



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

**SITUACION DE LOS GLACIARES
DEL ESTERO APAREJO.
RIO YESO**

REALIZADO POR:

HUMBERTO PEÑA

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
C H I L E

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

SITUACION DE LOS GLACIARES DEL ESTERO APAREJO. RIO YESO

I. Antecedentes

El presente Informe tiene por objetivo dar a conocer los antecedentes recogidos a la fecha por el Depto. de Hidrología, referentes a la situación de los glaciares del Estero Aparejo. En especial se analizarán:

- Las causas de los desplazamientos.
- La situación actual y posibilidad de nuevos desplazamientos.
- El riesgo potencial para el Embalse El Yeso.
- Los programas de control actualmente en desarrollo.
- La situación de otros glaciares y su relación con el Embalse El Yeso.

Se han podido utilizar solamente algunos antecedentes existentes en el Servicio (fotografías, inventario) y las observaciones realizadas durante 2 visitas a terreno. La primera se efectuó el día 13 de marzo en compañía del glaciólogo Sr. Marangunic, y tuvo una duración de 2 horas (helicóptero). La segunda se realizó entre los días 26 y 31 de marzo (por tierra). En el presente informe no se utilizan los antecedentes topográficos y fotográficos recogidos en la segunda visita, los que se incluirán junto a otros datos, en un informe posterior.

2. Descripción geográfica

El estero Aparejo es un pequeño cauce de agua que drena una cuenca de 15 Kms², de dirección norte-sur y que confluye perpendicularmente al valle del río Yeso en un punto ubicado a .9 Km. aguas arriba del muro del Embalse El Yeso. Sus caudales fluctúan entre 0.3 m³/s y 2.5 m³/s., siendo su promedio en la estación de verano del orden de 1.0 m³/s.

C H I L E

El estero se forma por la confluencia de los arroyos originados en 2 pequeños glaciares (glaciares N° 50 y N° 51, del río Yeso. Inventario de los Glaciares. Hoya del río Maipo. D.G.A. 1979). A partir de ese punto recorre 3.6 Km., con una pendiente del 15% aproximadamente, hasta el valle del Yeso, donde escurre por el borde norte del valle por 2 Km. antes de juntarse definitivamente con el río Yeso.

El relieve de la cuenca es muy abrupto, destacando el cerro Aparejo (4.795 m.s.n.m.) que cierra la cuenca por el norte, y que es la culminación de cordones de cerros de 3500-4000 m.s.n.m. de dirección norte sur. El cauce del estero está a 2500-3000 m.s.n.m. y se encuentra encajonado por los acarreos de fuerte pendiente que descienden desde los cerros. Estas circunstancias hacen que frecuentemente las avalanchas de nieve lo cubran completamente, produciéndose de ese modo el escurrimiento a través de cavernas formadas en la neviza que, en ocasiones, permanecen durante toda la temporada de deshielo. En las cercanías de los glaciares el valle se ensancha, observándose se morrenas que marcan sus fluctuaciones más recientes.

Es importante destacar el predominio de la arcilla en los materiales sueltos de la cuenca.

3. Características fundamentales de los Glaciares Aparejo

Los glaciares N°s 50 y 51 del río Yeso, ubicados en las cabeceras este y oeste del estero Aparejo, tienen su origen en las grandes avalanchas de nieve que se desprenden durante el período de invierno y primavera de las paredes de los macizos rocosos. Por esta razón ellos se encuentran a menor altura que los otros glaciares de la zona. Sus formas se caracterizan por ser extraordinariamente alargadas y con pendientes de hielo no muy pronunciadas.

El glaciar N° 50 se encuentra en contacto directo con las laderas del valle y tiene una morrena que lo limita parcialmente por su frente. El gla-

CHILE

ciar N° 51; por su parte, se caracteriza por la presencia de una morrena lateral, que prácticamente lo circunda completamente.

La ficha de estos glaciares entrega los siguientes datos básicos (Inventario de Glaciares. Hoya del río Maipo):

	N° 50	N° 51
Latitud	S 33° 33' 62"	S 33° 33' 11"
Longitud	W 70° 00' 11"	W 69° 59' 18"
Area total (km ²)	0.15	0.44 (0.60)
Ancho promedio (Km)	0.2	0.2
Largo promedio (Km)	0.8	1.8
Orientación	S	S
Altitud máxima (m.s.n.m.)	3795	3860
Altitud mínima (m.s.n.m.)	3345	3250
Profundidad media (m)	20 (30)	20 (40)

* Nota: El inventario fue realizado con fotografías de marzo de 1956. Los valores entre paréntesis corresponden a estimaciones hechas para marzo de 1980.

El volumen del glaciar N° 50 se podría estimar antes de su colapso en unos 5×10^6 m³, mientras que el del glaciar N° 51 en $25 - 30 \times 10^6$ m³.

4. La situación del glaciar N° 50. Causas de su desplazamiento.

De acuerdo al testimonio de testigos presenciales, el día 1° de marzo a las 9,30 hrs. A.M., el glaciar N° 50 se desplazó violentamente, saliendo como un todo de su ubicación original y alcanzando, en el lapso de unos 2 minutos, el curso principal del estero Aparejo. Al salir al valle principal el glaciar chocó con la ladera opuesta, subió por ella algunas decenas de metros y se destruyó quedando el frente a unos 400 metros de dicho lugar. Su recorrido aproximado fue de 3 Km, lo que lleva a pensar que alcanzó velocidades del orden

de los 100 Km/h.

El movimiento se inició en la rimaya del glaciar, propagándose inmediatamente hacia la parte inferior. Las marcas dejadas por el avance confirman la violencia del fenómeno, ya que la inercia permitió a la masa de hielo remontar una contrapendiente muy fuerte y produjo además, debido a la orientación del glaciar, una trayectoria fuertemente cargada sobre la ladera sur, sin llenar el valle en forma pareja.

Los testigos señalan que la noche anterior al colapso del glaciar, se escuchaban ruidos en el hielo y que en la mañana constataron la aparición de numerosas grietas.

Posiblemente el desplazamiento del glaciar N° 50 se debió a varias causas, actuando en conjunto. Ellas serían:

i) Aumento de la masa del glaciar.

El nivel de la superficie del glaciar, según las fotografías de 1956, era bastante inferior al que muestran las trazas que quedaron en terreno. Esta observación coincide con los registros que se llevan en el glaciar Echaurren Norte, que entregan un importante balance positivo en los últimos 3 años. Es conveniente señalar además que glaciares como el estudiado, de pequeño tamaño, ubicados a baja cota y alimentados por avalanchas, presentan usualmente una excepcional sensibilidad a los períodos de alta precipitación.

ii) Material en contacto con el hielo.

El glaciar N° 50 se encontraba apoyado fundamentalmente en arcillas. Dichas arcillas, en contacto con el agua, constituían una superficie que ofrecía una resistencia al deslizamiento mínima.

iii) Lluvias de verano

En los días previos al colapso del glaciar se produjeron en la zona precipitaciones importantes. Considerando la cota del glaciar y el nivel de la isoterma 0°C durante el mes de febrero, las precipitaciones posiblemente fueron en forma de lluvia. Esta circunstancia pudo afectar la estabilidad del glaciar de las siguientes maneras: (i) aumentando la masa del glaciar; (ii) aumentando la lubricación en la base arcillosa; (iii) produciendo un efecto de subpresión por falta de suficiente drenaje.

De acuerdo a lo anterior, se aprecia que es muy pequeña la probabilidad de que se junten todas las circunstancias que se cree que provocaron el desplazamiento del glaciar.

5. Situación actual del glaciar N° 51

En el glaciar N° 51 se observan en la actualidad los siguientes cambios notables:

- La superficie cubierta ha aumentado en forma importante, habiendo avanzado el glaciar hasta desbordar, por el frente y lateralmente, la morrena que lo circundaba y llegando a generar unas 5 lenguas que se desprenden hasta el plé de ella. El frente mismo se encuentra unos 500 m más adelante que en 1956 y la superficie total se ha incrementado en aproximadamente 0.15 Km².
- Existe un agrietamiento extremo en toda la masa del glaciar quedando de ese modo conformado, especialmente en la parte inferior, por un caos de seracs. La dirección predominante de las grietas es transversal, además se observa en el tramo medio e inferior una gran grieta longitudinal. En el sector central-superior, donde se observa una mayor regularidad, las grietas tienen separaciones de 20 a 30 mts, espesores de 2 a 3 mts. y son muy profundas.

CHILE

- La superficie del glaciar presenta notables ondulaciones y discontinuidades. El eje central se encuentra 10 a 20 mts. más abajo que los bordes. La zona de acumulación aparece hundida mientras que las que siguen a continuación de ella están sobre elevadas.

A continuación se da una posible explicación del estado actual del glaciar.

El balance de masa positivo de los últimos 3 años significó un aumento considerable de la masa de hielo en la zona de acumulación. Ese sector, en forma de una olla al pie de la pared sur del Cerro Aparejo, recibe las principales avalanchas de nieve. Un balance positivo produce una mayor velocidad de desplazamiento del hielo y, con cierto retraso, un avance del frente glaciar. Este último debió alcanzar los límites de la morrena, donde se detuvo por la resistencia que ella le oponía. El aumento de la acumulación y la disminución de la resistencia por las lluvias de verano, produjeron finalmente un desplazamiento rápido y generalizado en la masa del glaciar, hundiéndose la zona de alimentación, remontando los frentes la contrapendiente de la morrena y desbordando sobre ella. El avance brusco produjo numerosas grietas. En especial, la forma cóncava del nuevo perfil transversal sería la causa del agrietamiento según ese eje.

De acuerdo a la interpretación anterior, la evolución futura del glaciar sería la siguiente:

- Continuará el rebalse en forma de seracs sobre las morrenas circundantes regenerándose en sus laderas y alimentando las lenguas glaciares que se han formado.
- Considerando la proximidad del invierno, lo que influye en las propiedades mecánicas del hielo y en la circulación del agua, en los próximos meses la actividad del glaciar disminuirá considerablemente.

- Si en los próximos años se produjeran balances de masa positivos de importancia, el mayor caudal de hielo del glaciar se traduciría en mayores aportes de seracs a las nuevas lenguas, avances de esos frentes más allá del pié de la morrena y sería posible que quedaran sectores de la morrena completamente bajo el glaciar.

Con las limitaciones que significan la ausencia de adecuados datos de terreno y los escasos precedentes de que se dispone para analizar este tipo de fenómenos, se pueden hacer los siguientes comentarios en relación a la estabilidad del conjunto glaciar-morrena:

- El empuje extraordinario originado en la zona de acumulación fue liberado por el desplazamiento del glaciar, permaneciendo después de ello el cuerpo central contenido en la morrena y produciéndose rebalses limitados por sobre ella. Mientras no se produzcan nuevas acumulaciones no habrán empujes de importancia. Esta hipótesis coincide con lo observado en la última visita al lugar, cuando no se constataron desplazamientos, ruidos en el hielo, profundización de grietas, etc. que pudieran ser anormales.
- Considerando el papel de contención que desempeña la morrena actualmente y lo observado en el glaciar N° 50, sería potencialmente grave que se produzcan aumentos de la masa del glaciar, que signifiquen una erosión significativa de ella.
- La abundancia de arcilla en la cuenca hace suponer que la resistencia al desplazamiento en la base pudiera ser pequeña.
- Se conocen glaciares de grandes dimensiones que avanzan sobre morrenas, sin que ello haya significado problemas para su estabilidad. Por otra parte no se observó en la morrena ningún sector de falla, a pesar de los esfuerzos a los que ha estado sometida y al rebalse de hielo. Tampoco se observan filtraciones que se pudieran originar en su borde interior.

- El drenaje en la actualidad es sin problemas, observándose que el agua de fusión glacial escurre en forma sub-glacial, bajo las lenguas ya formadas.

En resumen, de acuerdo con los antecedentes disponibles y con el grado de incertidumbre que un fenómeno de esta complejidad supone, se puede razonablemente concluir que en el futuro inmediato el glaciar N° 51 se mantendrá en una situación de estabilidad. No obstante lo anterior será necesario vigilar su evolución futura.

6. El glaciar N° 51 y el Embalse El Yeso

Considerando el gran volumen del glaciar N° 51 ($30 \times 10^6 \text{ m}^3$), resulta de interés analizar la posibilidad de que mediante un desplazamiento violento alcance hasta el Embalse El Yeso. Al respecto cabe señalar que este tipo de fenómenos es muy poco frecuente y que la falta de antecedentes ha impedido hacer determinaciones cuantitativas. Por otra parte, en distintos lugares del mundo se han observado avances violentos de glaciares por distancias considerables. No obstante lo anterior, las posibilidades de que un fenómeno de esta naturaleza alcance hasta el embalse El Yeso parece muy remota si se consideran los siguientes antecedentes:

- No existen desniveles bruscos importantes en el recorrido hasta el embalse, razón por la cual es improbable que se produzcan algunos fenómenos que favorecen el deslizamiento violento de la masa de hielo.
- La distancia al embalse es de 10 Km., incluyendo un recorrido por un valle estrecho y sinuoso, y otro por un valle perpendicular al anterior, ancho y de poca pendiente. Además, desde la ladera sur del valle del río Yeso se desprende un cono de deyección de grandes proporciones, inmediatamente aguas arriba de la cola del embalse.

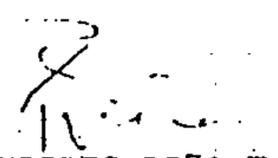
En estas circunstancias la energía de la masa de hielo podría perderse en las sinuosidades del recorrido inicial, en el impacto con la ladera opuesta, o al salir al valle del río Yeso, o al remontar el cono de deyección.

7. Programas de control actualmente en desarrollo

Para determinar la evolución del glaciar N° 51, el Dpto. de Hidrología de la Dirección General de Aguas ha instalado en las laderas vecinas al glaciar un sistema de puntos de referencia para el control taquimétrico de sus fluctuaciones y velocidades superficiales; además instaló algunas balizas de control en el hielo. Por otra parte, en colaboración con la FACH, se obtuvieron fotografías aéreas que permitirán la confección de un plano detallado del lugar y que inician el control de la variación de la superficie cubierta por el hielo desde el aire.

8. La seguridad del embalse El Yeso y los glaciares de la zona

Existen en la zona del embalse El Yeso varios glaciares que pudieran en algún momento dado significar algún riesgo para su operación, sobre todo si se tiene en cuenta la larga vida útil de esas obras. Inclusive, en la actualidad se puede observar a la distancia un glaciar con evidentes muestras de haber sufrido una crecida muy significativa y que está ubicado en los macizos que llegan sobre el embalse (Loma Larga). Por otra parte es necesario recordar que, si bien el colapso de un glaciar puede desplazar importantes masas de hielo, ellos son acontecimientos muy excepcionales. Por las razones anteriores, el problema de las masas de hielo en las proximidades del embalse, debiera abordarse en forma integral. Para ello la Dirección de Riego tendría que realizar estudios que definieran los glaciares que son potencialmente peligrosos y un programa preventivo de observación de glaciares que forme parte de los programas normales de explotación del embalse.


HUMBERTO PEÑA T.
Jefe Sección Est. Hidrológicos