como la preservación de estas nuevas fuentes y la optimización del uso del agua en el marco del Plan Provincial para los Recursos Hídricos.

REFERENCIAS

Aniya, M.; Sato, H.; Naruse, R.; Skvarca, P.; Casassa, G. 1997. "*Recent Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America*". Arctic and Alpine Research, Vol. 29, p. 1-12.

Horáček S, Kašpárek L. and Novický O (2008). "Estimation of climate change impact on water resources by using Bilan water balance model" XXIVth Conf. of the Danubian Countries, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 4 (2008) 012023 doi:10.1088/1755-1307/4/1/012023

Heucke, E. (2003). "*A Light Portable Steam-driven Ice Drill Suitable for Drilling Holes in Ice and Firn*" Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, Vol 81, Issue 4, 603 – 609.

Iturraspe R. J. y Urciuolo A., (1998). "*Análisis cuantitativo de los efectos de la temperatura sobre la variabilidad del escurrimiento en la época invernal en cursos de la cordillera fueguina*". Anales del XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Santa Fe. Vol I, 137-146, 1998.

FOLIO 260

Iturraspe R. J., Gaviño M. y Urciuolo A., (1998) "*Caracterización hidrológica de los valles de Tierra Mayor y Carbajal, Tierra del Fuego*". An. XVII Cong. Nac. del Agua y II Simp. de R. H. del Cono Sur. S. Fe. Vol I, 147-156

Iturraspe, R. J. & Urciuolo, A. (2000). "*Clasificación y caracterización de las cuencas hídricas de Tierra del Fuego*". Act. XVIII Cong. Nac. del Agua. R. Hondo, S. del Estero- Jun/2000. Ed en CD.

Iturraspe, R. J. y Strelin, J. (2005). "*Resultados de estudios glaciológicos y nivológicos en el glaciar Martial, Tierra del Fuego*". Anales XX Cong. Nac. del Agua, Mendoza, Mayo/2005. Publicado en CD.

Kaser, G., A. Fountain, P. Jansson (2003). "*A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers with particular attention to low latitude characteristics* ". ICSI - UNESCO – HKH Friend Program. UNESCO IHP-VI Technical document.

Leiva J., Espizùa L., Iturraspe R., Masiokas M., Norte F., Villalba R. (2008). *La risposta dei ghiacciai argentini al clima dei secoli XX e XXI. Ghiacciai montani e cambiamenti climatici nell'ultimo secolo*"" / Terra Glacialis Ediz. Speciale 2008, L. Bonardi. - Milano: Servizio Glaciologico Lombardo, 2008.

Lliboutry, L. (1965). "*Traité de Glaciologie*", 2. Masson & Cie., Paris, 1040 pp.

Rivera, A. and G. Casassa (2004). "*Ice Elevation, Areal, and Frontal Changes of Glaciers from National Park Torres del Paine, Southern Patagonia Icefield*". Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 36, No. 4, 2004, pp. 379–389

Rivera, A., T. Benham, G. Casassa, J. Bamber, J. Dowdeswell (2007). "*Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile*". Global and Planetary Change 59 (2007) 126–137,

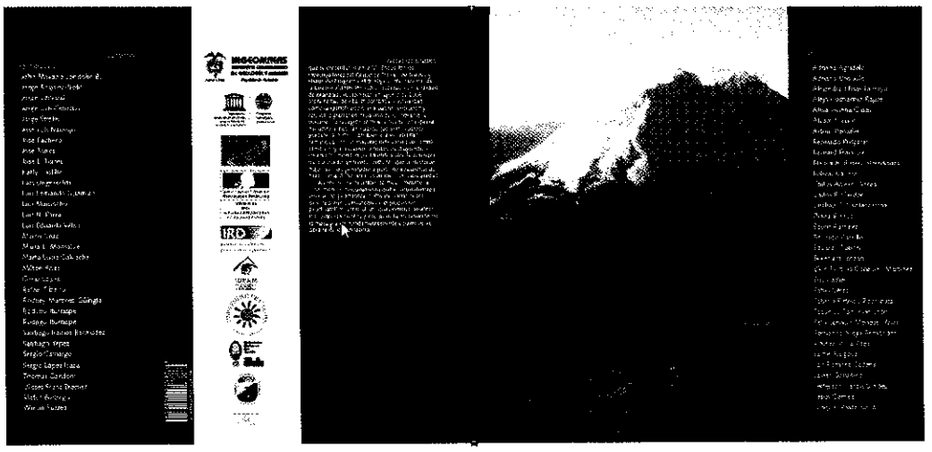
Strelin, J., Iturraspe, R. (2007). "*Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental*". Glob. Planet. Change (2007), pp 17-26.

FOLIO
Nº 31

El retroceso del Glaciar Vinciguerra como respuesta al cambio climático en los Andes de Tierra del Fuego, Argentina

Capítulo en:

Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas



Citar como:

Iturraspe, R., Urciuolo, A., Strelin, J., Iturraspe, R.$^{(h)}$, Camargo, S. y Pacheco, J. (2009). El retroceso del Glaciar Vinciguerra como respuesta al cambio climático en los Andes de Tierra del Fuego, Argentina. En: Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas. López Arena y Ramírez Cadena (Compiladores). Ingeominas. Bogotá, Colombia, pp 61-76

FOLIO
32

ANÁLISIS DEL RETROCESO DEL GLACIAR VINCIGUERRA EN TIERRA DEL FUEGO

Rodolfo Iturraspe[1,2]
Adriana Urciuolo[1,2]
Jorge Strelin[3,4]
Rodrigo Iturraspe[1]
Sergio Camargo[1]
José Pacheco[1]

Resumen

La mayoría de los glaciares orientales de Tierra del Fuego muestran notables cambios desde la década de los setenta, que indican un significativo proceso recesivo general en el área. El glaciar Vinciguerra, que en 1970 presentaba una extensión de 1,16 km^2, perdió el 44% de su superficie, retrocediendo 460 m y dando lugar a la formación de una laguna proglacial de 5 ha. La retracción del frente se aceleró en los últimos años, de 11,5 m a^{-1} en 1970-2002 a 19,5 m a^{-1} en 2002-2008. Se presentan resultados de balance de masa realizados en forma continua desde 2003 basados en diez balizas de observación. En los cinco años de monitoreo se registraron balances negativos, promediando una tasa de 1150 mm a^{-1} de agua equivalente. Adicionalmente, se realiza el monitoreo climático correspondiente al ambiente glaciario, necesario para la modelación del balance en una etapa posterior. Una estación automática adyacente al glaciar adquiere datos climáticos en cota 950 msnm. La tasa de ablación anual en proximidades del frente oscila entre 4000 y 5000 mm de agua equivalente, motivando el descubrimiento de rocas basales. Se espera a corto plazo una activa afectación de la zona de ablación, especialmente en la lengua glaciaria, que podría desaparecer en la próxima década.

1 Dirección General de Recursos Hídricos. Ushuaia, Argentina. iturraspe@tdfuego.com.
2 Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Ushuaia, Argentina.
3 Instituto Antártico Argentino. Buenos Aires, Argentina.
4 Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

FOLIO
Nº 33

Abstract

Most of eastern glaciers of Tierra del Fuego show significant changes since the 70 decade, indicating a general recessive process in the area. The Vinciguerra glacier lost 44% of extension since 1970, and retreated 460 m, giving place to the formation of a 5 ha pro-glacial lagoon. The front retreat accelerated in the last years, from 11,5 m a^{-1} on 1970-2002 to 19,5 m a^{-1} on 2002-2008. We show results of mass balance monitoring achieved continuously from 2003, on the basis of ten stakes installed on the ice. The five years of monitoring presented negative balances, with a tax of -1150mm a^{-1} w.e. In addition, an automatic weather station close to the glacier acquires climatic data at 950 masl. Near the front glacier the ablation rate varies between 4000 to 5000 mm w.e., discovering basal rocks each year. We expect in the short term active thinning of the ablation zone, especially on the tongue, witch could disappear in one decade.

Introducción

El comportamiento de los glaciares de montaña es un indicador eficiente de la variabilidad de los patrones climáticos dominantes en el ambiente de cordillera, donde normalmente es muy difícil contar con registros climáticos de cierta extensión. Es el caso de los Andes de Tierra del Fuego, cuyo poblamiento es incipiente aún en las tierras bajas y donde muchos valles se encuentran despoblados y apenas explorados.

Diversos autores han publicado estudios en relación con las fluctuaciones glaciarias posteriores al máximo glacial, correspondientes al Plehistoceno tardío y Holoceno en Tierra del Fuego (Clapperton et ál., 1988, Rabassa et ál., 1992, 2000; Planas, 2002 & Strelin, 2008), predominantemente dentro de un contexto de escala regional. Sin embargo es escaso el material disponible relativo al comportamiento de los glaciares locales desde la pequeña edad del hielo (PEH) hasta el presente. Comparativamente, hay mayor disponibilidad de información sobre este tema relativa a otros sitios del sur de Suramérica, en muchos casos producto de la integración de grupos científicos de los países locales (Chile y Argentina) con investigadores de Japón, Estados Unidos y

FOLIO 34

países europeos, que han logrado interesantes resultados especialmente en los Campos de hielo patagónico Norte y Sur (Aniya, 1986, 1997, 1999; Warren, 1993, 1999; Kuylenstierna, 1996; Rivera et ál., 1997, 2007; Iturraspe y Strelin, 2002; Skvarca et ál., 2002, 2003; Rignot et ál., 2003; Casassa et ál., 2006 & Schneider et ál., 2007). Desde la década de los ochenta el nivel de conocimiento sobre el comportamiento de los glaciares en Patagonia se ha incrementado significativamente, pero es aún insuficiente atendiendo a la gran variabilidad climática y diversidad de ambientes glaciarios. Dados los notables contrastes climáticos, geográficos y morfológicos, no es atinado extrapolar resultados a Tierra del Fuego desde otros ambientes de la Patagonia.

Con respecto a fluctuaciones recientes de glaciares de Tierra del Fuego, Holmlund y Fuenzalida (1995) señalan diferencias en el comportamiento de los glaciares de la cordillera Darwin (Chile) con glaciares de la vertiente sur estables o en reavance y sujetos a un fuerte retroceso en la vertiente opuesta. Porter y Santana (2003) describen la notable desaparición del hielo glaciario en el fiordo Marinelli, situado en la vertiente norte de la cordillera Darwin, a una tasa de retroceso entre 1992 y 2000 de -787 m a^{-1} y una reducción areal de -2,75 $km^2 a^{-1}$.

Strelin e Iturraspe (2007) reconstruyeron el proceso recesivo experimentado por el glaciar Martial (Argentina), muy próximo a la ciudad de Ushuaia, y determinaron un valor de 450 mm a^{-1} en agua equivalente de pérdidas anuales promedio en el período 1984-1998. Adicionalmente, presentaron resultados de balance de masa, a partir de 2000. El glaciar Vinciguerra, objeto del presente estudio, se diferencia del Martial, distante 8 km (figura 1) por su mayor dimensión y rango altitudinal, características morfológicas y emplazamiento, con menor exposición a la influencia oceánica. Ambos glaciares constituyen parte del conjunto de cuerpos de hielo que aportan a la red de drenaje que es fuente de aprovisionamiento de la ciudad de Ushuaia, capital de la provincia argentina de Tierra del Fuego (Strelin & Iturraspe, 2002). Se requiere un conocimiento relativo al comportamiento de estas unidades para diseñar estrategias de adaptación al cambio climático basadas en la previsión de futuros cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos.

FOLIO 25

Descripción del área de estudio

El archipiélago de Tierra del Fuego, prolongación del continente americano en la confluencia de los océanos Atlántico y Pacífico, funciona como un observatorio de la circulación atmosférica del cinturón subantártico. Los Andes tienen aquí una orientación W-E que determina en gran medida las características climáticas dominantes y los gradientes transicionales locales. Las cumbres más elevadas, que alcanzan 2400 m, se localizan en el sector occidental (Chile), en el campo de hielo de la cordillera Darwin, desde donde se desprenden extensas terminales glaciarias, que en la mayoría de los casos culminan en pronunciados fiordos. Hacia el este, en territorio argentino, el relieve alcanza menor altitud, por debajo de 1400 m, disminuyendo también la magnitud de los cuerpos de hielo. La circulación general de los Westerlies, el frecuente paso de ciclones por el pasaje de Drake y la pronunciada penetración del extremo sur del continente en la gran masa oceánica son factores que dan lugar a condiciones climáticas de Tierra del Fuego notablemente oceánicas (Tuhkanen, 1992), con lluvias frecuentes todo el año y régimen térmico de moderada amplitud: el promedio anual en Ushuaia (a nivel del mar) es de 5,5 °C; el promedio de enero –el mes más cálido– de 9,4 °C y de julio –el más frío– de 1 °C. La precipitación anual a nivel del mar es de 530 mm (registros de Ushuaia), pero este valor se duplica en el ambiente de montaña (Iturraspe & Urciuolo, 2007).

El glaciar Vinciguerra (54° 43' S, 68° 20'W), próximo a la ciudad de Ushuaia y localizado en la sierra homónima, es uno de los mayores entre los pequeños pero numerosos glaciares del sector argentino de Tierra del Fuego. Su extensión, que alcanzaba a 1,2 km^2 en 1970, es actualmente de 0,635 km^2. Aporta a la cuenca de Arroyo Grande, cuyo curso principal atraviesa el ejido urbano de la ciudad de Ushuaia. Esta cuenca presenta en sus cabeceras numerosos cuerpos de hielo con características similares al glaciar de estudio.

El basamento geológico en el que está modelado el circo glaciario está integrado por rocas sedimentarias de la formación Yahgan, del Jurásico-Cretácico, cuya génesis puede interpretarse como resultado de la deposición de sedimentos en una pequeña cuenca marginal, que luego experimentaron fuerte deformación y metamorfismo (Olivero y Martinioni, 2001).

FOLIO 36

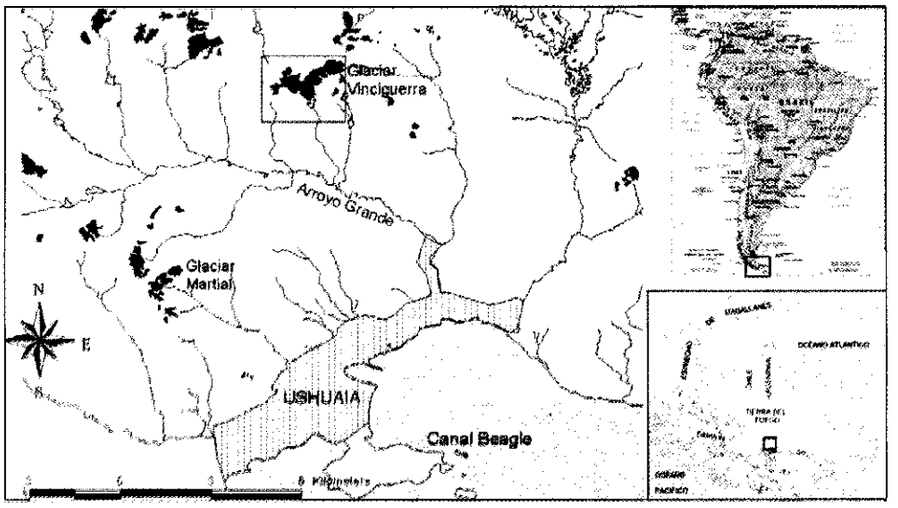


Figura 1. Ubicación del glaciar Vinciguerra.

Materiales y métodos

La referencia más antigua sobre la posición del glaciar se obtuvo del vuelo a escala 1:40.000 del Servicio de Hidrografía Naval (Argentina) realizado en febrero de 1970. La evolución posterior se analizó a partir de imágenes satélite Landsat TM 1985, 2002 y Spot 1995, con píxel interpolado de 10 m. Desde 1985 se ha efectuado el monitoreo *in situ* con el apoyo de fotografías panorámicas y más recientemente con relevamientos topográficos realizados en 2008 con GPS diferencial centimétrico, estación total y en algunos sectores con datos de GPS navegador. Estas observaciones han favorecido posteriormente la interpretación de la dinámica y evolución glaciaria. Un primer nivel de análisis se enfoca en la variabilidad espacial observada entre 1970 y 2008, con base en fotografías aéreas, imágenes satelitales y relevamiento en terreno del límite glaciario. Si bien tal evolución se ha registrado con mayor detalle, en este artículo se presentan las situaciones correspondientes a 1970, 1995 y 2008 para facilitar una mejor visualización de los cambios espaciales. El segundo nivel de análisis del comportamiento del glaciar se fundamenta en el balance de masa, realizado desde abril de 2003 con base en diez balizas distribuidas en las zonas de ablación y acumulación que se usan como referencia para hacer observaciones de altura y densidad de la nieve y del hielo.

FOLIO 31

Las balizas se instalan anualmente, perforándose el hielo con una sonda de vapor Heucke a una profundidad de 6 m en la zona de ablación.

El año hidrológico comienza en abril y culmina en marzo. La máxima acumulación se registra entre octubre y noviembre, en tanto que el proceso de ablación alcanza mayor intensidad en enero-febrero, en concordancia con las más altas temperaturas anuales. Desde octubre hasta abril se efectúan mediciones mensuales para obtener información sobre las características del proceso de fusión de la nieve estacional en el glaciar.

La ubicación de las balizas se estableció teniendo en cuenta la representatividad de los sitios respecto de su situación altitudinal, evitando sectores de anómala influencia por parte de la acción del viento.

El balance se hace siguiendo la metodología clásica para este tipo de observaciones (Lliboutry, 1965 & Kaser et ál., 2003). El agua equivalente de la nieve acumulada se determina mediante cateos que integran el estrato, mientras que anualmente se realizan calicatas en la zona de acumulación con el fin de delimitar en forma correcta la acumulación anual y contrastar los cateos integrados.

En la figura 2 se aprecia el posicionamiento de las diez balizas en las que se hacen las observaciones.

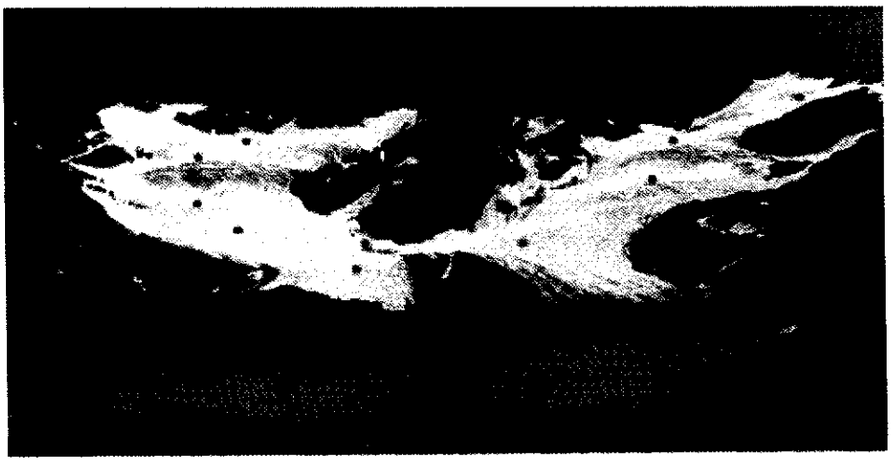


Figura 2. Vista general del glaciar Vinciguerra y ubicación de las diez balizas de medición. En primer plano se aprecia la laguna de los Témpanos, que era ocupada totalmente por el hielo glaciario en 1970. Fotografía tomada en enero de 2005.

FOLIO 38

Desde 2003 se recaban datos de temperatura en inmediaciones del glaciar en cota 950 msnm, y desde enero de 2008 opera una estación climática automática completa. En la desembocadura de la laguna se ha instalado una estación hidrométrica que consta de un vertedero, escala hidrométrica, sensor de nivel y *datalogger* registrador, que recoge datos cada 30 minutos. Estudios realizados en el glaciar Martial (Iturraspe y Strelin, 2005 & Buttstädt, 2008) han verificado una buen ajuste del modelo grado día con el balance de masa.

Resultados

Morfología glaciar

El Vinciguerra es un glaciar de montaña que ocupa un amplio y bien definido circo que alberga a dos vertientes glaciarias principales. Éstas convergen en una lengua residual orientada hacia el sur que ocupa parte del valle superior, cuyo desarrollo es actualmente muy acotado, entre los 800 y los 740 m, con una pendiente del 15%. El frente estaba en contacto con la laguna de los Témpanos (725 msnm) hasta el año 2000. Este espejo de agua se desarrolló muy recientemente a partir del retiro del hielo. Un rasgo característico es la presencia de una morrena central de detritos resultantes de la convergencia del material acarreado lateralmente por ambas vertientes glaciarias. Este material es cubierto por la nieve y el hielo en los niveles superiores e intermedios, y aflora en los niveles inferiores de la zona de ablación (figura 3). El retroceso en los últimos años ha dado lugar a la formación de pequeñas lagunas adyacentes al frente.

El ambiente periglacial presenta evidencias del avance experimentado en la PEH, consistente en diversos depósitos morrénicos que superan el límite sur de la laguna. Niveles morrénicos a 800 m sobre las laderas en los laterales de la laguna indican que se habría generado un espesor de hielo de más de 80 m a la altura de la zona central de ésta.

Así mismo, en proximidades de las márgenes de la laguna se aprecian numerosos arcos recesivos correspondientes a avances estacionales originados en las décadas de los setenta y ochenta, cuando el glaciar ocupaba parte del cuenco lacustre. En la margen izquierda del glaciar, entre 900 y 1000 msnm se desarrolla un glaciar de roca bien definido. Estas geoformas criogénicas son frecuentes a esa altitud en el ambiente de montaña de Tierra del Fuego, en la que se desarrolla permafrost en los depósitos sedimentarios. En la tabla 1 se presenta un resumen de las características geográficas y morfológicas del glaciar.

FOLIO
N° 39

Figura 3. Vista de un sector del acarreo de detritos en la zona central de la lengua. El material transportado aflora por ablación y genera una cubierta protectora a la radiación que produce un desnivel del orden de 4 m respecto del nivel general de la superficie.

Tabla 1. **Características geográficas y morfológicas del glaciar Vinciguerra.**

Coordenadas geográficas	54° 43' S, 68° 20' W
Superficie del área de acumulación	0,235 km2
Altura máxima	1250 m
Altura en la cumbre	1308 m
Longitud de la lengua	350m
Pendiente media general	40%
Área de ablación	40 ha

FOLIO 40

Evolución del glaciar Vinciguerra en el periodo 1970-2008

En la PEH, el glaciar se extendió hasta alcanzar afloramientos estructurales que contuvieron la expansión, lo que favoreció el desarrollo de su espesor. Esto posibilitó un mayor tiempo de permanencia del hielo en los niveles del valle ocupado actualmente por la laguna de los Témpanos, la que en 1970 todavía no existía. Según se aprecia en las fotos aéreas de 1970, el drenaje se desarrollaba por un lateral situado a la izquierda de la actual desembocadura de la laguna y a un nivel superior al que este espejo de agua presenta en la actualidad. La superficie glaciaria y la posición del frente no diferían entonces, significativamente, de la máxima expansión alcanzada en la PEH; sin embargo, la pérdida de masa durante las primeras siete décadas del siglo XX habría producido un adelgazamiento notable que daría lugar en los años sucesivos al rápido retroceso. En la figura 4 se ilustra esta secuencia recesiva desde 1970 hasta el presente.

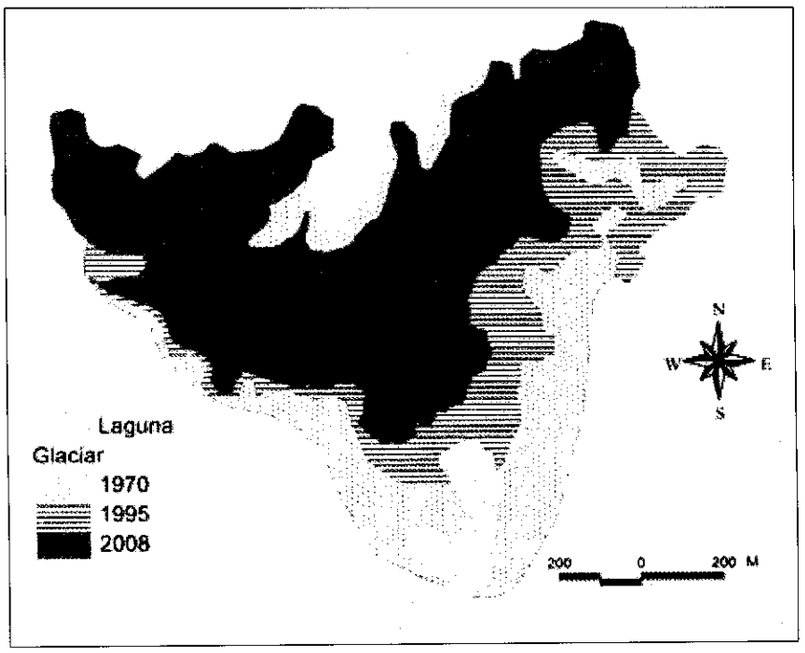


Figura 4. Recesión del glaciar Vinciguerra entre los años 1970 y 2008.

Poder Legislativo
FOLIO
Nº 41

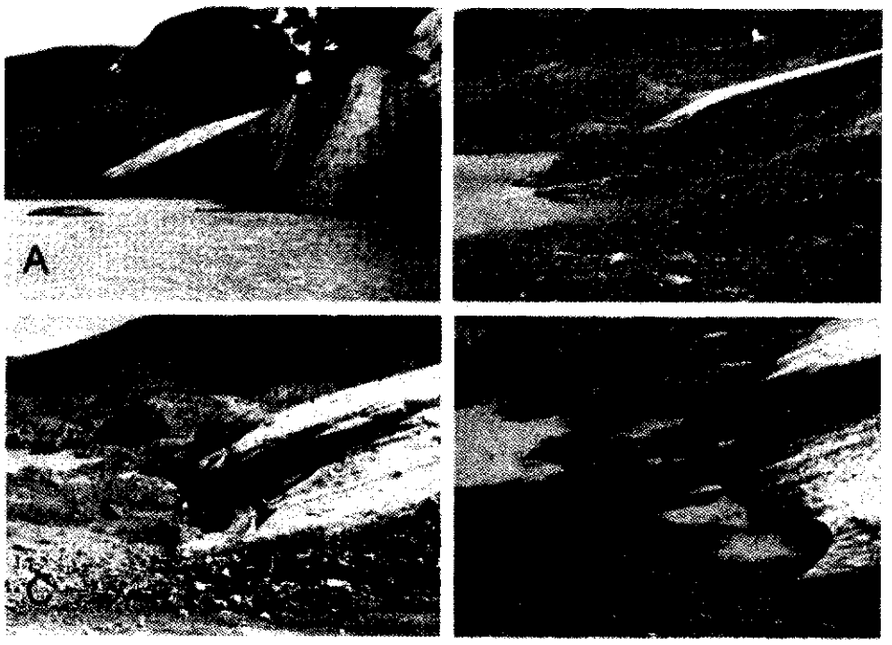


Figura 5. Cambios recientes en el frente del glaciar Vinciguerra. A: febrero de 1999; B: marzo de 2003; C: enero de 2005; D: abril de 2008.

Entre 1970 y 2008, la posición del frente retrocedió 460 m, resultando para el período un promedio de 12,1 ma^{-1}. Esta tasa fue de 11,5 m a^{-1} en el lapso 1970-2002 y se incrementó a 19,5 m a^{-1} en 2002-2008, debido sobre todo al adelgazamiento experimentado previamente en la zona de ablación. En la figura 5 se observan los cambios en la posición del frente entre 1999 y 2008.

Balance de masa

El monitoreo de cambios de la posición del frente y de la extensión de los glaciares permite evaluar con facilidad ciertos aspectos del comportamiento glaciario, pero la información resultante de este tipo de observaciones no es siempre un buen indicador de los cambios de masa y de los patrones climáticos del período precedente. En efecto, un glaciar puede perder espesor sin evidenciar cambios notables en su extensión, y tal adelgazamiento dar lugar a un rápido retroceso de la zona de ablación en décadas posteriores. Este

Poder Legislativo FOLIO Nº 42 Secretaría Legislativa

proceso puede inducir una estimación equívoca de las condiciones climáticas de los años previos si se procura relacionarlas directamente con la reducción del área englasada.

El balance de masa anual es una metodología muy apropiada para estudiar el comportamiento glacial en relación con los factores climáticos. No obstante, se requiere un esfuerzo considerable en materia de actividades de campo que debe sostenerse en el tiempo y que adquiere complejidad cuando los glaciares son extensos o cuando hay dificultades para el acceso o para el tránsito sobre el hielo. Se escogió el glaciar Vinciguerra para su monitoreo precisamente por presentar facilidades en tal sentido y por ser representativo de los glaciares de este sector de la cordillera.

La distribución espacial de la acumulación está vinculada a gradientes altitudinales de temperatura y precipitación, pero adicionalmente es relevante el transporte de la nieve producido por el viento, que da lugar a la formación de dunas y a sectores de erosión, donde el hielo queda descubierto la mayor parte del año.

Desde el comienzo de las observaciones en abril de 2003, hasta marzo de 2008 todos los años resultaron deficitarios (figura 6). El año 2004-2005 ha sido el más deficitario de la serie (-1610 mm a.e.). Se advierte en los últimos dos años una disminución de las pérdidas debido a un leve descenso de la temperatura y a un incremento en las precipitaciones. La ablación en las balizas más cercanas al frente varía entre 4 y 5 m de agua equivalente al año, sin que esta pérdida sea compensada por el flujo glaciario.

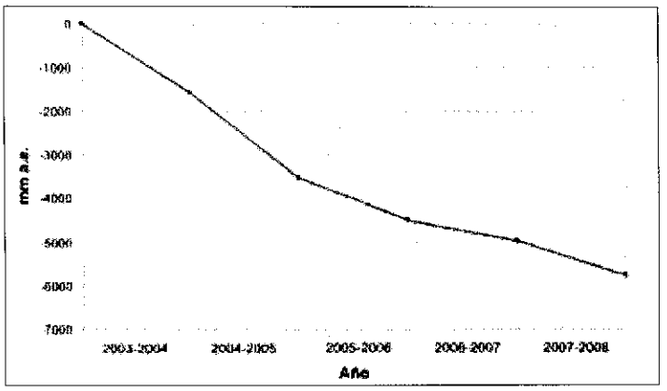


Figura 6. Balance de masa acumulativo del glaciar Vinciguerra, 2003-2004 y 2007-2008.

FOLIO
Nº 43

Discusión y conclusiones

Con las condiciones climáticas actuales, el glaciar Vinciguerra se encuentra sometido a un marcado desequilibrio. Los cambios más notables se manifestaron de 1970 al presente, a una tasa recesiva del frente de 12,1 m a^{-1}. Las evidencias del desarrollo alcanzado por el Vinciguerra durante la PEH indican que en este glaciar ha sido mucho más significativa la pérdida de superficie desde 1970 hasta la fecha que entre el máximo en la PEH y ese año.

Sin embargo, este notable retroceso no sólo se debe a condiciones climáticas desfavorables propias de este período sino que también es consecuencia del adelgazamiento progresivo que experimentó durante el transcurso de décadas anteriores.

La secuencia de años con déficit de balance promedio de 1150 mm a^{-1} y tasas de ablación del orden de 5000 mm en proximidades del frente lleva a inferir que a corto plazo se experimentarán cambios muy notorios en la zona de ablación, que producirán una alteración notable de la morfología del glaciar. Se está produciendo la manifestación de afloramientos en sectores intermedios del glaciar que podrían interrumpir el flujo hacia la lengua que se extiende bajo la cota 800 m; como consecuencia, se produciría la desaparición de ésta y la separación de las dos vertientes glaciarias. Será factible dar un pronóstico más preciso al respecto a partir de la determinación de espesores de hielo con técnicas de radar.

Resultados del balance de masa indican que la temperatura es más determinante sobre el comportamiento del glaciar que las precipitaciones. Teniendo en cuenta el déficit anual, sería necesario que se duplicase la precipitación anual para mantener el glaciar en condiciones estables con el régimen térmico actual, lo que implicaría cifras anuales muy inusuales. En contraste, una eventual reducción en la temperatura del semestre cálido del orden de seis décimas respecto del promedio histórico (equivalente al desvío estándar de la serie) daría lugar a condiciones de estabilidad. La precipitación registrada en Ushuaia en el año hidrológico 2006-2007, que totalizó 641 mm (datos de la cercana estación meteorológica de Cadic), fue la mayor en los últimos 25 años; con todo, esta condición no bastó para equilibrar el balance del glaciar en ese año.

FOLIO
44

La posición de la línea de equilibrio (ELA) ha fluctuado desde 2003 alrededor de1050 msnm. La bajan la relación del área de acumulación respecto al área total (AAR) y la relación entre el área de acumulación y el área de ablación, resultando un factor de 0,37, que explica en buena medida el desequilibrio en el balance de masa.

La generalidad de los glaciares situados en el sector argentino de Tierra del Fuego presenta similares condiciones recesivas, agudizadas en las últimas cuatro décadas, motivo por el cual es previsible la pronta desaparición de unidades localizadas en condiciones de exposición más desfavorables y la retracción de glaciares de mayor desarrollo, como el Vinciguerra, a posiciones más elevadas en los circos.

Agradecimientos

Queremos dar gracias a todos los que nos han ayudado desinteresadamente a transportar materiales y equipos hasta el ámbito del glaciar y colaboraron con la ejecución del monitoreo, entre ellos muy especialmente a Alvar Sobral, Roberto Sottini, Christian Fritz, Juan Presta, Pablo Huelin, Esteban Strelin, Julio Escobar e Ibai Rico Lozano. Los estudios descritos se han realizado en el marco de los proyectos "Glaciological Studies for the Planning of Water Uses in Climate Change Scenarios" (GEF-PNUMA) y "Monitoreo de glaciares vinculados a las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia" (UNPSJB). ■

Referencias bibliográficas

Aniya, M. (1999). Recent glacier variations of the hielos patagónicos, South America, and their contribution to sea-level change. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, *31*, 165-173.

Aniya, M. & Enomoto, H. (1986). Glacier variations and their causes in the Northern Patagonian Icefield, Chile since 1944. *Arctic. Alp. Res.*, *18*, 307-316.

Aniya, M., Sato, H., Naruse, R., Skvarca, P. & Casassa, G. (1997). Recent glacier variations in the Southern Patagonian Icefield, South America. *Arctic. Alp. Res.*, *29*, 1-12.

Buttstädt, M. (2008). Kalibrierung eines Gradtag-Modells für den Gletscher Martial Este, Feuerland, Argentinien, und Abschätzung der Massenbilanz 1960-2100. Tesis de maestría. Geographisches Institut der RWTH Aachen, Alemania. C. Schneider y R. Iturraspe (dirs.).

Casassa, G., Rivera, A. & Schwikowski, M. (2006). Glacier mass balance data for

southern South America (30 °S - 56 °S). In Knight, P. G. (ed.). *Glacier Science and Environmental Change*, pp. 239-241. Oxford, UK: Blackwell.

Clapperton, C. M. & Sugden, D. E. (1988). Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. *Quat. Sci. Rev., 7*, 185-198.

Holmlund, P. & Fuenzalida, H. (1995). Anomalous glacier responses to 20th century climatic changes in Darwin Cordillera, southern Chile. *Journal of Glaciology, 41*, 465-473.

Kaser, G., Fountain, A. & Jansson, P. (2003). A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers with particular attention to low latitude characteristics. A contribution from the International Commission on Snow and Ice (ICSI) to the Unesco-HKH-Friend program. Unesco IHP-VI, Technical Document 59.

Iturraspe, R. & Strelin, J. (2002). Dinámica de procesos y geoformas vinculadas al retroceso del glaciar O'Higgins, campo de hielo Patagónico Sur. Chile. *Anales Instituto de la Patagonia, 30*, 13-24. Serie Ciencias Naturales. Punta Arenas: Universidad de Magallanes.

Iturraspe, R. J. & Strelin, J. (2005, mayo). Resultados de estudios glaciológicos y nivológicos en el glaciar Martial, Tierra del Fuego. *Anales XX Congreso Nacional del Agua*. Mendoza. Publicado en CD.

Iturraspe, R. J., Urciuolo, A., Guerrero Borges, V., Gaviño Novillo, M., Collado, L., Sarandón, R. & Burns, S. (2007). Report on basin response for Argentina. D18 Epic Force Project-INCO-CT2004-510739. http://www.ceg.ncl.ac.uk/epicforce/deliverables.htm

Kuylenstierna, J. L., Rosqvist, G. C. & Holmlund, P. (1996). Late-Holocene glacier variations in the Cordillera Darwin, Tierra del Fuego, Chile. *The Holocene, 6*, 353-358.

Lliboutry, L. (1965). *Traité de Glaciologie*, 2. París: Masson & Cie., 1040 pp.

Olivero, E. & Martinioni, D. (2001). A review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. *Journal of South American Earth Sciences, 14*, 175-188.

Planas, X., Aurea Ponsa, A., Coronato A. & Rabassa, J. (2002). Geomorphological evidence of different glacial stages in the Martial cirque, Fuegian Andes, southernmost South America. *Quaternary International, 87*, 19-27.

Porter, C. & Santana, A. (2003). Rapid 20th century retreat of Ventisquero Marinelli in the Cordillera Darwin Icefield. *Anales Instituto Patagonia. 31*, 17-26. Serie Ciencias Naturales, Chile.

Rabassa, J., Bujalesky, G., Meglioli, A., Coronato A., Gordillo, S., Roig, C. & Salemme, M. (1992). The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina. The status of our knowledge. *Sveriges Geologiska Undersokning, Ser. Ca 81*, pp. 249-256.

Rabassa, J., Coronato, A., Bujalesky G., Salemme M., Roig, C., Meglioli, A., Borromei A., Quatroccio, M., Heusser, C., Roig, F. & Gordillo, S. (2000). Quaternary of Tierra del Fuego, Shou-

POLAR Nº 46

thernmost South America: an updated review. *Quaternary International, 68*(71), 217-240.

Rignot, E., Rivera, A. & Casassa, G. (2003). Contribution of the Patagonia Icefields of South America to Global Sea Level Rise. *Science, 302*, 434-437.

Rivera, A., Lange, H., Aravena, J. C. & Casassa, G. (1997). The 20th century advances of Glaciar Pio XI, Chilean Patagonia. *Ann. Glaciol., 24*, 66-71.

Rivera, A., Benham, T., Casassa, G., Bamber, J. & Dowdeswell, J. (2007). Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile. *Global and Planetary Change, 59*, 126-137.

Schneider, C., Schnirch, M., Casassa, G., Acuña, C. & Kilian, R. (2007). Glaciology at Gran Campo Nevado (53°S), Chile-Part II: glacier inventory and glacier change during recent decades. *Global and Planetary Change, 58*.

Skvarca, P., De Angelis, H., Naruse, R., Warren, C.R. & Aniya. M. (2002). Calving rates in freshwater: new data from southern Patagonia. *Annals of Glaciology, 34*, 379-384.

Skvarca, P., Raup, B. & De Angelis, H. (2003). Recent behaviour of Glaciar Upsala, a fast flowing calving glacier in Lago Argentino, Southern Patagonia. *Annals of Glaciology, 36*, 184-188.

Strelin, J., Casassa, G., Rosqvist, G. & Holmund, P. (2008). Holocene glaciations in the Ema Glacier Valley, Monte Sarmiento Massif, Tierra del Fuego. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology, 206*(3-4), 299-314.

Strelin, J. & Iturraspe, R. J. (2002). La cuenca glacionival del glaciar Martial. En *Actas Conf. Transcontinental High Summit 2002*, Mendoza, 6-10/5/2002. Publicado en CD.

Strelin, J. & Iturraspe, R. (2007). Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental. *Global and Planetary Change,59*, 17-26 .

Tuhkanen, S. (1992). The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica,145*, 1-64.

Warren, C. R. (1993). Rapid recent fluctuations of the calving San Rafael glacier, Chilean Patagonia: climatic or nonclimatic? *Geografiska Annaler, 75A*, 111-125.

Warren, C. & Aniya, M. (1999). The calving glaciers of southern South America. *Global and Planetary Change, 22*, 59-77.

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARIA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GRAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO Nº 47

NOTA Nº
LETRA: DGRH

Ushuaia, 10 de Noviembre de 2009

Sr. Director de Ingeniería:

Me dirijo a Ud. con el fin de remitirle informe relativo a caudales de cursos que constituyen fuentes de agua para la ciudad de Ushuaia, solicitado mediante Nota 1014/09.

Sin otro particular, saludo a Ud. atentamente.

Ing. Rodolfo Iturraspe
Dir. Manejo de Cuencas
DGRH-SDSyA

ING. MARIO PRADO
DIRECTOR DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN PROVINCIAL DE OBRAS
Y SERVICIOS SANITARIOS.
Gdor. Campos 133. Ushuaia. Tierra del Fuego
S / D

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARIA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GRAL DE RECURSOS HIDRICOS

FOLIO
Nº 48

INFORME:
RESUMEN HIDROLÓGICO SOBRE CURSOS DE AGUA QUE CONSTITUYEN FUENTES DE AGUA DE LA CIUDAD DE USHUAIA (ACTUALES O POTENCIALES)

- Todas las magnitudes de caudal están expresadas en m3/s
- Para el caso del Arroyo Grande se consideran los valores correspondientes a la toma actual y a la toma proyectada en cota 175m

Tabla 1- Caudales medios mensuales

Curso	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Año
Buena Esperanza	0.282	0.214	0.129	0.108	0.153	0.203	0.364	0.573	0.720	0.537	0.329	0.269	0.323
Arroyo Grande (toma)	3.24	2.09	1.5	1.67	1.35	3.12	4.93	6.58	6.57	5.04	5.1	3.34	3.709
Arroyo Grande cota 175 (estimado)	2.75	1.77	1.28	1.42	1.14	2.65	4.19	5.59	5.58	4.28	4.34	2.84	3.153
Río Pipo	3.3	2.2	1.9	1.8	1.6	3.4	5.3	6.9	6.7	5.5	5.2	3.5	3.942
Río Olivia	4.8	3	2.18	2.09	2.06	5.08	7.5	9.63	9.56	6.68	7.42	4.02	5.335
Chorrillo Este (estimado)	0.07	0.06	0.04	0.04	0.05	0.1	0.15	0.18	0.14	0.12	0.11	0.08	0.095

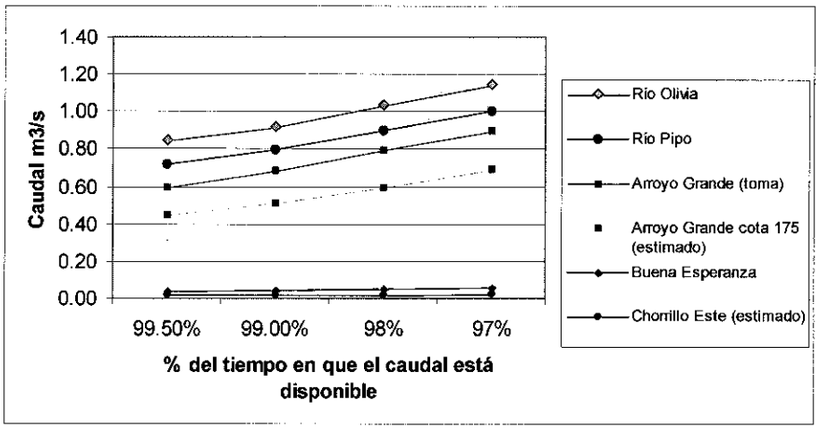
Tabla 2.- Caudales medios diarios mínimos absolutos en diez años de observación.

	Curso	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
1	Buena Esperanza	0.070	0.058	0.040	0.030	0.035	0.032	0.850	0.150	0.180	0.130	0.090	0.078
2	Arroyo Grande (toma)	1.25	0.87	0.5	0.45	0.5	0.45	2.19	2.78	2.58	2.7	2	1.65
2-b	Arroyo Grande cota 175 (estimado)	1	0.7	0.4	0.36	0.4	0.36	1.75	2.36	2.19	2.3	1.7	1.4
3	Río Pipo	0.9	0.8	0.6	0.6	0.6	0.65	2.3	2.9	2.8	2.8	1.9	1.6
4	Río Olivia	0.75	1.35	0.81	0.72	0.81	0.9	3.1	3.39	3.4	3	2.83	1.86
5	Chorrillo Este (estimado)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02
	Disponibilidad en situación crítica (1,2b,3,4,5)	**2.738**	**2.919**	**1.860**	**1.720**	**1.856**	**1.962**	**8.045**	**8.854**	**8.623**	**8.255**	**6.540**	**4.961**

Poder Legislativo
FOLIO
Nº 49

Tabla 2.- Frecuencias de caudales.
Caudales garantizados durante el porcentaje de tiempo indicado

Curso	99.50%	99.00%	98%	97%
Buena Esperanza	0.040	0.045	0.054	0.060
Arroyo Grande (toma)	0.60	0.69	0.80	0.90
Arroyo Grande cota 175 (estimado)	0.45	0.52	0.60	0.69
Río Pipo	0.70	0.79	0.89	0.99
Río Olivia	0.85	0.92	1.03	1.14
Chorrillo Este (estimado)	0.017	0.019	0.021	0.024
Disponibilidad total (considerando la cota 175 como futura toma en A. Grande)	2.057	2.289	2.599	2.911



Caudales máximos R=50 años

Curso	m^3/s
Buena Esperanza	10
Arroyo Grande (toma)	50
Arroyo Grande en cota 175 (estimado)	45
Río Pipo	59
Río Olivia	70
Chorrillo Este	4.8

Provincia de Tierra del Fuego, Antártida
e Islas del Atlántico Sur
República Argentina
SECRETARIA DE DESARROLLO
SUSTENTABLE Y AMBIENTE
DIRECCIÓN GRAL DE RECURSOS HIDRICOS

Poder Legislativo
FOLIO
50

Potenciales cambios en el régimen de los cursos de agua.

Los cursos mencionados responden a un régimen pluvio-nival, presentando además aportes glaciarios en la mayoría de los casos (con la excepción del Chorrillo Este)

Ante el comportamiento recesivo que presentan los glaciares por consecuencia del calentamiento global, es previsible una reducción significativa de éstos en el mediano plazo (20 años) y la posible desaparición de parte de los mismos en el largo plazo (50 años o más), en caso de que se verifiquen escenarios de cambio climático considerados por el IPCC, que prevén un incremento de la temperatura de al menos dos grados para fines del presente siglo.

Esta Dirección está concluyendo los estudios realizados en el marco del proyecto financiado por GEF- PNUMA denominado "Estudios Glaciológicos para la planificación de usos del agua en Escenarios de Cambio Climático" desarrollado con apoyo de otras instituciones locales y nacionales.

Los resultados obtenidos indican que debido a la reducida extensión de los glaciares en las cuencas de interés éstos constituyen una fuente de aportes de moderada a baja importancia en el contexto del escurrimiento total de los cursos de agua, resultando los aportes más importantes los procedentes de las lluvias y de la fusión de la nieve estacional.

Los aportes glaciarios merecen consideración exclusivamente durante los meses de verano, en los cuales tal contribución alcanza a proporciones que fluctúan entre el 10 y el 25% como promedio en estos meses, aunque estas proporciones pueden duplicarse durante períodos menores (del orden semanal), ante situaciones excepcionalmente cálidas y secas.

Esta posible reducción en los meses de verano no alteraría los valores mínimos anuales, que se producen en invierno, por cuanto los glaciares no producen aportes al sistema de escurrimiento durante el invierno, ya que son las áreas medias y bajas de las cuencas las que contribuyen en este período. Aún en caso de reducción de aportes glaciarios por su eventual desaparición, los caudales de verano continuarían siendo superiores a los que actualmente se dan en la época invernal.

Teniendo en cuenta que la planificación de usos del agua por parte de la Dirección General de Recursos Hídricos considera como uso prioritario el destinado al abastecimiento a poblaciones, la potencial merma en meses de verano, sólo afectaría a potenciales usos de otra índole (hidroelectricidad, riego, uso industrial, etc.) que eventualmente podrían considerarse para aprovechamiento de los excedentes del uso para agua potable.

Los caudales críticos, originados por los períodos más fríos de la época invernal no registrarían disminuciones respecto de los actuales, e incluso los mínimos absolutos indicados en Tabla 2 podrían verse incrementados debido a la posibilidad de condiciones invernales menos rigurosas.

Eventuales cambios más significativos en la futura disponibilidad de agua estarían asociados a cambios drásticos en el régimen de precipitaciones, ya sea en su total anual o en su distribución estacional. Sin embargo no hay evidencias que indiquen que tal situación pudiera tener lugar.

RESULTADOS DE ESTUDIOS GLACIOLÓGICOS Y NIVOLÓGICOS EN EL GLACIAR MARTIAL, TIERRA DEL FUEGO.

Rodolfo J. Iturraspe y Jorge Strelin
Dirección de Recursos Hídricos, Gobierno de Tierra del Fuego.
Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC - CONICET)
Instituto Antártico Argentino
San Martín 1401, (9410) Ushuaia. Tel/Fax 02901- 422576 iturraspe@tdfuego.com
Congreso Nacional del Agua, Mendoza 2005, Argentina

RESUMEN

El comportamiento de los ríos de la cordillera fueguina reviste cierta complejidad en su análisis y modelación debido al carácter pluvial, nival, y glacial de los aportes en las cuencas, verificándose además un significativo gradiente altitudinal de precipitaciones. En este contexto, los glaciares de montaña tienen significativa influencia en la hidrología zonal, aunque sus magnitudes sean reducidas. A fines de estudiar el comportamiento de estas unidades, fueron realizados estudios glaciológicos y nivológicos en el glaciar Martial Este, uno de los cuerpos situado en el cordón montañoso homónimo, próximo a Ushuaia.

Los objetivos están dirigidos a la definición de parámetros hidrológicos que aporten conclusiones relativas al comportamiento de los glaciares regionales, a la evaluación de características de la acumulación de nieve en ambientes glaciarios de las cuencas de montaña de la cordillera Fueguina y al análisis de la recesión glacial que tuvo lugar durante el siglo XX en la región.

Los estudios realizados se basan en el monitoreo de este glaciar piloto. Mediante mediciones mensuales de densidad y altura de nieve sobre estacas en zonas de ablación y acumulación se determinaron los balances de masa durante cuatro años hidrológicos consecutivos desde abril de 2000.

Salvo en el ciclo 2000/2001 estos años fueron deficitarios, observándose una tasa máxima de ablación durante el verano 2003/2004. Estos resultados implican la persistencia de la tendencia recesiva observada en el período 1984-1998, durante el cual la pérdida de espesor fue de 7m, un 15% del espesor total del glaciar estimado.

La máxima acumulación anual tiende a producirse entre noviembre y diciembre, luego de la desaparición del manto de nieve estacional de los valles de montaña, favoreciendo la distribución de los aportes al escurrimiento en el año. La contribución de glaciares es más significativa en enero-marzo, cuando el balance hídrico suele ser deficitario por el incremento de la evapotranspiración. Debido a la persistente recesión glacial es esperable una reducción de estos aportes reguladores en caso de continuidad de las tendencias climáticas actuales, lo cual deberá ser considerado en la planificación hídrica local ya que estos cursos de cordillera constituyen las fuentes de agua de la ciudad de Ushuaia.

Palabras clave: glaciar, balance de masa, nieve, Tierra del Fuego.

FOLIO
Nº 52

INTRODUCCIÓN

Los cursos de la Provincia de Tierra del Fuego que presentan cabeceras en la Cordillera Fueguina reciben aportes procedentes de glaciares que contribuyen al escurrimiento superficial, especialmente durante la época estival, luego del agotamiento de la nieve estacional (Iturraspe et al, 2000). Entre éstos se encuentran los que constiyen las fuentes del agua de la ciudad de Ushuaia y áreas suburbanas: A°. Grande, Río Olivia y Río Pipo y A°. Buena Esperanza, (Figura1) éste último, recibe aportes de pequeños glaciares situados en el cordón Martial, que conforma la cabecera de la cuenca. Uno de ellos, el glaciar Martial Este, ha sido especialmente estudiado como glaciar piloto.

Durante el transcurso del siglo XX el calentamiento global ha afectado al clima de la región, si bien predominan las tendencias positivas, no hay un patrón uniforme para todas las estaciones (Rosenblüth et al, 1997). Pese a la escasez de información correspondiente a estaciones de altura en la cordillera Patagónica, el retroceso en la mayoría de los cuerpos de hielo indica una tendencia positiva en la temperatura y/o disminución de las precipitaciones en las áreas de acumulación. Estudios realizados por Rignot et al, 2003, sobre 63 glaciares de los campos de Hielo Patagónico Norte y Sur concluyen en que la ablación experimentada por éstos produjo una elevación en el nivel del mar de 0.042 mm/año a lo largo del período 1968/1975-2000, duplicándose esta tasa entre 1995-2000, cuando alcanzó a 0.105 mm/año. Esta tendencia recesiva ha sido propia también de los pequeños glaciares del sector argentino de la Isla Grande de Tierra del Fuego, durante el siglo XX, y en forma notoria y sostenida a partir de la década del 70 (Strelin et al, 2002), (Iturraspe et al, 2004). En el caso de la cuenca del A°. Buena Esperanza se ha constatado una pérdida del 70 % de la superficie englasada durante los últimos cien años. (Strelin e Iturraspe, 2002). Previamente se había mantenido relativamente estable, luego del avance experimentado en la Pequeña Edad de Hielo, algo más de 300 años antes del presente.

Tales cambios indudablemente están afectando el régimen del escurrimiento en los cursos de agua, surgiendo interrogantes a futuro en tal sentido. Es objetivo del presente trabajo presentar los avances obtenidos en el conocimiento del comportamiento del glaciar piloto Martial Este, evaluar cuantitativamente sus aportes al escurrimiento a partir de información resultante del monitoreo y correlacionar éstos con la variable grado-día. De tal manera se pretende aportar al conocimiento del funcionamiento hidrológico de las cuencas de la cordillera Fueguina y aportar parámetros para la modelación de procesos hidrológicos.

El glaciar Martial Este (Figura 2) es uno de los cuatro cuerpos principales que se encuentran en la cuenca del arroyo Buena Esperanza. La Tabla 1 muestra un resumen de las características físicas del glaciar piloto y de la cuenca de estudio.

FOLIO 59

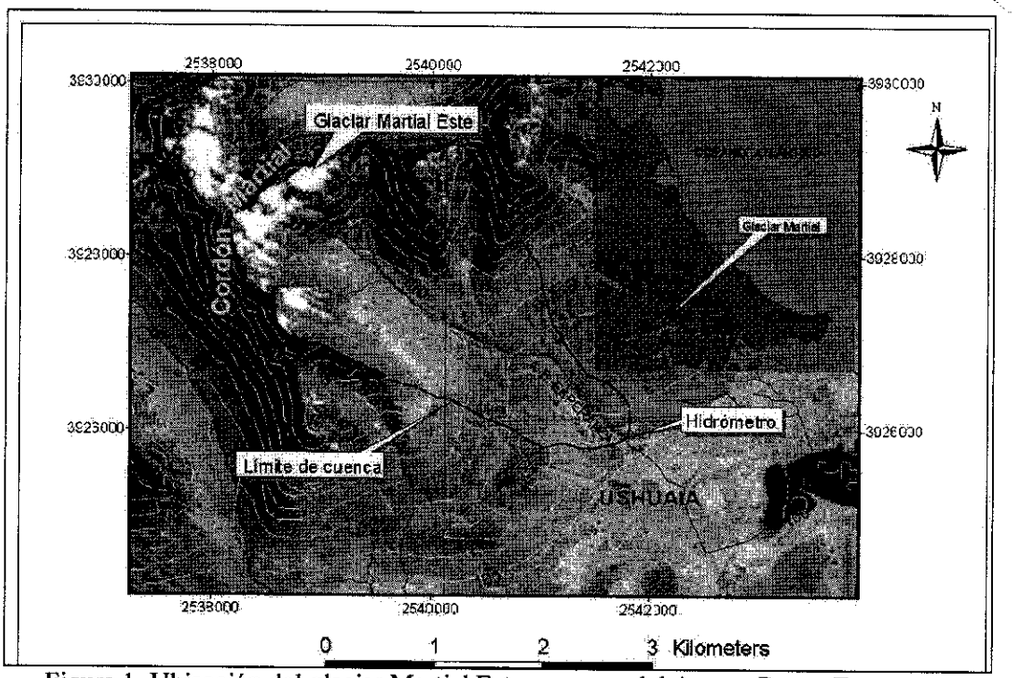


Figura 1. Ubicación del glaciar Martial Este y cuenca del Arroyo Buena Esperanza.

Figura 2. Vista del glaciar Martial Este (abril de 2002)

Tabla 1. Características físicas del glaciar Martial Este y de la cuenca del A° Buena Esperanza.

Superficie glaciar Martial Este	9,3 ha
Cota inferior	1000 m s.n.m.
Cota superior	1180 m s.n.m.
Superficie cuenca A° Buena Esperanza	16,56 km^2
Superficie total cuerpos glaciarios de la cuenca	47 ha
Caudal medio anual A° Buena Esperanza	330 l/s
Precipitación anual a nivel del mar 1980-2004	510 mm
Precipitación anual a nivel del glaciar piloto	1400 mm

MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo del Glaciar Martial incluye la determinación de balances de masa (Lliboutry, 1965) empleando el método glaciológico de balance, observando recomendaciones de Kaser et al, 2003.

Para ello, utilizando una perforadora a vapor, según se aprecia en Figura 3, se instalaron doce cañas en la superficie glaciaria. siete en la zona de ablación y cinco en la de acumulación, con el objeto de referenciar mediciones mensuales de altura y determinaciones de densidad in situ de nieve/hielo. Por integración espacial se determinan las variaciones de masa mensuales y anuales. Semestralmente se realizan calicatas en la zona de acumulación hasta alcanzar el nivel correspondiente al inicio del año hidrológico (Figura 4). Así es posible corroborar y ajustar la información basada en las observaciones mensuales.

Figura 3. Perforación de la superficie de hielo utilizando vapor a presión para la colocación de cañas en zona de ablación.

Figura 4. Ejecución de calicata y determinación de densidad de la nieve en el perfil vertical.

Se dispone de información climática de una estación instalada en 1998 a pocos metros del frente glaciario (980 m snm), que presenta buena correlación con los datos a nivel del mar correspondientes a la ciudad de Ushuaia, debido a su proximidad.

La buena densidad de puntos de observación proporciona una adecuada precisión en los balances, estimándose un error inferior a +/- 20 mm en agua equivalente. El balance anual neto Bn se obtiene mediante la ecuación 1:

$$Bn = B1 + B2 \qquad (1)$$

B1: balance de acumulación, correspondiente al período abril- octubre
B2: balance de ablación, correspondiente a noviembre-marzo, completando el ciclo hidrológico abril-marzo.

Asimismo se han determinado mensualmente las variaciones de masa en el glaciar, que han permitido evaluar , los aportes al escurrimiento de origen glaciario aplicando la ecuación 2:

$$S1 - S0 = P - R - S - E \qquad (2)$$

FOLIO 55

S1: almacenamiento en el tiempo 1
S0: almacenamiento en el tiempo 0
P: precipitación en el intervalo 0-1
R: escurrimiento aportado por el glaciar en el intervalo
S: pérdidas por sublimación en el intervalo
E: Pérdidas por evaporación en el intervalo

S y E mantienen valores bajos en altas latitudes, especialmente en glaciares de circo en donde la exposición al viento y a la radiación solar directa es reducida, motivo por el cual es posible abreviar la expresión anterior resultando las ecuaciones 3 y 4

$$S1 - S0 = P - R \quad (3)$$
$$R = S1 - S0 + P \quad (4)$$

En invierno la acumulación es netamente dominante y la componente R tiende a cero. La ecuación (3) se reduce en este caso a:

$$S1 - S0 = P \quad (5)$$

RESULTADOS

El período 2000-2004 de monitoreo del glaciar Martial Este presenta contrastes climáticos a nivel anual. La Figura 5 muestra la evolución del almacenamiento en el tiempo a partir de la integración de la información recogida en los 12 puntos de medición, usando como base de referencia el estado inicial, en abril de 2000. El ciclo 2000-2001 fue excepcionalmente húmedo y frío, particularmente durante la primavera y verano, dando lugar a un balance positivo. Los años subsiguientes tuvieron balance de masa deficitario, especialmente 2003-2004 por consecuencia de un verano muy cálido.

Los picos de acumulación estacional se verifican a principios de noviembre, pudiendo ocurrir un retardo en caso de una primavera húmeda y fría, como la de 2000. La media anual de acumulación estacional fue de 808mm durante el período de estudio, registrándose un máximo de 1140 mm en el año hidrológico 2000-01.

A partir de datos obtenidos en la Estación Martial se determinaron las secuencias anuales acumulativas grado-día positivo y negativo, sumando separadamente medias diarias positivas y negativas (Figura 6). Los datos de temperatura fueron corregidos sumando la constante –0.6 °C para considerar la situación en el baricentro del glaciar, 100 m sobre el nivel de dicha estación. La variable grado-día positiva en un intervalo dado es utilizada con frecuencia en modelos de ablación ya que su determinación es sencilla, en tanto que la negativa, que adquiere en esta caso mayor magnitud, es indicadora de situaciones de actividad criogénica y existencia de permafrost (Harris, 1980).

POLIO
56

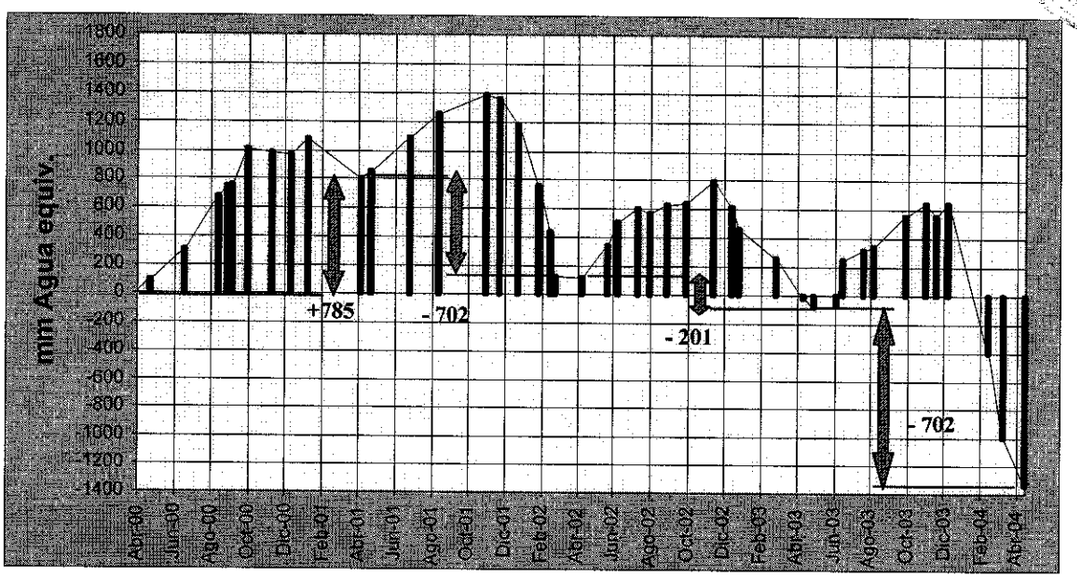


Figura 5. Balance de masa del glaciar Martial Este, período: 2000-2004. Las flechas indican los resultados de los balances anuales.

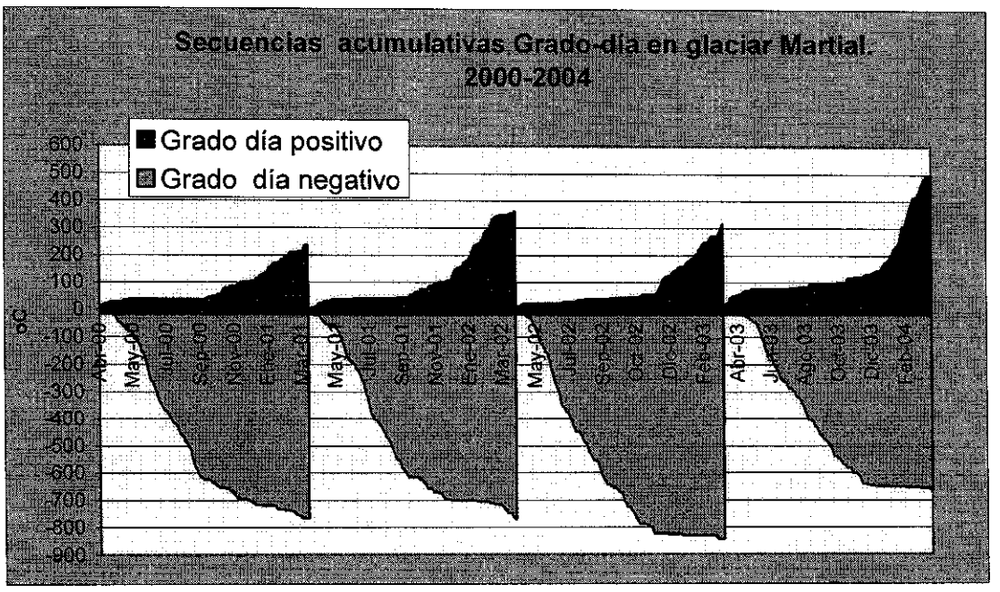


Figura 6. Series anuales acumulativas grado día positivo y negativo en glaciar Martial Este.

FOLIO 57

La Figura 7 muestra la pérdida de almacenamiento a lo largo de cada verano. Estos valores corresponde a diferencias S1-S0 y no al aporte total R de la ecuación 4, por cuanto no consideran las precipitaciones ocurridas durante cada período. Se aprecia que las pérdidas de masa se producen a partir de noviembre y que salvo en el caso de 2000, en que la acumulación continuó hasta fin de diciembre, las intensidades no presentaron contrastes interanuales durante noviembre y diciembre. En estos meses la pérdida es del orden de 200 mm/mes.

A partir de enero, en cada año se dan diferentes condiciones. El ciclo 2003-04, acumuló una máxima caída de 2058,mm en concordancia con el mayor valor anual acumulativo grado-día, respecto de los años precedentes, según se aprecia en la Figura 6. La pérdida de masa en febrero de febrero de 2004 fue de 750 mm a.e.

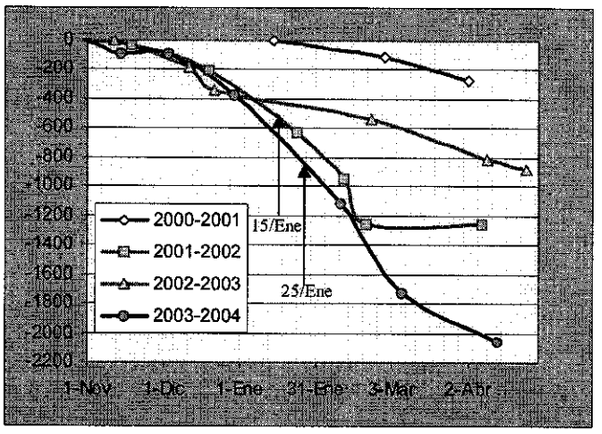


Figura 7. Pérdidas de masa durante el período estival en el glaciar Martial. Las flechas indican el momento del agotamiento de la acumulación estacional en los dos años más deficitarios. Las pérdidas posteriores a las fechas indicadas implican reducción neta de masa glaciaria.

La figura 8 muestra la variación de la línea de equilibro (L.E.) para los cuatro años de estudio. Se ha observado que debido al estrecho rango altitudinal, el glaciar acumula o pierde masa en toda su extensión en ciclos extremos como 2000-01 o 2003-04 respectivamente. En tales casos la posición de la L.E se determinó por extrapolación. En años en que el balance resulta aproximadamente equilibrado, como en 2002-03, la L.E se sitúa aproximadamente a 1100 m s.n.m.. La altura promedio para los cuatro años es de 1120m s.n.m. La media anual de temperatura en el período observado en Estación Martial, a 980 m s.n.m. es de – 0.6 °C. Teniendo en cuenta un gradiente de –0.55 °C /100m (Puigdefabregas et al, 1988), puede considerarse la isoterma de 0 ° a 870 m. s.n.m.

FOLIO
390

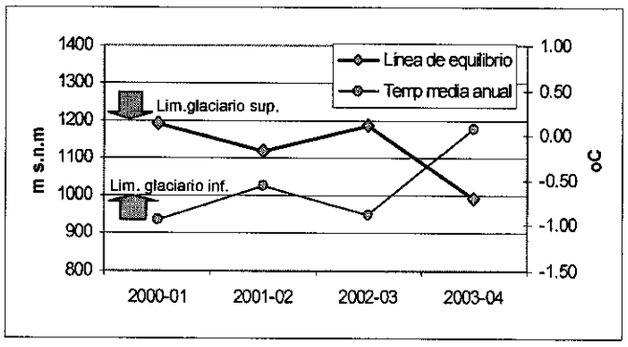


Figura 8. Variación anual de la línea de equilibrio comparada con la media anual en la estación Martial (980 m s.n.m.) en el período 2000-2004.

Calibración del factor grado-día

La frecuencia de las observaciones realizadas ha permitido definir pares de valores grado-día y ablación A durante cada período. A y R difieren en el caso en que se verifiquen precipitaciones líquidas significativas sobre hielo descubierto o con poca cobertura de nieve. En tales situaciones, no muy frecuentes, pero que tuvieron significación en diciembre de 2003 y enero/2004, se dedujeron los valores de precipitación líquida, estimados en base a la temperatura. El factor obtenido, a partir de un satisfactorio ajuste (R^2=0.91) indica que por grado día acumulado en un período, se produce una ablación de 5.7 mm agua equivalente (a.e.) (Figura 9)

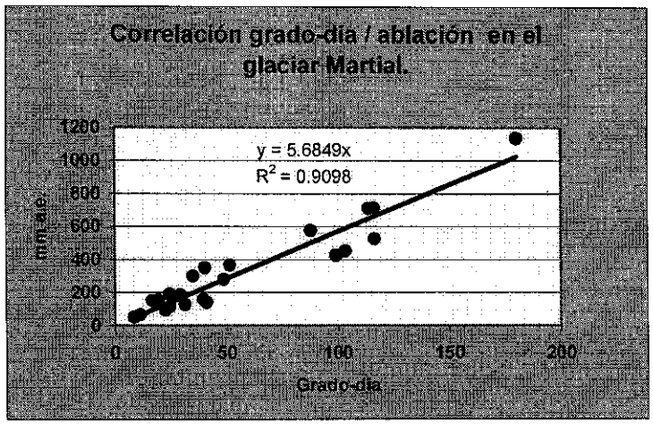


Figura 9 Calibración del factor grado-día por regresión lineal.

FOLIO 59

CONCLUSIONES

El promedio de adelgazamiento de este cuerpo glaciario en el período 2000-2004 ha sido de 344 mm/año, inferior al de 1984-1998, de 450 mm/año, determinados a partir de relevamientos taquimétricos de la superficie glaciaria realizados en 1984 y 1998 (Strelin e Iturraspe, 2003). Tal diferencia está relacionada con una disminución de la temperatura media en Ushuaia de 0.5 °C, respecto del anterior período de referencia, de características muy cálidas.

El período de cuatro años de balance incluye ciclos relativamente extremos, de acuerdo a registros de Ushuaia. El año 2000/01 fue el segundo más frío en el período 1977-2003, en tanto que el 2003-2004, presentó una máxima diaria de 28 °C, que es un máximo histórico de la segunda mitad del siglo pasado. EL verano fue asimismo excepcionalmente cálido. En consecuencia, el balance neto positivo de 805 mm a.e. en 2000/01 y la pérdida de 1256 mm a.e. en 2003/04 definen de alguna manera un rango de variabilidad del balance anual en este tipo de glaciares. Durante este último ciclo, el aporte en mm correspondiente a febrero-marzo extensivo a los demás glaciares de la cuenca fue equivalente al 30 % del caudal medio de dichos meses

Se ha observado una buena correlación (R^2=0.91) entre las variable grado día y ablación. El factor de 5.7 mm a.e./grado-día determinado por regresión lineal es un resultado de significativa aplicación en la modelación simplificada del comportamiento de glaciares de la región. No obstante es necesario continuar realizando observaciones, en especial en períodos libres de precipitación, dada la dificultad de medición de esta variable en el ambiente glaciario.

El comportamiento descripto relativo a los procesos de acumulación y ablación, puede ser extensivo a nichos de nivación ubicados en la cordillera sobre los 900 m s.n.m. especialmente aquellos que ocupan circos glaciarios en los que el hielo permanente ha desaparecido.

Los pequeños glaciares de circo de la cordillera Fueguina oriental son de interés tanto por su importancia en la hidrología local como por ser buenos indicadores del cambio climático, dada la rápida respuesta a este tipo de fluctuaciones. Glaciares de mayor magnitud como los de Cordillera Darwin y los del Campo de Hielo Patagónico, tienden a correlacionarse con fluctuaciones de mayor ciclo. Indudablemente es conveniente la consideración de ambos aspectos.

BIBLIOGRAFÍA

Harris, S.A. (1981). "*Distribution of active glaciers and rock glaciers compared to the distribution of permafrost landforms, based on freezing and thawing indices*". Canadian Journal of Earth Sciences, 18, pp. 376-381.

Iturraspe R.; R. Sottini; C. Schroder, J. Escobar. (1989). *"Generación de información hidroclimatica en Tierra del Fuego*". Contr. Cient. 7, CADIC, Ushuaia, 4 -170.

Kaser, G., A. Fountain, P. Jansson. 2003. *"A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers*". Technical Documents in Hydrology, 59, UNESCO, Paris, 106 pp.

Lliboutry, L. (1965) *"Traité de Glaciologie*", 2. Masson & Cie., Paris, 1040 pp.

Puigdefábregas, J.; G.del Barrio y R. Iturraspe. (1988) *"Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al limite superior del bosque*". Pirineos 132, Pags 37 - 48. Jaca - Inst. Pirenaico de Ecología- Consejo Sup. de Inv. Cient. ESPAÑA.

Rignot, E.; A. Rivera, G. Casassa. (2003). *"Contribution of the Patagonia Icefields of South America to Sea Level Rise*". Science, 10/17/2003, Vol. 302 Issue 5644, p434

Rosenblüth, B.; H. A. Fuenzalida,.; P. Aceituno (1997). *"Recent temperature variations in southern South America*" Int. J. Climatol.; 1997 Vol. 17, p67.

FOLIO 60/60 Nº

Strelin, J. y R. Iturraspe. (2002). "*La cuenca glacionival del glaciar Martial*". En: Actas Conferencia Transcontinental High Summit 2002, Mendoza, 6 al 10/5/2002. Public. en CD.

Strelin, J y R. Iturraspe (2003). "*Recent evolution and mass balance of Martial glacier, Eastern Fuegian Cordillera*". Symposium on Mass Balance of Andean Glaciers. 12 al 14 de marzo de 2003. Valdivia, Chile.