

## GLACIOLOGÍA Y RAMAS CONEXAS: MÉTODOS Y ELEMENTOS DE TRABAJO \*

### INTRODUCCIÓN

Por razones de didáctica se ha creído conveniente empezar por el aspecto meteorológico de la Glaciología, luego el aspecto glaciológico puro, etc., hasta terminar con el geomorfológico glaciar. Se iniciará además con la parte meteorológica porque los primeros trabajos se efectuaron en invierno y en esta época la mayoría de las mediciones que se hacen versan sobre dicho tema.

La zona donde se desarrollaron los métodos que se describen en el presente trabajo, está situada al pie de la montaña más alta de Suecia, Kebnekajse, 2.100 m. sobre el nivel del mar (Fig. N<sup>o</sup> 1). Allí, en el valle de Tarfala, la Universidad de Estocolmo tiene su *Estación de Investigaciones Tarfala* donde se hacen estudios físicos y biológicos. La estación está ubicada a 600 m. del glaciar donde se hacen las investigaciones sistemáticas, de manera que no se pierde tiempo recorriendo inútiles distancias para llegar al lugar de las observaciones.

La parte Meteorología-Glaciar fué desarrollada por el Mayor Olav Njus del ejército de los EE. UU.; Climatología Glaciar por Ahlmann; Glaciología Pura por Ahlmann, Schytt y Corte; movimiento del hielo por Erik Voxnerud; Biología Glaciar por E. Bergström.

---

\* Al escribir el presente trabajo, que es uno de los frutos de mi especialización en el Geografiska Institutet de la Universidad de Estocolmo, un sentimiento de agradecimiento ineludible me lleva hacia personas que idealmente han contribuido o que mi especialización en Física de Glaciares se cumpliera eficazmente. Vaya, pues, mi más sincero agradecimiento para el Dr. Gache Pirán, ex Ministro de Justicia e Instrucción Pública, quien se interesó vivamente por la Física de Glaciares; el Dr. I. F. Cruz, Rector de la Universidad Nacional de Cuyo, quien no sólo me alentó espiritualmente sino que cumplió económicamente; el Prof. J. E. Church, Univ. de Nevada, EE. UU., noble "pioneer" de los estudios de exploración de la nieve; el Prof. Hans W: son Ahlmann, Universidad de Estocolmo, mi camarada y compañero de lucha, y el joven glaciólogo sueco Valter Schytt, fiel compañero de campo; a todos ellos, con sinceridad y gratitud, dedico esta pequeña contribución.

## Capítulo I

### ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

El estudio de las condiciones glaciológicas de una zona determinada debe hacerse en dos formas: 1) Estudios metódicos y de detalle de un glaciar; 2) Estudios generales de toda la zona glaciada. Al elegir un gla-



FIG. 1 - La estación de investigaciones Tarfala en invierno. Laponia, Kebnekajse. (Fot. V. Schytt - III - 49).

ciar para estudios, es necesario tener en cuenta los siguientes factores: a) debe ser un glaciar de valle con su acumulador y ablador bien delimitado, b) no debe ser muy grande: un tamaño ideal es 200-500 m. de ancho y no más de 2 a 3 Km. de largo, pues en un glaciar de grandes dimensiones se pierde demasiado tiempo al recorrer largas distancias para las mediciones.

Para el desarrollo de los estudios en detalle es necesario disponer de una estación u observatorio de investigaciones; dicha estación debe estar lo más próxima posible al glaciar que se desea investigar, para no perder tiempo recorriendo distancias en las observaciones diarias. El observatorio de estudios glaciológicos de la Universidad de Estocolmo (Fig. N° 1) está



situado al norte del Círculo Polar Ártico, a 25 horas de tren desde Estocolmo, 8 horas en trineo y 6 en esquí; no hay medios directos como en Suiza. La estación se encuentra a 800 m. del glaciar en el cual se hacen estudios en detalle desde hace 6 años; consta dicho observatorio de tres habitaciones: una cocina, un dormitorio con 4 camas tipo marinero, un dormi-



FIG. 2 - Obtención del agua en invierno.

torio para el profesor y su asistente y una pequeña habitación para depósito y la que se usa eventualmente como dormitorio de alumnos. Últimamente se ha construido un nuevo refugio con todas las comodidades.

En la casa habitación las paredes y el techo deben estar aisladas con materiales adecuados para impedir la salida del calor. El uso de gas de kerosene es recomendable tanto para la cocina como para la iluminación. El

autor ha podido descansar muy bien con una bolsa de dormir y debajo de ella un cuero de reno; así duermen los soldados suecos en Laponia en los *igloos* de nieve subterráneos (cuevas debajo de la nieve). En Argentina se puede reemplazar el cuero de reno por el de venado o huemul.

Es importante, al construir un refugio, situarlo cerca de una fuente de



FIG. 3 - Vehículo anfibia del ejército de U. S. A., usado para transporte de carga y pasajeros. Junto al anfibia se encuentra un reno que se utiliza para transporte. (Fot. Valter Schytt).

agua permanente, pues en invierno es muy difícil obtener agua en forma rápida y económica de la nieve; es necesario disponer de una fuente cercana, aunque ella ocasiona trastornos para su obtención y acarreo (Fig. N° 2). Es necesario tapar el pozo de nieve, donde se obtiene el agua, para que la nieve, acarreada por el viento, no lo tape completamente.

El aprovisionamiento de comida y equipo puede hacerse en invierno por medio de aviones y paracaídas. En cuanto a la movilidad, siempre que se trate de transportes en terrenos no muy inclinados, da buen resultado un vehículo anfibia (Fig. N° 3) el que puede arrastrar un trineo con dos toneladas de carga y tres pasajeros en terreno horizontal y duro; en terrenos con pendiente no fuerte, una tonelada. El transporte de pequeñas cargas (80 kilos) puede ser solucionado con trineos con dos perros y, siempre que las condiciones del terreno y de la nieve lo permitan, los trineos con renos dan muy buen resultado, pudiendo un solo reno arrastrar un trineo con 80 kilos en pendientes, no muy pronunciadas, hasta de un 20 %.



Los estudios en detalle que se efectúan, están explicados en esta contribución. En cuanto a los estudios generales, versan sobre las condiciones físicas de los diferentes glaciares: altura sobre el nivel del mar, diferencia de altura entre la parte terminal y el acumulador, ubicación de los glaciares en las clasificaciones diversas, condiciones de los glaciares y su relación con los puntos cardinales, con el rumbo de las montañas y con los caracteres físicos geológicos. Luego de observar sus caracteres físicos generales es necesario ver cómo reaccionan los diferentes glaciares; al mismo tiempo deben hacerse estudios de las diferentes morenas, midiendo sus distancias con telémetros o con cintas métricas. Un aspecto muy importante es ubicar los sistemas de morenas en escala cronológica; para ello es necesario estudiar la distribución de las plantas. Esto está detallado en la parte V.

Los estudios en detalle requieren personal especializado que debe medir en el invierno las variaciones de la acumulación y en el verano las oscilaciones de la ablación. Al mismo tiempo se deben tomar las temperaturas en el acumulador y en el abladador.

## Capítulo II

### METEOROLOGÍA-CLIMATOLOGÍA GLACIAR

La Meteorología Glaciar ha sido desarrollada últimamente con gran detenimiento por C. C. Wallen (39). Él ha estudiado las condiciones meteorológicas del glaciar Korsá, entre los años 1942-1948. Se puede decir que la Meteorología Glaciar es una nueva disciplina que se inició a principios del siglo presente.

La importancia de los estudios de Meteorología Glaciar reside en los hechos siguientes: "Debido a que existe una relación muy estrecha entre las variaciones del clima y las variaciones del volumen de los glaciares, las causas de dichas variaciones no pueden ser reveladas sin un estudio total del material de balance del glaciar y la influencia de los factores meteorológicos en la acumulación y ablación". (38, p. 6). Además el objetivo final es determinar las relaciones que hay entre las variaciones climáticas y los cambios de volumen de los glaciares. Cuando se conozcan las causas de estos cambios, entonces se tendrá una base más segura para conocer las causas de las *fluctuaciones climáticas seculares*, los *cambios climáticos* y las *variaciones climáticas geológicas*. De acuerdo con Willet y Ahlman (40, p. 34 y 2, p. 176) *las fluctuaciones climáticas seculares* ocurren cuando las oscilaciones climáticas envuelven períodos que se repiten varias veces en una centuria. *Cambios climáticos* son las oscilaciones que se producen sobre pe-

ríodos de cientos o miles de años; son las fluctuaciones que se producen desde la última glaciación, incluyendo los tiempos postglaciales e históricos. *Variaciones climáticas geológicas* son oscilaciones que ocurren en períodos o épocas de varios miles de años; son las variaciones que se produjeron en el Pleistoceno y que abarcó un millón de años con diferentes lapsos de 75 mil, 300 mil, 75 mil y 25 mil años de las edades glaciales o interglaciales (16, p. 249).

En un estudio completo de la Meteorología Glaciar deben tenerse en cuenta los siguientes factores: A) Meteorología: Condiciones generales del tiempo en diferentes años; la radiación entrante en el glaciar (*incoming radiation*); el albedo; la radiación emitida (*outgoing radiation*); temperatura y humedad; velocidad y dirección del viento; nubosidad, precipitación y niebla. B) Glaciología: Deposición de agua de fusión debajo de la nieve; acumulación, ablación, variaciones de la acumulación y ablación en las diferentes alturas de un glaciar; el balance del calor; cálculos de la ablación en determinados períodos; causas de la ablación bajo diferentes condiciones; valor aproximado de la ablación media anual; comparación de los resultados de un glaciar con otras zonas investigadas; conclusiones. La disminución del glaciar estudiado y sus probables causas meteorológicas. Todos estos factores son indispensables para tener una idea de las influencias meteorológicas en las manifestaciones de los glaciares (39, p. 239-240). C. C. Wallen, al estudiar el glaciar Korsá ha llegado a las siguientes conclusiones: 1) La principal causa de la disminución de dicho glaciar está en un crecimiento de la ablación (absoluta y relativa) del calor suministrado por el aire; éste a su vez ha sido producido por: a) Crecimiento en la temperatura del verano, b) crecimiento en la humedad del verano, c) prolongación de la época de ablación, d) posible crecimiento en la velocidad del viento. El crecimiento de temperatura y humedad durante el verano se manifiesta en un crecimiento de la nubosidad y en la prolongación de la época de ablación, los que son causados por:

- 1) Un típico crecimiento (desde 1915) en la variabilidad del clima de un año para otro, el cual se muestra en una alternancia de veranos muy calientes y otros relativamente fríos.

- 2) Un crecimiento probable en la frecuencia media de los vientos del sur, los que causan un crecimiento de la temperatura y humedad produciendo un incremento en la nubosidad.

Últimamente, durante el año 1949, O. Njus estudió los factores meteorológicos del glaciar Mayor (Stor Glaciär); construyó dos estaciones en el glaciar para medir las temperaturas en diferentes alturas (Fig. N° 4). Una estación está en la parte superior del glaciar, en la zona de acumulación,

y la otra en la parte inferior, en la zona de ablación. Las temperaturas se miden eléctricamente por medio de termistors, a diferentes alturas: 1.50, 3.00, 4.50, 6.00, 7.50 m.; a 4.50 y a 7.50 hay anemómetros de tazas.

El estudio de la Meteorología Glaciar es de gran importancia para la aviación, pues ella da informaciones utilísimas sobre las condiciones físicas



FIG. 4 - Construcción de la estación para medir temperaturas y vientos en diferentes alturas. (Fot. A. E. Corte - 20 - VII - 49).

del aire en las zonas permanentemente heladas. Si se piensa que las naciones más poderosas del mundo están unidas por rutas aéreas mucho más cortas por sobre los polos que por las rutas corrientes del Atlántico Norte, entonces se comprenderá la real y gran importancia que estos estudios tienen. Argentina en un futuro próximo deberá volar hacia Australia y Nueva Zelandia; esto significa que deberá volar sobre la Antártida, pues es el camino más corto. Para ello es necesario conocer las condiciones físicas del hielo, del aire y del suelo (ver parte IV).

Ahlmann, investigando los glaciares del Atlántico Norte (5, p. 75) ha llegado a concluir que la creciente intensidad de la disminución de los glaciares, observada en los últimos decenios, es quizá la prueba más segura (entre muchas) de la fluctuación del clima en esa zona. Hay muchas pruebas de los cambios de clima: 1) Pruebas climáticas, 2) glaciológicas, 3) oceanográficas, 4) biológicas, 5) eustáticas; ellas han sido estudiadas con cierto detenimiento por Ahlmann en una de sus últimas contribuciones (3).

Allí se aprecia la gran utilidad de estas investigaciones para el conocimiento de las oscilaciones climáticas de nuestro planeta.

En la parte III se verá que para el estudio de la acumulación y ablación es necesario disponer de una serie de estacas en el glaciar. La medición de estas estacas en forma metódica nos dará la variación de las disminuciones o aumentos del hielo o la nieve. Las veces que debe medirse la altura de las estacas depende de la variabilidad de los factores meteorológicos (del tiempo). Así, si después de tres o más días de temperaturas bajas y sin ablación se producen temperaturas altas, es necesario medir las estacas para notar el efecto del aumento de la temperatura en la ablación. Si la temperatura se mantiene constante durante varios días no es necesario hacer mediciones pues sabemos que ellas no producen variantes en las medidas. O sea: la frecuencia de las lecturas depende de la frecuencia de los cambios de tiempo.

Últimamente se ha recalcado la importancia que puede tener la radiación ultravioleta en la economía de un glaciar. Parece que su efecto se hace sentir hasta 10 metros de profundidad. (Reuter, comunicación verbal. Zentralanstalt für Meteorologie, Viena). Son necesarias investigaciones sobre este problema.

### Capítulo III

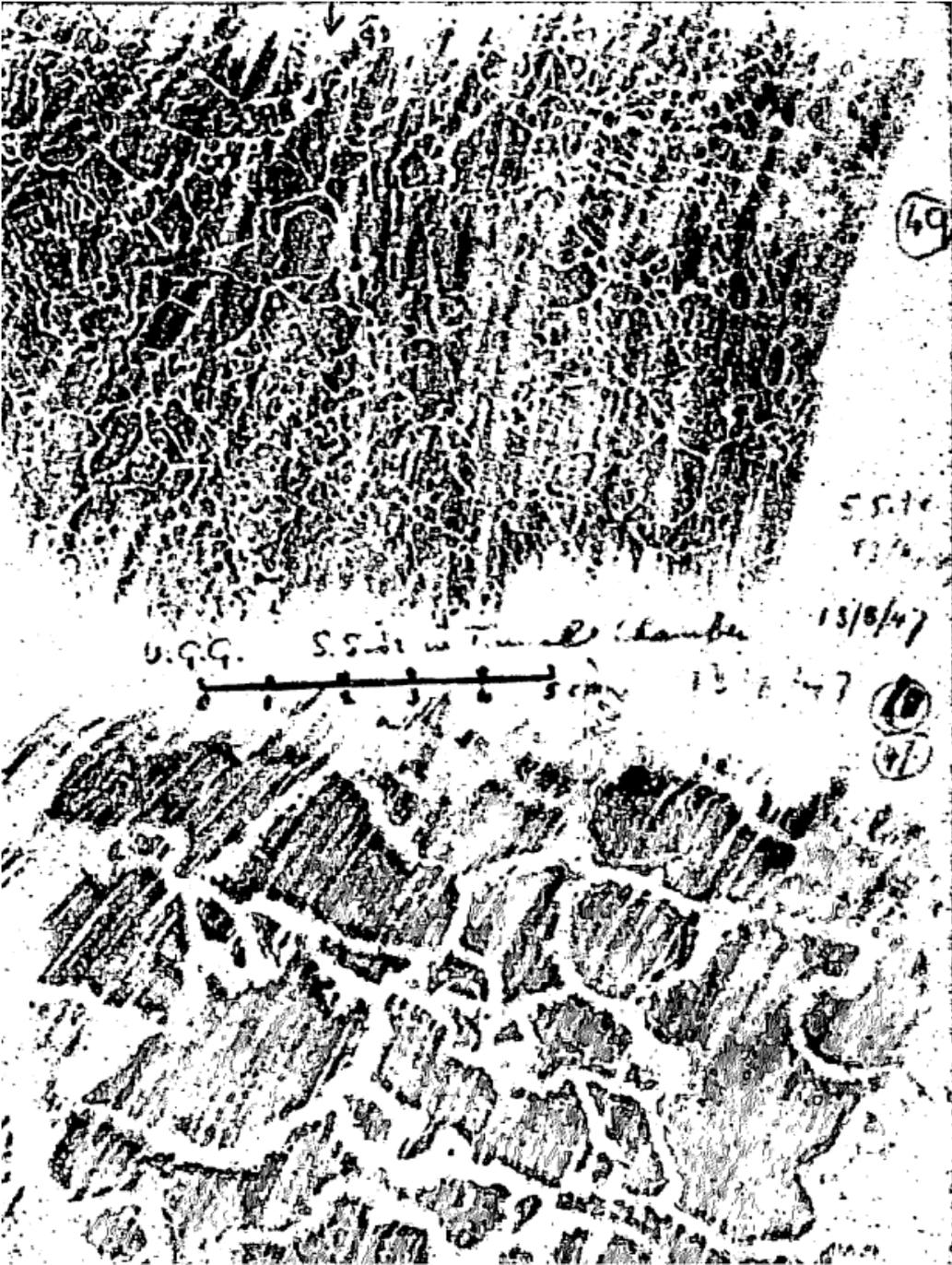
#### GLACIOLOGÍA PURA

Glaciología es la disciplina que se ocupa en el estudio del hielo que se forma en la superficie del suelo y del mar por un proceso natural.

Se entiende por Glaciología Pura el estudio de las condiciones físicas del hielo y ella comprende el estudio de: a) Topografía del hielo, b) Cristalografía, c) Movimiento, d) Régimen, acumulación y ablación, e) Limite del *firn* o *nevé*, f) Clasificación de los hielos.

a) *Topografía del hielo (glaciar)*. Cuando se desea investigar un glaciar debe disponerse de un buen mapa topográfico del mismo; con métodos estereofotogramétricos es posible hoy dibujar excelentes mapas, especialmente con fotos aéreas. Con un mapa que tenga 30 metros de intervalos de alturas por lo menos, es posible determinar la acumulación total del invierno y la ablación total del verano. El plano topográfico no solamente debe incluir el glaciar sino también las morenas próximas, montañas vecinas y puntos notables del terreno que sirvan de referencia. Todas estas mediciones deben extremarse cuando se estudia un glaciar sistemáticamente.

b) *Cristalografía*: Los estudios cristalográficos del hielo empezaron



(40)

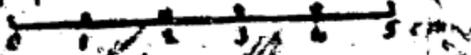
S.S. 10

13/5/47

13/5/47

U.G.G.

S.S. 10 in Tunnel Chamber



13/5/47

(10)

(11)

el siglo pasado y se puede decir que el iniciador de estos estudios fué Hugi (1842), luego Forel (1882), Hagenbach-Bischoff (1885); también Emden en 1892 hizo importantes contribuciones; a principios de este siglo se destacaron Tamman, Buchaman, Heim, etc. (28, p. 255). Un aspecto muy importante en los estudios de cristalografía es individualizar los cris-



FIG. 5 - Reproducción de cristales de hielo por calco con lápiz, de acuerdo con Seligman.

tales por medio de calcos con lápiz (Fig. N° 5) (28, p. 256) o por medio de impresiones con pintura común (Fig. N° 6) (4, p. 269). El primer método fué iniciado por Forel (28, p. 255) y actualmente es usado por Seligman y sus colaboradores del *British Glaciological Society*; el segundo método (impresión) es empleado por Ahlmann y sus colaboradores en la *Estación de Investigaciones Tarfala*, Kebnekajse. El método del calco consiste en pulir una superficie del hielo con un cepillo o con un raspador de pisos común; según Seligman es mejor elegir las superficies de hielo que

estén *temperizadas* y que carezcan de aire; una vez que se tiene una superficie lisa se seca con papel secante y se calca con un papel no graso y común, y lápiz muy blando. El método de impresión es rápido; consiste en pintar la superficie a estudiar con una mezcla de pintura común con limo glaciado; la proporción de limo y pintura la da la práctica. Una vez

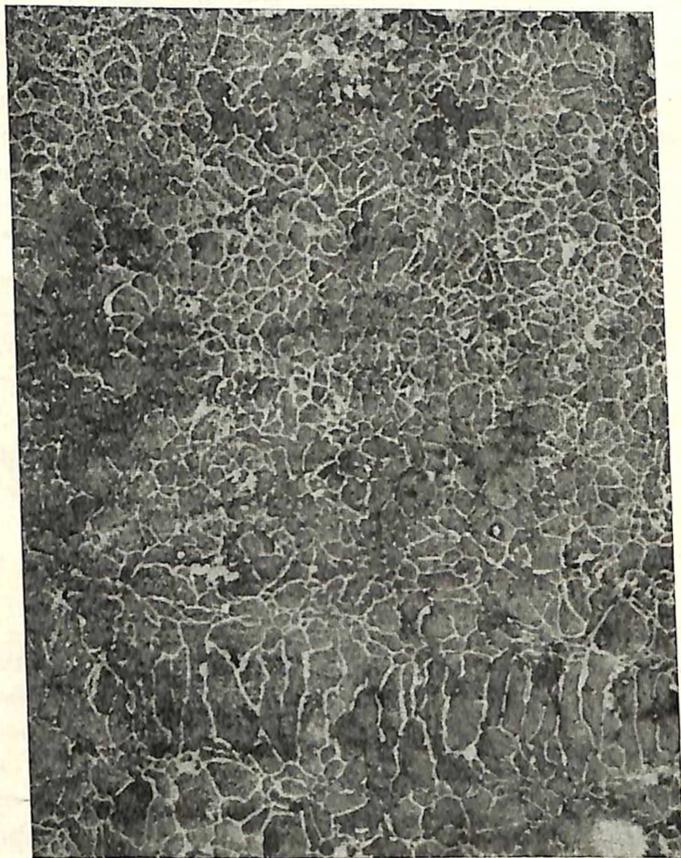


FIG. 6 - Reproducción de cristales de hielo por impresión con pintura, de acuerdo con Ahlmann y Drosler.

pintada la superficie de hielo con esta pasta, se la esparce uniformemente con un papel blando, luego se pone sobre la superficie otro papel de idénticas condiciones absorbentes y se alisa por breves segundos con la mano, hasta que se ven los límites de los cristales impresos; se levanta el papel y se seca.

De acuerdo con los trabajos efectuados en Kebnekajse se puede decir que este método es muy rápido aunque no todas las impresiones que se

obtienen pueden ser utilizadas. Luego se copian en papel transparente los cristales y se sacan los porcentajes de área para conocer la relación entre el tamaño de los cristales y su ubicación en el glaciar.

El método de registrar los cristales ha permitido conocer más profundamente la constitución de los glaciares y su mecanismo. De los últimos estudios de Ahlmann y Seligman se concluye que: 1) Los cristales más grandes se encuentran en hielo muerto\*. 2) Cerca de la margen del glaciar los cristales son más grandes, especialmente en las partes en que no hay movimiento (4, p. 274). 3) En general se afirma que cuanto más rápido es el movimiento del hielo los cristales son más pequeños. 4) El tamaño de los cristales aumenta desde el acumulador hacia la lengua terminal. 5) Cuanto más largos son los glaciares, más grandes son los cristales. 6) Cuanto más pendiente tiene el glaciar más pequeños son los cristales. 7) Las bajas temperaturas retardan el crecimiento; las altas temperaturas estimulan el crecimiento. 8) Existe una gran variación de tamaño y distribución de cristales en diferentes partes del hielo glaciar; por lo tanto un valor medio del tamaño de los cristales en cualquier zona medida no es representativo: es necesario hacer análisis de la frecuencia del tamaño.

Además de estudiar el hielo glaciar se deben conocer las condiciones del *överlagradis* (sueco), *superimposed ice* (inglés) o sea del hielo que se forma de la fusión de la nieve del invierno anterior y se congela nuevamente en la base de la nieve (parte superior del hielo glaciar); V. Schytt ha demostrado que este hielo tiene importancia en el balance del glaciar (30).

La determinación de la velocidad de crecimiento de los cristales de un hielo sin movimiento sería de incalculable valor para los climatólogos, glaciólogos y geólogos (28, p. 254). A su vez dichos estudios pueden ser de interés para los petrólogos, pues hay cierta similitud entre las condiciones físicas de la formación de las rocas y las de la formación de los cristales de hielo.

Los estudios de hielo no sólo deben hacerse en la parte superior del glaciar sino también en las partes internas del mismo para conocer las condiciones físicas del hielo y el espesor del mismo.

La perforación del hielo hasta profundidades de 150 m. es factible con un equipo *U. G. Strailine* fabricado por *Canadian Longyear Co*; con este equipo (Fig. N° 7), se pueden extraer testigos de hielo hasta 150 m. de profundidad (3, p. 253).

El estudio del espesor del hielo puede hacerse con un equipo sísmico

---

\* Hielo muerto, de acuerdo con Ahlmann, es un hielo que es más alimentado por encima y su masa puede llegar, desde algunos metros cúbicos, hasta cubrir grandes porciones de una región (4, p. 274).

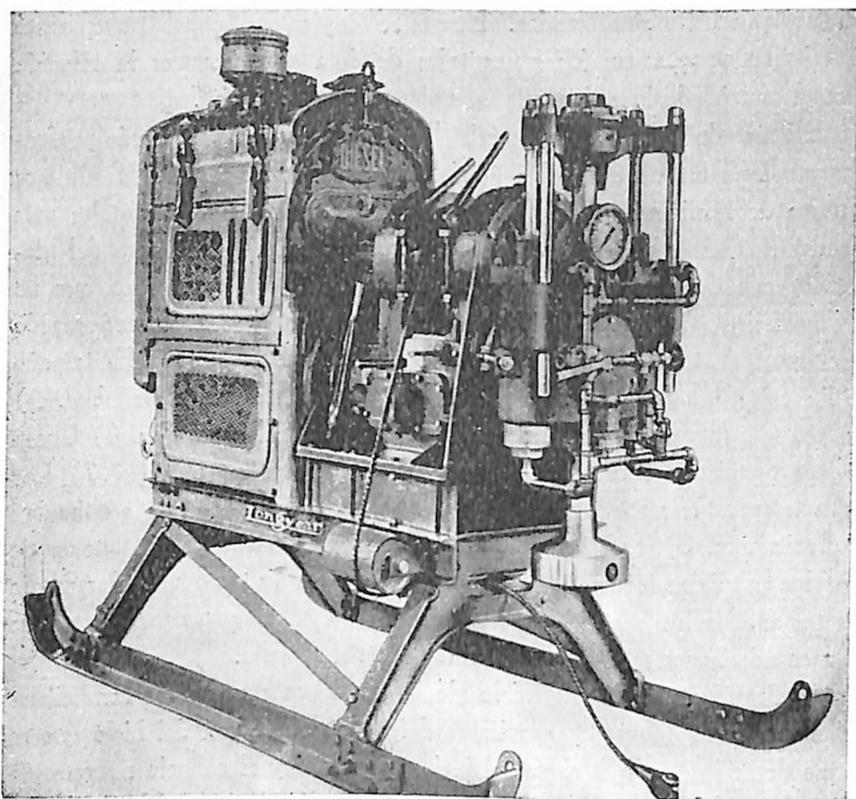


FIG. 7 - Máquina para perforar el hielo hasta una profundidad de 150 m., con el objeto de estudiar los cristales.

portátil (Fig. 8 y 9) de reflexión (5, p. 120), equipo que tiene varias ventajas; la más remarcable es su fácil manejo y transporte; puede llevarse en un trineo y ser arrastrado por dos hombres en terrenos sin pendientes. En terrenos con pendientes de 15 en 100 son necesarios cuatro hombres. lo fabrica la *Compañía A. B. Elektrisk Malmletning*, Kungsgatan 44, Estocolmo, Suecia. Un equipo de este tipo sería de gran valor para la investigación del espesor del hielo en nuestro territorio Antártico y en el hielo continental de la Patagonia. Próximamente se ensayará con ese fin, en Antártida, un equipo geoléctrico de resistividad fabricado por D. W. Gamba, Buenos Aires.

Una vez obtenidos los testigos de hielo con la máquina perforadora se estudia el hielo bajo el microscopio.

Además es necesario conocer las temperaturas que hay en diferentes profundidades del glaciar; la medición de la temperatura puede hacerse en forma directa, con un termómetro en la nieve pero no en el hielo. Este inconveniente puede salvarse usando un termómetro eléctrico (*thermistors*),



FIG. 8-9 - Aplicación de la sismica de reflexión para medir el espesor del hielo, en el glariar **Stor**. Kebnekajse, Laponia. (Fot. R. Tegholm - 1 - VIII - 49).

utilizando un tubo de acero, el que fué metido a una profundidad de 130 m.; comprobándose que el movimiento es mayor en la superficie que en la profundidad (27, p. 382).

d) *Régimen, acumulación y ablación*: Ahlmann define el régimen de un glaciar como la diferencia entre el volumen total acumulado durante el período de acumulación y el volumen total *ablacionado* durante el próximo período de ablación. El régimen comprende un desarrollo anual. Si la cantidad acumulada es mayor que la cantidad ablacionada se dice que el glaciar tiene un balance positivo. Si las cantidades son iguales se dice que tiene un balance en equilibrio y, si la acumulación es menor que la ablación se dice que es de un régimen negativo (1, p. 49).

El desarrollo del régimen comienza en otoño, cuando las primeras acumulaciones empiezan a sobrepasar a la ablación o sea cuando hay entre ambos factores un equilibrio relativo o mejor dicho cuando el límite del *firn* se cambia en la nueva línea de nieve.

Se entiende por acumulación el proceso por el cual se acumula nieve, granizo, escarcha, nieve acarreada por el viento y agua de lluvia en la superficie del glaciar; de todos estos factores el más importante es la nieve.

*Ablación*: Es el proceso de consumición del glaciar, especialmente por fusión y evaporación. Las rupturas y desgastes producidos en el frente del glaciar deben ser consideradas como ablación. La mayor parte de la ablación tiene lugar en la superficie del glaciar (1, p. 26). El viento puede consumir hielo por erosión mecánica o corrosión.

*Métodos para medir la acumulación*: Hay diversos métodos para medir la acumulación: 1) método de los totalizadores, 2) método de las barras de sondeo, 3) método de perforación para ver la anterior superficie de la nieve. En la estación de investigaciones Tarfala se emplea el método 2 y eventualmente el método 3 cuando faltan las barras de sondeo.

Cuando se colocan las barras para medir la acumulación y ablación, se plantea el problema de determinar el número de barras que se utilizará. En el glaciar Stor hay actualmente colocadas 39 estacas para una superficie de 1.5 Km.<sup>2</sup> En general se usan cañas de bambú (tacuara) o caños de aluminio; cuando se utilizan estos últimos es necesario colocar en la punta del caño que se mete en el hielo un corcho para que lo afle e impida el hundimiento de la barra. La longitud de las barras oscila entre 6 y 7 metros; cuanto más largas mejor y cuanto más profundamente están metidas en el hielo, mucho mejor. La colocación de las barras se hace directamente, enterrándola en la nieve fresca o si es en verano y no hay nieve suficiente es necesario perforar con berbiquí, descrito más adelante. Es necesario tener presente que por varias causas pueden quedar eliminadas las barras coloca-

das en el glaciar: 1) el movimiento del glaciar lleva hacia la lengua terminal las primeras barras y las deja fuera del hielo, 2) una anormal acumulación puede tapar completamente muchas barras y no se puede leerlas hasta la próxima época de ablación o hasta que ellas queden al descubierto, 3) puede ocurrir el caso contrario: barras que no estuvieron metidas a suficiente profundidad queden a descubierto en una anormal y excesiva ablación y ella caiga sobre el hielo. Teóricamente es necesario tener en cuenta los siguientes factores para determinar el número de barras que se usarán para medir la acumulación y ablación en el glaciar: a) topografía: pendiente del terreno circundante que determina grandemente la caída de nieve acarreada, b) geología y propiedades calóricas de las rocas que determinan diferentes reacciones del hielo, c) área del glaciar: en un glaciar de un área muy grande será necesario poner las barras más alejadas entre sí, d) vientos: los vientos acumulan la nieve en forma muy desigual en la superficie del glaciar, e) pendiente del glaciar, f) *crevases*: su presencia obstaculiza colocar barras donde se desea. En general se puede decir que luego de trabajar un cierto tiempo en un glaciar se conoce por experiencia el número de barras que hace falta.

Colocación de barras: la operación consiste en perforar con el berbiquí (Fig. N° 10) unos 4 ó 5 metros en el hielo y luego meter las cañas o barras hasta el fondo, pues si se trata de un glaciar con balance negativo las barras quedarán al descubierto muy pronto si ellas están metidas pocos centímetros dentro del hielo. Puede también colocarse a continuación de una caña tacuara un caño de aluminio o viceversa. \*

Una vez instaladas las barras en el glaciar se procede a medir la acumulación al fin del invierno; si se desea conocer la relación que hay entre los factores meteorológicos y la acumulación debe medirse tantas veces como las condiciones del tiempo lo exijan (ver p. 5, *Meteorología Glaciar*).

Cuando se ha medido la acumulación en las barras obtenemos la distribución de nieve sobre el glaciar; pero lo que más interesa es el contenido de agua de la nieve; es necesario entonces conocer el espesor de la nieve y la variación del peso específico en las diferentes profundidades y en diferentes perfiles. Es necesario una balanza; puede ser en espiral o del tipo romana. Klein (19, p. 111) considera que la última es ideal para la

---

\* El berbiquí es un gran aliado del glaciólogo, pues no solamente es útil para la ubicación de las barras sino también para extraer el agua para el consumo del observatorio; cuando en invierno todo está helado es necesario perforar en el río o lago para que el agua surja. Por ello es necesario tener en cuenta los siguientes factores en un berbiquí para perforar en el hielo: 1) debe tener un tubo de 3 cm. de diámetro, 2) el interior debe mantenerse limpio y evitar la herrumbre, 3) los dientes deben estar trabados convenientemente, igual que en un serrucho, 4) los dientes deben estar bien afilados.

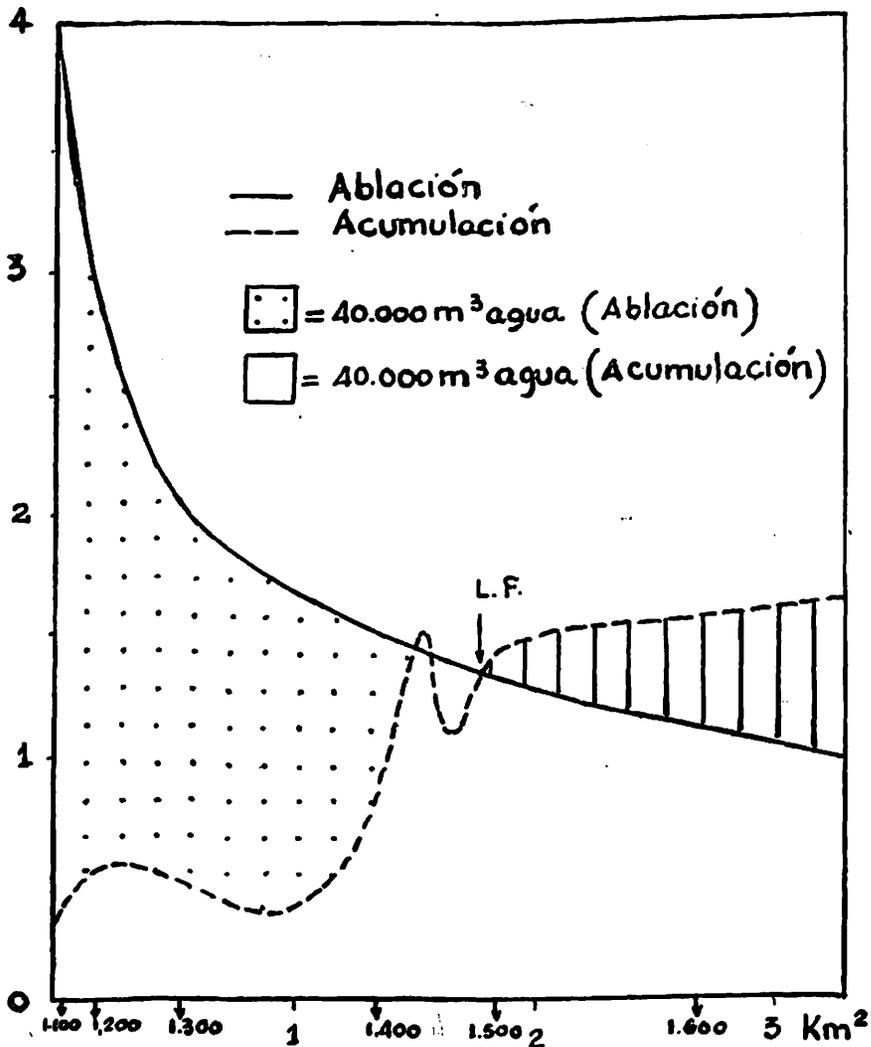


FIG. 11 - Régimen del glaciar Stor durante el año 1945-46, de acuerdo con Valter Schytt. El diagrama representa el régimen en función de la altura sobre el nivel del mar.

medición de la gravedad específica de la nieve y para el porcentaje de agua. Una vez medida la acumulación podemos construir una curva de acumulación en función de las diferentes alturas del glaciar (Fig. N° 11) referidas al nivel del mar.

Durante el invierno 1945-46 en el Stor Glaciär (Glaciar Mayor) la acumulación de nieve fué de 7.000.000 metros cúbicos, lo que es igual a 3.500.000 metros cúbicos de agua (30, p. 27).

Los mismos tubos o cañas que se usan para medir la acumulación en

invierno, nos darán las medidas de la ablación en el verano. La medición de las estacas se hace con un metro de madera, por razones prácticas.

La acumulación siempre es mayor en la zona de acumulación o acumulador y la ablación siempre es mayor en la zona de ablación o ablador. Por ejemplo, para el glaciar Stor corresponde una acumulación del 65 % sobre el límite del *firn* y 35 % debajo de él; para la ablación 65 % debajo de la línea del *firn* y 35 % sobre ella.

Una vez medida la ablación podemos construir una curva de ablación en función de la altura sobre el nivel del mar; podemos así observar en la figura 11, que de la relación de las dos curvas (acumulación y ablación) obtenemos el régimen o balance del glaciar; en el caso de la mencionada figura se trata de un glaciar con balance negativo.

e) *Límite del firn o límite del nevé o límite climático de la nieve.*

Definición: El límite del *firn*, llamado también límite del *nevé* (14, p. 23) o límite climático de la nieve, es la parte donde la acumulación total de un año es igual a la ablación total del mismo año; en la figura N° 11 está marcado donde las dos líneas de acumulación y ablación se cortan (F. L.).

El límite del *firn* es el más alto nivel a que puede llegar en un glaciar la cubierta de nieve al final del verano (1, p. 41); es la línea que separa la zona de acumulación de la zona de ablación; ella varía de acuerdo con los cambios meteorológicos y climáticos. Es necesario tener presente que el límite del *firn* o *nevé* es un límite que solamente se considera para los glaciares, que no debe ser confundida con la *línea temporaria de la nieve* que puede ser apreciada temporariamente en zonas no glaciadas; la línea de la nieve es un nombre no adecuado pues si bien puede apreciarse una línea inferior luego de una precipitación de nieve, ella adquiere las más variadas formas luego que se inicia la fusión y evaporación de la nieve. Su forma depende de muchos factores: 1) precipitación de nieve, 2) irradiación solar (radiación recibida del sol), 3) irradiación de la tierra (radiación emitida por el suelo), 4) albedo (poder reflexivo de la nieve), 5) temperatura del aire, 6) humedad del aire, 7) viento, 8) topografía, 9) posición de las montañas con respecto al sol.

El hecho de que el límite del *firn*, la acumulación y la ablación sean igual a cero, tiene mucha importancia desde el punto de vista glaciológico y climatológico. Pero es necesario tener en cuenta que el límite del *firn* no es una línea recta ni curva sino una complicada figura que resulta de la desigual topografía y de los diferentes factores meteorológicos que varían con el tiempo. Hay dos límites del *firn*: 1) el límite del *firn* temporario, y 2) el límite del *firn* desarrollado o valor medio del límite del *firn* (1, p. 41).

Así también hay dos líneas de la nieve: 1) línea de la nieve temporaria y 2) línea climática de la nieve, entendiéndose por lo primero el límite de la nieve que varía durante los diferentes períodos del año y por línea climática de la nieve el límite más alto a que llega la línea de nieve temporaria. O sea que: límite climático de la nieve es lo mismo que límite del *firn* y límite del *nevé*. De Martonne habla también de dos límites de la nieve: uno orográfico o inferior (temporario) y el climático o superior (13, p. 323). Werenskiold (40, p. 199) lo mismo que De Martonne habla de dos límites de la nieve: orográfico o inferior (temporario) y climático.

Para localizar el límite del *firn* en un glaciar se puede usar el método del *socavón* (*pit method*). Consiste en lo siguiente: al final del invierno, cuando aún quedan algunos parches de nieve sobre el hielo y el límite del *firn* no ha llegado a su máxima altura, se cava en diferentes alturas del glaciar, y se encontrarán diferentes perfiles de nieve y hielo: 1) en la zona de ablación se encontrará nieve muy poco *firmificada* que yace sobre el hielo, 2) más arriba nieve más *firmificada* que yace sobre hielo y 3) más arriba en la zona de acumulación se cambia en *firn* muy granoso y en el cual hay costras y capas de hielo que aumentan en número y en espesor a medida que profundizamos y forman una mezcla de un *firn* duro con hielo y nieve (1, p. 43-44). Entonces inducimos que el límite del *firn* debe pasar por medio de los perfiles 1 y 3 puesto que el perfil 1 corresponde netamente a la zona de ablación y el perfil 3 a la zona de acumulación.

f) *Clasificación de los glaciares*. Se pueden clasificar los glaciares por su forma, por su movimiento y por sus condiciones climáticas; Ahlmann llama a estas clasificaciones, morfológica, dinámica y geofísica; en su clasificación distingue los glaciares de los campos de hielo y de los campos de *firn* o *nevé*.

Con el objeto de que el lector interesado pueda ubicar los glaciares bajo un mismo sistema internacional, traduciré directamente la clasificación morfológica de Ahlmann (1, p. 61) y la de Klebelsberg (18, p. 189).

La clasificación morfológica de Ahlmann (1, p. 61) comprende:

- A) *Glaciares* que se extienden en una capa continua, el hielo se mueve hacia afuera en todas direcciones.
- 1) Glaciares continentales o islas de hielo que cubren una gran área.
  - 2) Glaciares capa, cubren un área menor que 1).
  - 3) Glaciares de altura, cubren la porción más alta y central de un distrito montañoso.
- B) *Glaciares* confinados a una dirección de movimiento más o menos marcada.

- 4) Glaciares de valle de tipo alpino.
  - 5) Glaciares de *transacción* (todo el sistema del valle más o menos cubierto de hielo).
  - 6) Glaciares en circo, localizados en un nicho separado en un lado de la montaña.
  - 7) Glaciares de lado, cubren el lado de un valle o parte de él.
  - 8) Glaciares no fijos.
- C) *Hielo glaciar* que se extiende en grandes o pequeñas capas sobre el nivel del suelo al pie de regiones glaciadas. Ningún glaciar de este tipo es independiente.
- 9) Glaciar de pie de monte formado por la unión de la parte inferior de dos o más glaciares independientes de los tipos 4), 5) ó 7).
  - 10) Glaciar de pie, glaciar de los tipos 4), 5) ó 7), cuya porción inferior es más extendida.
  - 11) Hielo del *Shelf*.

Klebensberg (18, p. 189) acepta dos clases diferentes o tipos: I) Glaciares de tierra y II) Glaciares de mar; al tipo I) lo divide en 3 subtipos: 1) Glaciares en capa, 2) glaciares de montaña y 3) glaciares de tierra. Veremos a continuación estos subtipos:

- 1) *Glaciares en capa*: a) *Inlandeis* (islas de hielo), b) Glaciares en capa, c) Escudos de *firn* y hielo, d) Glaciares de *plateau* y e) Glaciares de altura.
- 2) *Glaciares de montaña*: a) Manchas de hielo y manchas de *firn*, b) Glaciares de batea, c) Glaciares de pie, d) Glaciares colgantes, e) Glaciares de pico, f) Glaciares de valle, g) Glaciares de antepaís, h) Corrientes de hielo en red, i) Ondas de nieve o glaciares de viento.
- 3) *Glaciares de tierra*: Comprenden los glaciares que terminan en el mar o lagos.

El grupo II) Glaciares de mar no tiene subdivisiones.

La importancia mayor de la clasificación morfológica de Ahlmann está en los diagramas de la distribución areal del glaciar; consiste en representar al glaciar en un eje de coordenadas, representando en las abscisas el porcentaje del área total y en las ordenadas los intervalos de altura del glaciar; estos intervalos se los considera divididos en 10 partes; las curvas que se obtienen se llaman *curvas porcentuales del área de distribución de un glaciar*. Cada tipo de glaciar tiene diferentes curvas.

La clasificación dinámica se basa especialmente en el movimiento de

los glaciares; así se habla de un glaciar: 1) Activo, 2) Inactivo o pasivo y 3) Muerto.

En la clasificación geofísica se divide a los glaciares en dos grandes tipos y dos subtipos: Tipo I: Glaciares templados, Tipo II: Glaciares árticos; el tipo II se subdivide a su vez en dos subtipos: A) Glaciares super-árticos y B) Glaciares sub-árticos. Esta clasificación se basa principalmente en las condiciones climáticas, especialmente la temperatura, que es el principal acelerador del proceso de transformación de la nieve en *firn* y en hielo.

*Tipo I: Glaciares templados*, consisten en hielo cristalino formado por una rápida cristalización de la precipitación anual; en verano el área de acumulación está cubierta por una fina capa de *firn* o nieve. La temperatura en todo el glaciar es igual a la temperatura de fusión del hielo; excepto en invierno cuando las temperaturas bajo cero se encuentran hasta algunos metros dentro del hielo. Este grupo incluye glaciares de los Alpes y Escandinavia.

*Tipo II: Glaciares árticos*: consisten (cuando menos en su parte alta) en un duro *firn* formado por una lenta cristalización de la precipitación anual. La temperatura del glaciar es negativa aun en el verano hasta más de 100 m. de profundidad; esto es especialmente para la zona de acumulación.

*Subtipo A): Glaciares super-árticos*: consisten (especialmente en el acumulador) en un *firn* cristalino con temperatura debajo de cero hasta gran profundidad; también en el verano la temperatura es tan baja que no hay fusión del hielo y formación de agua.

*Subtipo B): Glaciares sub-árticos*: consisten en *firn* cristalino (especialmente en el acumulador); la temperatura del verano permite una fusión superficial del hielo y formación de agua. Para ver detalles de estas clasificaciones el lector debe recurrir a (1) y (18).

Es necesario tener en cuenta al clasificar los glaciares desde el punto de vista geofísico, que aún no conocemos la constitución física y las condiciones climáticas de los glaciares tropicales y subtropicales; cuando ellos sean conocidos quizá modificarán algo dicha clasificación.

## Capítulo IV

### PERIGLACIOLOGÍA Y CRIOPEDOLOGÍA

Periglaciología es la disciplina que estudia todos los fenómenos físicos de las regiones situadas en las márgenes de los glaciares presentes y pasados y de las zonas de clima frío, donde el agua actúa, a lo menos parcialmente, bajo forma de hielo (8, p. 1).

Criopedología es la disciplina que estudia las condiciones del agua y del suelo bajo el efecto del frío intenso; es decir el suelo sometido en su totalidad o en parte a un continuado congelamiento y descongelamiento. Por lo tanto ella estudia las formas que se producen bajo esas condiciones ambientales, tales como: a) cuñas de hielo, b) suelos poligonales y estriados (26, p. 7), c) embaldosado de piedras), d) corrientes de bloques (26, p. 7), e) escombros ordenados, f) glaciares de rocas, g) montículos y escalones de pasto (8, p. 3).

De estas dos definiciones podemos desprender que la periglaciología tiene un carácter histórico y actual. La criopedología sería la ciencia del presente criológico y la periglaciología la ciencia del presente y del pasado criológico. Muchas veces es difícil decir si una forma del suelo es un fenómeno presente o pasado (8, p. 5); entonces comprenderemos que no se puede hacer divisiones precisas entre estas dos nuevas disciplinas.

Se habla de *clima periglacial* (8, p. 3) o *clima sub-nival*, de acuerdo con Troll para diferenciarlo del *clima nival* donde hay nieve permanente (36, p. 169). En la figura N° 12 se da la posición de los suelos permanentemente helados (*pergelisol*), la de los suelos *fluidales* y la de los freáticos. Se aprecia además en la figura N° 12 que el límite de la nieve (límite del *firm* o *nevé*) es el que delimita la zona de soliflucción y de los suelos permanentemente helados.

*Clima sub-nival* o *periglacial* es un clima caracterizado por continuos pasos de la temperatura por el punto de fusión y éste no es uno de los principales factores que produce las formas estructurales del suelo enumeradas anteriormente.

Se podría hablar quizá con más corrección de *clima glacial* para el clima que reina sobre el límite del *firm* o *nevé* y *clima sub-glacial* o *periglacial* para el clima que reina debajo del límite del *firm* o *nevé*.

La Periglaciología incluye dentro de su campo la Morfología Periglacial. De acuerdo con la Comisión para el estudio de la Morfología Periglacial (9, p. 4) a la Morfología Periglacial le incumbe el estudio de las siguientes formas:

A) *Formas eólicas*: 1) superficies de deflación caracterizadas por rocas erosionadas por el viento o ventifactos, 2) capas de arenas nivo-eólicas, 3) capas de limo y loess, 4) dunas.

B) *Formas de acumulación fluviales y fluvio marinas*: 5) terraplenamientos aluvionales a brazos divagantes, 6) delta ártico.

C) *Formas que tienen lugar en un medio sólido o plástico*: 7) cuñas de hielo, 8) *mima*, 9) barranca de crioturbación, 10) *criocars*, 11) circos periglaciares (Roth), 12) terrazas de crioplanación (Eakin), 13)

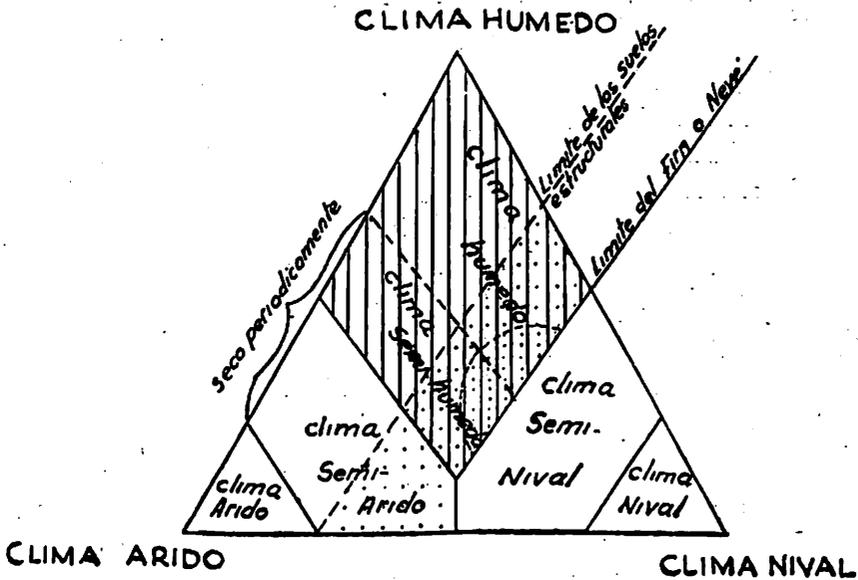


FIG. 12 - Los reinos climáticos del mundo de acuerdo con su acción fisiográfica (C. Troll). Representación diagramática.

escombros ordenados y estratificados, 14) corrientes de bloques sin limo, 15) corrientes limosas con bloques y grava (ripio), 16) corrientes de limo, 17) diques de barro y ripio (Sharp), 18) suelos poligonales y estratificados, círculos de rocas, festones, 19) charcos de tierra, 20) montículos y escalones con pastos, 21) plicaciones e involuciones (Kirk Bryan).

D) *Formas diversas*: 22) glaciares de rocas, 23) enlosado de piedras, 24) pingos (ydrolaccolithe, etc.), 25) turberas en líneas concéntricas, 26) lagos periglaciares (no los lagos producidos por erosión glaciaria, sino lagos formados por fusión del suelo helado) (Black-Barksdale) (Hopkins), 27) valles glaciares disimétricos.

Durante la última década se ha demostrado que los fenómenos periglaciares han jugado un papel mucho más importante que lo que se creía anteriormente. Edelman y sus alumnos, estudiando los fenómenos periglaciares del centro de Holanda, están llegando a un concepto completamente

nuevo sobre el carácter y origen del suelo; de aquí se puede deducir la importancia que estos estudios tienen para la agricultura, especialmente en Argentina, la cual durante la última edad de hielo incluía grandes extensiones de hielo en su territorio (Ver. Cap. VIII).

Resalta más la importancia de los estudios periglaciales si se considera que la economía agrícola, ganadera y forestal de una zona glaciada es muy superior a la de una zona no glaciada.

Como ya se dijo anteriormente, las formas estructurales del suelo se deben al pasaje repetido de la temperatura por el cero grado (0° C.), en presencia del agua del suelo; entonces la zona donde esos procesos están desarrollándose es en las altas montañas y en las zonas polares. Encontramos las formas fósiles en las zonas donde se han desarrollado los hielos de las pasadas glaciaciones, en especial los hielos pleistocenos.

El interés práctico de estos estudios está en el hecho de que las mencionadas bajas temperaturas afectan a las construcciones, pues el congelamiento y descongelamiento es dañoso para el cemento (17, p. 101). En los últimos decenios los intereses económicos y políticos de las naciones se han extendido hacia las zonas polares; ahora es necesario solucionar muchos problemas que se plantean en la construcción de puertos, caminos, aeropuertos y construcciones en general, de dichas zonas heladas.

Para un mejor entendimiento se definirán algunos términos de acuerdo con: (8), (9), (32), (33) y (37).

*Acción eólica periglacial*: es la acción eólica que se desarrolla sobre el material detrítico fluvio-glacial.

*Pergelisol*: suelo permanentemente helado. \*

*Pergelación*: es la formación del pergelisol.

*Despergelación*: es la destrucción del pergelisol.

*Molisol o zona activa*: es la zona del suelo helado que se disuelve anualmente.

*Clima nival*: es el clima que se manifiesta en la zona de la nieve permanente (Troll).

*Clima sub-nival*: es el clima que se manifiesta en la zona de intenso congelamiento del suelo (Troll).

*Soliflucción*: es el proceso de flucción del suelo y ese movimiento pro-

---

\* Muchos autores usan como sinónimo de pergelisol la palabra sueca *tjäle*, que significa suelo helado (37, p. 163), (32, p. 172), (14, p. 459), (13, p. 860); el sueco Lundqvist (25, p. 376-77) considera como *tjäle* la parte del suelo que está sujeta a continuas dilataciones y contracciones por efecto del paso de la temperatura por el 0° y 4° C., explicando así la causa de la formación de los suelos estructurales. *Tjäle* en ruso se denomina *merzlotá* y en él se han encontrado muchos mamutes enteros (8, p. 861).

duce las formas características enumeradas arriba: cuñas de hielo, suelos poligonales y estriados, corrientes de piedra, etc., etc.; esta palabra existe en inglés como solifluction, en alemán solifluktion, strukturböden, en sueco flytjord, flytmark.

*Suelos estructurales*: son cualesquiera de las formas que estudia la criopedología y se forman por soliflucción.

*Ventifactos*: rocas facetadas por viento; se designa en inglés con los siguientes nombres: ventifacts, wind faceted stones, wind faceted pebbles, wind worn pebbles, wind cut stones; en alemán con los términos kantergeschiebe, ventifacts.

En los idiomas anglosajones existe una enorme variedad de términos diferentes para designar el mismo fenómeno y términos iguales para diferentes fenómenos: ésta es una de las dificultades con que se tropieza en estos estudios.

Se comprenderá la importancia de la Periglaciología al pensar en la relación que existe entre el clima y la formación del pergelisol o molisol, pues éstos son elementos valiosos para el estudio del paleoclima. O sea, si se encuentran suelos estructurales donde el clima *no es sub-nival (periglacial o sub-glacial)*, es decir un clima con temperaturas que permitan la vida de vegetales, ello nos da una rápida indicación de cambios climáticos. La Periglaciología se convierte así en un poderoso aliado de la Paleoclimatología.

Estudiando el suelo permanentemente helado (pergelisol) en Siberia, se ha comprobado que su límite sur se ha retirado considerablemente hacia el norte (2, p. 187). Es de imaginarse la importancia que este hecho tiene para la economía rusa pues ello significa que zonas que nunca se cultivaron, ahora entran a desempeñar papel en la ganadería, agricultura y en los bosques. Según Cailleux (8) para los trabajos de campo en criopedología deben tenerse presente los siguientes factores:

<i>Estudios cualitativos</i>	<i>Estudios cuantitativos</i>
1) Formas planimétricas . . .	} Dibujos fotos dimensiones en cm.
2) „ en relieve . . . . .	
3) „ en corte . . . . .	
4) Relación con las rocas del lugar . . . . .	Distancia topográfica
5) Profundidad del subsuelo helado . . . . .	En centímetros.
6) Relación con la topografía .	Rumbo y buzamiento (sombras proyectadas)

- 7) Relación con la vegetación . Colección de plantas.
- 8) Granulometría global . . . . . Colección de muestras.
- 9) Disposición de los elementos Fotos y estadísticas.
- 10) Temperatura del aire y del  
suelo . . . . . Tomar temperatura, fecha y hora.

Las experiencias que pueden hacerse se basan en pintar piedras con diferentes colores cada año y observar sus posiciones; al mismo tiempo cambiar el orden de ciertos tipos de suelos para ver si se forman nuevamente.

No entraré a desarrollar las variadas teorías sobre la formación de los suelos estructurales pues nos saldríamos del marco trazado para el presente trabajo. El interesado encontrará muy buena información sobre el particular en: *The Journal of Geology*, Vol. 57, March 1949, N° 2, pp. 101-238; Carl Troll: *Strukturböden Solifluktion und Frostklimate der Erde*; Geologische Rundschau, Band 34, Heft 7-8, pp. 545-694, 1944; Cailleux, A., *Etudes de Cryopedologie, Expeditions polaires françaises, Missions Paul-Emile Victor, Expedition Arctique*, Section des Sciences Naturelles, Paris, 1944.

## Capítulo V

### CRONOLOGÍA GLACIAR

Entre los métodos de Cronología Glaciar consideraremos los que se basan en el análisis de: 1) velocidad de invasión de las plantas, en los diferentes sistemas de morenas, 2) *varves*, 3) estrías.

Cuando se estudia un glaciar o una zona glaciada, debemos considerar que investigamos sus condiciones en el espacio y en el tiempo. Ya vimos algunos de los caracteres espaciales: tamaño, forma, cristalografía, etc. Ahora veremos qué estudios se pueden hacer en un glaciar con el concepto del tiempo y, a partir de sus pulsaciones, trataremos de adoptar una escala de tiempo que nos servirá para comparar con otras escalas de otras zonas glaciadas.

Cuando se estudia el aspecto temporal de la Glaciología se plantea un interrogante que constituye un verdadero problema en las ciencias naturales: si las glaciaciones del mundo son sincrónicas. . . . .

A continuación se detallarán someramente los tres aspectos de la investigación cronológica glaciar: . . . . .

1) *Velocidad de invasión de las plantas en los diferentes sistemas de morenas*: Cuando un glaciar está en equilibrio o balance positivo, al cabo

de algunos años edifica en la parte frontal del hielo un muro o terraplén de rocas, que se designa con el nombre de morena frontal; luego el glaciar puede tener un balance negativo y su volumen disminuye sin edificar morena hasta que vuelve otra vez a un balance positivo en equilibrio y edifica otra morena; así se han formado dos morenas que están separadas entre sí en el tiempo y en el espacio. El espacio lo medimos con una cinta y esa cifra obtenida, junto con la pendiente, el tamaño del glaciar, las precipitaciones, temperatura, movimiento, vientos, etc., nos dará la causa de tal comportamiento del glaciar. Pero cuando debemos ubicar el fenómeno en el tiempo podemos utilizar la velocidad de invasión de las plantas. Si un glaciar está edificando una morena, reina en ella una temperatura anual media que está debajo del 0° C.; de manera que no existen condiciones muy aptas para el desarrollo de plantas. No ocurre lo mismo en las morenas alejadas del hielo (que fueron edificadas anteriormente) donde las condiciones de temperatura son más favorables para la vida de las plantas. Así, las morenas más apartadas del glaciar son las más viejas y, teóricamente deben tener una flora mucho más completa que la morena que está próxima al hielo. El método consiste en elaborar una escala cronológica en un sistema de morenas bien desarrollado, estudiando las variedades de plantas que caracterizan cada sistema y buscar al mismo tiempo datos históricos que complementen dicha escala. Una vez en poder de tal escala, podemos compararlos con otros sistemas de morenas de la misma región y de zonas alejadas.

Estudios efectuados en Laponia por Erik Bergström, nos dicen que cuando una morena es edificada y liberada por un glaciar, un líquen negro es el primero que invade. Así se pudo observar en Kebnekajse en el Stor Glaciär que de las tres morenas que edificó, la primera fué construída en el año 1750 y su flora se compone de gramíneas, compuestas, etc.; la segunda fué edificada en el año 1800 y la distribución de las plantas es diferente; la tercera morena fué edificada en 1920 y allí viven solamente líquenes. Actualmente el glaciar se encuentra en un balance negativo y no edifica ninguna morena. Es necesario tener en cuenta que la distribución de la vegetación depende de las diferencias de altura entre las diferentes morenas.

2) *Los varves*: La idea de utilizar los *varves* \* como una escala cronológica partió del investigador sueco, el barón Gerard de Geer (Stockholm). Se designa como *varve* un sedimento laminar muy fino que se forma

---

\* *Varve*, es una palabra de origen suevo (*varv*) que significa: vez, vuelta, turno, situado en capas o estratificado.

anualmente; consta de una parte inferior gruesa, que se forma en verano, y de una parte superior fina, que se forma en otoño e invierno.

Los *varves* fueron y son formados donde los glaciares descargan su agua de fusión en aguas tranquilas (42, p. 20). Ellas pueden ser un lago, una bahía o un río tranquilo.

El método consiste en cortar una sección de los *varves* con una pala, y luego marcar las diferentes bandas en un rollo de papel y compararlas con otras secciones (12, p. 20-21). En el desarrollo final de su método, de Geer fué impresionado por la idea de que los *varves* podrían ser conectados no solamente entre regiones de un mismo país sino también entre continentes antípodos: por ejemplo Escandinavia y sur de América del Sur (11). Esto es lo que se llama teleconexiones. La idea de las teleconexiones tiene muchos argumentos en contra y ha encontrado una fuerte oposición en los últimos años. Es necesario pensar que los *varves* deben su formación a diferentes factores: 1) geológicos, 2) topográficos, 3) climáticos, 4) hidrológicos, quizá 5) planetarios, 6) cósmicos. Desenredar una tal trama de tan diversos factores y complejos procesos no es fácil ni sencilla operación.

Importante es notar que con el método de análisis de *varves* se ha obtenido una escala o *almanaque* que en Escandnavia abarca 15.000 años (12, p. 45) y con él se ha deducido la evolución del hielo continental nor-europeo de la última glaciación.

3) *Estrías*: Este nuevo método está siendo desarrollado por Erik Ljungner en la Universidad de Lund; el método consiste en medir las estrías que producen las rocas que transporta el hielo en su movimiento.

Las rocas que son llevadas por el movimiento del hielo chocan y friccionan a las rocas firmes produciendo rupturas y estrías. Para este método se consideran especialmente las estrías producidas en las rocas firmes de la corteza de la tierra. Según Ljungner se puede deducir la dirección e intensidad de las corrientes de hielo, estudiando la intensidad y dirección de las diferentes estrías (4). Es necesario medir la dirección de las estrías predominantes y ver cuál dirección corta o es cortada por otra. Estudiando estrías, se han elaborado mapas en detalle del avance del hielo en Escandinavia (24, p. 5).

Ljungner cree haber encontrado que la posición del *divortium* del hielo en el norte de Suecia estuvo primero en el oeste, luego migró hacia el este, adquiriendo más tarde una posición intermedia.

Este método es criticado por los glaciólogos puros con los siguientes argumentos: a) no se conoce cuál es el estado físico del hielo en las diferentes profundidades, b) cuál es el efecto mecánico, c) cómo se mueven las

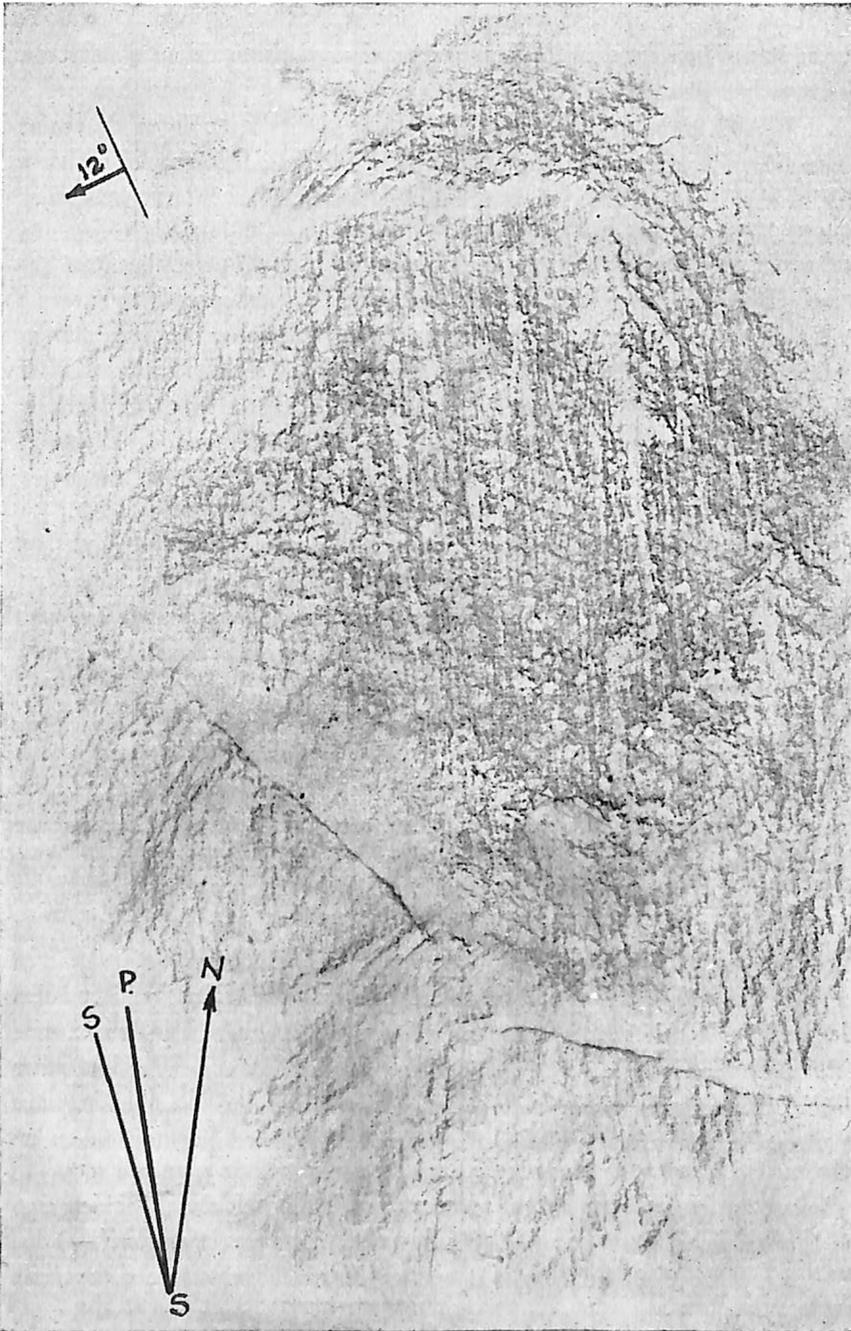


FIG. 13 - Obtención de estrías glaciares por calco, Noreste de Uppsala, Suecia; puede apreciarse una dirección predominante P. y una secundaria S. Arriba los 12° del buzamiento de la roca pulida. - De acuerdo con el método original del autor.

rocas que viajan en el hielo, d) cómo es el movimiento de un glaciar con balance negativo, etc.

Por su parte el que escribe ha logrado buenas impresiones de estrías por medio de calcos con lápiz (Fig. N° 13). Esta figura debe ser vista desde 40 centímetros de distancia y ella debe estar lo menos perpendicular que se pueda a los ojos del observador; se podrá así observar que hay una dirección que es predominante y forma un ángulo de  $17^\circ$  con el norte magnético (línea B). Hay además otra línea que se llama secundaria y forma un ángulo mayor con la línea magnética pero hacia el oeste. Lamentablemente como la técnica era nueva no se cuidó el detalle siguiente: al pasar el lápiz, éste no debe dejar huellas de su recorrido; en la figura puede verse el recorrido del lápiz que es perpendicular a la línea N. S. Es necesario tener en cuenta que al calcar, el sentido del lápiz debe ser perpendicular a la dirección de las estrías.

Para el estudio de las estrías siempre es necesario elegir las rocas que tienen una estructura fina y que son duras; ejemplo: pórfidos, cuarcitas, grauvacas, basaltos, etc. En dichas rocas las estrías se dibujan y conservan muy nítidamente, pudiendo ser leídas con gran claridad.

## Capítulo VI

### GLACIOLOGÍA, RAMAS CONEXAS Y PALEOCLIMATOLOGÍA

1) De lo anteriormente anotado se deduce que a partir de las investigaciones sobre oscilaciones de glaciares se sacan conclusiones, quizá las más seguras, sobre los cambios climáticos y por lo tanto sobre paleoclimatología.

Las observaciones sobre fluctuaciones del hielo deben ser ayudadas con datos históricos para ubicar los acontecimientos en las fechas exactas de nuestro calendario. Thorarinsson en Islandia (35, p. 50), al estudiar las oscilaciones de los glaciares de aquella isla, ha llegado a interesantes conclusiones para el paleoclima de aquellas regiones. Él representa en un eje de coordenadas los años y en el otro eje los metros de avance o retroceso del hielo; considera como cero metro un lugar fijo y desde allí mide como positivos (+) los metros hacia un lado del cero y como negativo (—) los metros hacia el otro lado del cero; o sea lo que el hielo avanza o retrocede respectivamente.

Ahlmann, al estudiar los glaciares del oeste de Spitsbergen (1, p. 70), llegó a concluir que la última glaciación pleistocena disminuyó continuamente durante el período caliente post glacial y los glaciares se redujeron a una

fracción de su actual tamaño. Durante el período siguiente, que fué de clima frío, los glaciares avanzaron nuevamente y alcanzaron su máxima extensión tan recientemente que ellos empezaron a retroceder recién en 1890.

Es tan importante el significado de la Glaciología para el conocimiento de la Paleoclimatología, que gran parte de las contribuciones que se publican, versan sobre las relaciones entre los cambios de clima y las condiciones de la glaciación, especialmente la Pleistocena.

2) Como ya se indicó en la parte Periglaciología-Criopedología, el estudio de la variación de los límites de la soliflucción nos informa sobre las respectivas oscilaciones del clima. Hay dos límites de soliflucción (37, p. 168): uno horizontal y uno vertical. El primero nos lleva a estudiar el desarrollo de los cambios climáticos en función de la latitud y, el segundo, en función de la altitud.

Schafer al estudiar ciertas características periglaciares en la parte central de Montana ha comprobado que para que se forme un suelo permanentemente helado en esa zona de suelos poligonales fósiles es necesario un descenso de 8° C. de la temperatura media anual (32, p. 154). O sea, que desde la formación de esos suelos poligonales hasta el presente, la temperatura media anual ha subido 8° C. De aquí se deduce la enorme importancia que la Periglaciología y la Criopedología tienen para el estudio del Paleoclima.

Si pensamos en la gran variedad de formas periglaciares y en su amplia distribución, entonces se valora mucho más su importancia para el conocimiento de la historia de los climas de la tierra. De acuerdo con recientes estudios hechos en Rusia se ha comprobado que el límite sur del suelo permanentemente helado de Siberia (*merzlotá*), se ha retirado hacia el norte entre 10 y 40 Km. La presencia de ejemplares enteros de mamut encontrados en dichos suelos permanentemente helados en varios puntos vecinos a las costas de Siberia nos prueba que ellos no se disolvieron nunca después de la glaciación Pleistocena (13, p. 861).

Otra prueba de la importancia de la soliflucción para el conocimiento del paleoclima la obtenemos del hecho siguiente: Ahlmann, citado por Schafer, (32, p. 172) interpreta la ausencia de suelos poligonales en Escandinavia debido a que cuando el hielo de la última glaciación se disolvía, en el sur de Suecia, ya se había terminado el clima polar o clima subglacial que es el productor de los suelos estructurales.

3) Estudiando con detalle las rocas facetadas por el viento (ventifactos), obtenemos conclusiones positivas y seguras sobre las direcciones predominantes de los vientos en los últimos centenares o miles de años. En una zona donde estos estudios pueden desarrollarse es necesario contar con

las siguientes condiciones: 1) la presencia de *rocas fijas* de diferentes tamaños donde se estudiarán las direcciones de las facetas, 2) ausencia relativa de vegetación, especialmente de hierbas, 3) presencia de adecuado material abrasivo (arena), el que llevado por el viento desgasta las rocas, produciendo caras, acanaladuras y agujeros (35, p. 178), 4) presencia de vientos de una intensidad tal que arrastren el material abrasivo. Considerando todos estos factores deducimos que la Patagonia y las partes elevadas de la Cordillera de los Andes son lugares ideales para estos estudios. El que suscribe ha encontrado diferentes rocas facetadas con acanaladuras y agujeros cerca de la Laguna Diamante entre 3.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar, en el camino al Observatorio de Altura de la Universidad Nacional de Cuyo; ellas muestran acanaladuras que indican la dirección predominante del viento del oeste. Esta zona es ideal para estos estudios.

Investigaciones detalladas de los ventifactos de nuestro país nos darían informaciones muy útiles sobre las direcciones predominantes de los vientos pasados y con ellas podríamos explicar con base más segura muchos aspectos de arrastre y sedimentación de nuestras llanuras.

4) En los pasados años pareció que los estudios teóricos sobre radiación de Milankovitch traerían la solución adecuada para el conocimiento de la historia de los climas de la tierra. Pero hoy esta teoría está cayendo bajo el peso de poderosos argumentos en contra; y como Flint (14, p. 507) lo ha puntualizado, los más poderosos son: 1) en las conclusiones teóricas de Milankovitch se supone que las épocas glaciales no son simultáneas en ambos hemisferios; pero en cambio las observaciones directas de las oscilaciones de los glaciares nos dicen que ellos están reduciéndose simultáneamente en todo el mundo (en el Ártico, en el Antártico \* y en el Ecuador), 2) la elevación de la temperatura en los últimos 200 años ha afectado a ambos hemisferios, 3) solamente se considera el factor radiación solar y no contempla la importancia que tiene la distribución de la tierra y el agua en la glaciación, 4) Simpson considera que la disminución de temperatura es demasiado pequeña para producir glaciación, 5) los cálculos de Milankovitch y los de Simpson no dan los mismos resultados considerando idénticos factores básicos.

---

\* Ahlmann al considerar la actual fluctuación del clima constatada en diferentes partes del mundo, opina que es necesario estudiar con detenimiento los glaciares del Antártico, para saber si la fluctuación del clima también se hace sentir en ese continente; si fuera así (1, p. 80) "La fluctuación actual del clima sería global o mundial y por lo tanto sus causas de origen cósmico; y si no fuera así, la perspectiva del problema sería diferente".

## Capítulo VII

### GLACIOLOGÍA Y OCEANOGRAFÍA

Las oscilaciones de la fusión del hielo de la tierra y del mar producen cambios en el nivel medio del mismo.

Thorarinsson ha estudiado el efecto de la fusión de los glaciares en el nivel medio del mar y ha llegado a concluir que en las últimas décadas el nivel medio de los mares ha subido un milímetro cada doce años; o sea que en 20 años subió un centímetro (35, p. 151).

Estudios de Gutenberg sobre registros de un gran número de mareógrafos de la tierra indican que el nivel medio del mar ha empezado a levantarse a principios de 1880-1890 en algunas estaciones y, en otras, sólo en 1905-1910 (1, p. 75).

Las mediciones del nivel medio del mar se hace con aparatos especiales que se designan con el nombre de mareógrafos. No cualquier zona de la tierra es adecuada para el estudio de las oscilaciones del nivel del mar; así, particularmente apto es el Báltico, pues carece de mareas y las innumerables islas protegen contra los cambios bruscos de nivel (20, p. 244). En el año 1939 Suecia ya tenía nueve estaciones mareográficas (6, p. 133); ellas están situadas a lo largo de su accidentada costa. Al mismo tiempo que se producen fluctuaciones en el nivel medio del mar, tienen también lugar oscilaciones del nivel medio de la tierra, pues es conocido que ella está sometida a oscilaciones verticales; por ello, siempre que se hacen cálculos de las variaciones del nivel medio del mar, es necesario introducir en las operaciones, las cifras de los movimientos de la tierra. Bergsten, al hacer un análisis de los registros de nueve mareógrafos de Suecia, informa que (6, p. 142-145) el levantamiento medio de Estocolmo fué de 0.45 m. por año entre 1825 y 1927; en cambio en el período 1887-1927 el levantamiento fué de 0.33 m. por año, o sea que en los últimos años tiende a ser menor.

El levantamiento del nivel del mar con respecto a la tierra es considerado como positivo (+) y el hundimiento como negativo (—). El levantamiento de la tierra con respecto al nivel del mar es negativo (—), y el hundimiento de la tierra con respecto al nivel del mar es positivo (+) (4, p. 243). Con la última fusión de los hielos el nivel de los mares del mundo ha subido entre + 0,5 mm y + 1 mm por año; pero el levantamiento de las costas de Suecia (Estocolmo especialmente) (6, p. 140), fué entre 1887-1927 de 0.3 cm/año; ello significa que el levantamiento de la tierra se está anulando. Ahlmann interpreta esto como un incremento

del levantamiento del nivel del mar por efecto del incremento de la fusión de los glaciares. Lógicamente si tenemos un valor  $+ 0.5$  de levantamiento de nivel del mar, será anulado por otro valor  $- 0.5$  del levantamiento de la tierra con respecto al mar.

Ya se conoce muy bien por estudios efectuados en el hemisferio norte que, con la última fluctuación climática, se ha incrementado la temperatura del aire y del agua, lo que ha traído una reducción del espesor y del área del hielo del mar. Esto es de gran beneficio para la navegación. El límite sur del hielo flotante o hielo de mar, en el mar Ártico, se ha retirado hacia el norte por centenares de Km. (7, p. 21). De acuerdo con estudios de los rusos, especialmente por aerofotografías, se ha comprobado que la zona ártica soviética de los hielos flotantes se ha reducido en no menos de 1.000.000 de Km.<sup>2</sup> en menos de 20 años (entre 1924-1944) (2, p. 187).

Lógicamente que estos cambios en la temperatura del mar y tierra traen como consecuencia migraciones de flores y faunas marinas y terrestres; factores éstos que tienen una influencia considerable en la economía de los países pesqueros, agrícolas y ganaderos (10, p. 38) (26, p. 68).

Aún no sabemos cómo es el mecanismo de las oscilaciones del hielo marino y terrestre en el Antártico; su conocimiento nos aportaría indudables beneficios económicos, no sólo en lo que se refiere a las condiciones para la caza y la pesca, sino también en cuanto al aprovechamiento de los recursos del suelo, el cual, libre de esa capa de hielo, presenta condiciones más aptas para su explotación.

El estudio de las condiciones físicas del agua de mar y su relación con la formación del hielo marino, no sólo es de utilidad para el conocimiento de sus condiciones físicas, sino también para la comprensión de muchos fenómenos biológicos que están estrechamente vinculados a la industria de la pesca.

## Capítulo VIII

### GEOLOGÍA GLACIAR

La Geología Glaciar estudia el trabajo presente y pasado del hielo, considerando sus condiciones asociadas.

En el amplio campo que le incumbe, la Geología Glaciar estudia la formación y constitución de las morenas y del acarreo glacial y el origen de los elementos constitutivos de dicho acarreo; o sea el mecanismo de la erosión y del transporte del hielo.

No se desarrollará este tema con detención, debido a razones de espacio y tiempo; el lector interesado encontrará amplia información en los

recientes libros de Flint y Klebelsberg (18), donde se estudian estos temas con profundidad.

El estudio de los suelos formados por acción glaciár (acarreo glaciár) ha demostrado ser de gran valor económico. Estudios de Geografía Económica efectuados en Wisconsin (EE. UU.) indican que desde el punto de vista agrícola, ganadero y forestal, una región glaciada resultó superior a una no glaciada (22, p. 320-321). Por ejemplo, la producción de cereales de la zona glaciada es de 16 % mayor que la zona no glaciada; el valor total de dos estancias de igual superficie es para la glaciada 249 y para la no glaciada 179; el valor total de los cereales que se cosechan en una zona glaciada, cada 1.852 m<sup>2</sup>. es de 3.828 dólares y en la zona no glaciada 2.690 dólares; de aquí se deduce la importancia que tiene para un país el estudio de la glaciación. Para nuestro país esto tiene gran importancia, pues de acuerdo con las últimas investigaciones de Geología Glaciár efectuados por V. Auer (38, p. 312-313) se ha descubierto una morena en Lonco Vaca (Neuquén) y, de acuerdo con el mapa que da el autor, el hielo continental ocupó cuando menos un 30 % del territorio argentino.

Es muy conocido además que muchos depósitos de minerales se encuentran asociados a un acarreo glaciár.

No se entrarán a describir los diversos fenómenos que resultan de la erosión y deposición de los diferentes tipos de glaciares (ver clasificación de p. 19); ellos serán analizados con detenimiento en otra oportunidad.

## Capítulo IX

### GEOMORFOLOGÍA GLACIAR

Hay dos caminos para estudiar la Morfología Glaciár: 1) medición e interpretación de las formas producidas por los glaciares pasados, 2) medición e interpretación de las formas que actualmente se están produciendo en los hielos presentes. El primer modo es el clásico y se puede decir que es más vulnerable a la crítica debido a que sus bases son menos objetivas, pues solamente trabaja con los efectos (las formas). El segundo método es más moderno y su esfera de acción está muy unida a la Glaciología Pura; sus bases son menos vulnerables pues trabaja con las causas (hielo) y con los efectos físicos (las formas).

Con la expansión de los intereses económicos hacia las zonas polares, se puede hoy vivir en las zonas heladas donde se están produciendo muchos fenómenos glaciares y estudiarlos con relativa facilidad y comodidad; esto no podía hacerse en tiempos pasados. Hoy se puede vivir en el Ártico y en el Antártico y estudiar cómo operan los diferentes tipos físicos de hielos

enumerados en las clasificaciones geofísica, dinámica y morfológica. Pero para que la Morfología Glaciar sea una disciplina científica, ella debe llenar los requisitos que exige el progreso de las ciencias, o sea, debe manifestar cada vez una mayor tendencia analítica, basada en mediciones y estudios físicos.

El estudio de las condiciones de las capas de hielo de Islandia ha mostrado el origen de algunas formas glaciares que anteriormente fueron muy discutidas: Lewis (21, p. 315), ha mostrado un *esker* (llamado también *As* en sueco) \*, en proceso de formación en Islandia. Un *esker* es una colina larga y sinuosa que se forma por acarreo del agua que circula debajo de las capas de hielo (22, p. 313).

En la Laponia sueca el equipo de glaciólogos que trabajó en 1949 bajo la dirección del profesor Hans W: son Ahlmann, encontró una curiosa forma glaciar que era puesta al descubierto cuando la capa de hielo que la cubría se retiraba a una velocidad de 2-3 metros por día (en el verano). Dichas formaciones, como rodillos alineados paralelamente, recuerdan mucho la forma de presentarse de los *drumlins* \*\*. Los *drumlins* son formaciones glaciares que se caracterizan por presentarse en forma de ahusadas y en líneas paralelas o casi paralelas (22, p. 306) (15, p. 680) (14, p. 122). Las formas encontradas en Laponia han sido medidas cuidadosamente por el glaciólogo V. Schytt y el autor; se encontró que cada cadena estaba separada de la otra por espacios diferentes que oscilaban entre 70 cm. y 2-3 metros; el largo de las colinas era diferente, variando entre pocos centímetros a varios metros. Las colinas estaban alineadas en la misma dirección del movimiento del hielo.

En el hemisferio norte han tomado un gran incremento los estudios en las zonas glaciadas de las altas montañas y de las zonas polares, pues allí pueden ser medidos hoy, los procesos que actuaron en las pasadas glaciaciones.

La Antártida y el hielo continental de la Patagonia, ocupan un lugar de preponderancia en estos estudios: allí podemos estudiar los procesos que originaron muchas condiciones actuales de nuestro suelo.

En esta parte, igual que en la anterior, no serán tratados los diferentes métodos y elementos básicos para el estudio de la morfología producida en sus diferentes tipos. Serán considerados extensamente en otra oportunidad.

DR. A. E. CORTE

---

\* *As* es una palabra que deriva del sueco y significa colina o montaña.

\*\* *Drumlin* es una palabra irlandesa que deriva del galo "drum"; significa la cresta de una montaña (14, p. 121).

BIBLIOGRAFIA CITADA EN EL TEXTO

- 1) AHLMANN HANS W: SON, 1948, Glaciological Research on the North Atlantic Coasts, Royal Geographical Society, R. S. N° 1, London, pp. 1-83.
- 2) AHLMANN HANS W: SON, 1948, The Present Climatic Fluctuation, The Geographical Journal, Vol. CXII, N° 4-6, Oct-Dec. pp. 165-195.
- 3) AHLMANN HANS W: SON, 1948, Den Planerade Nosk-Svensk Brittiska Antarktis expeditionen, Medelände Geografiska Institutet vid Stockholm's Högskola, N° 74, pp. 241-267.
- 4) AHLMANN HANS W: SON, and DROESSLER, G. E., 1949, Glacier Ice Crystal Measurements at Kebnekajse, Sweden, Journal of Glaciology, Vol. I, N° 5, pp. 269-274.
- 5) AHLMANN HANS W: SON, 1949, De Glaciologiska Undersökningarna i Kebnekajse 1946-1949, Medd. Geografiska Inst. Stockholm's Högskola, N° 77, pp. 106-127.
- 6) BERGSTEN, F., 1939, Den Nutida Landhöjningen vid Sveriges Kuster, Ymer H. 2 Stockholm, pp. 131-149.
- 7) BROOKS, P. E. C., 1949, Post Glacial Climatic Changes in the Light of Recent Glaciological Research, Geografiska Annaler, XXXI, 1-4, pp. 21-24.
- 8) CAILLEUX, A., 1948, Études de Cryopedologie; Expéditions Polaires Françaises; Missions Paul-Emile Victor; pp. 1-67.
- 9) CAILLEUX, A., 1950, Circular de Instrucciones para los trabajos de Morfología Periglacial enviada a los miembros de la Comisión para el Estudio de la Morfología Periglacial (inédito). pp. 1-5.
- 10) CORTE, A. E., 1949, La Expedición Antártica Noruega-Sueca-Británica; Bol. Estudios Geográficos Univ. Nac. Cuyo; Vol. I, N° 4, pp. 37-44.
- 11) CALDENIUS, C. Z: SON, 1932, Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego; Con un sumario en Inglés. Data 17 fr. Stockholm's Högskolas Geogronologiska Institutet, Geografiska Annaler, H. 1-2.
- 12) DE GEER, G., 1940, Geochronologica Suecica Principes, Kungl Vetenskapsakademien Handlingar, Tredje Serien Band 18, N° 6.
- 13) DE MARTONNE, E., 1949, Traité de Géographie Physique; Tome I-II; Librairie Armand Colin, Paris.
- 14) FLINT, R. F., 1947, Glacial Geology and the Pleistocene Epoch, John Willey and Sons, New York.
- 15) HINDS, A. E. N., 1943, Geomorphology; The evolution of Landscape, New York Prentice Hall.
- 16) HOLMES, A., 1948, Principles of Physical Geology, Thomas Nelson and Sons.
- 17) KIRK BRYAN, 1949, The Geologic Implications of Cryopedology, The Journal of Geology, Vol. 57, March 1949, N° 2, pp. 101-104.
- 18) KLEBELSBERG, R. V., 1948, Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Wien, Springer Verlag, Band I.

- 19) KLEIN, J. G., 1949, Canadian Survey of Physical Characteristics of Snow-Covers, *Geografiska Annaler*, XXXI, H. 1-4, pp. 106-124.
- 20) LAKE, P., 1948, *Physical Geography*, Cambridge University Press.
- 21) LEWIS, V. W., 1947, An Esker in Process of Formation: Böverbreen, Jotunheimen, *The Journal of Glaciology*, Vol. I, N° 6, pp. 314-319.
- 22) LOBECK, A. K., 1939, *Geomorphology, An Introduction to the study of Landscapes*, Mc Grow Hill Book Co.
- 23) LJUNGNER, E., 1949, East-West balance of the Cuaternary Ice Caps in Patagonia and Scandinavia, *Bull. Geological Instituto of Uppsala*, Vol. XXXIII.
- 24) LUNDOVIST, G., 1942, *Norrland, Natur, Befolkning och Näringar, Geografiska förbundet i Stockholm*.
- 25) LUNDOVIST, G., 1948, *De Svenska Fjälens Natur, Svenska Turistföreningens, Handböcker 2*.
- 26) LYSGAARD, L., 1949, *Recent Climatic Fluctuations, Folia Geographica Danica*, T. V., Kobenhavn.
- 27) NANGERONI, G., 1949, *Appunti di Geomorfologia del Livignasco; L'universo, Riv. dell Istituto Geografico Militare, Anno XXIX, N° 3*.
- 28) PERUTZ, F. M., 1950, Direct Measurement of the velocity distribution in a vertical profile through a Glacier, *Journal of Glaciology*, Vol. I, N° 7, pp. 382-388.
- 29) SELIGMAN, G., 1949, The Growth of Glacier Crystal, *Journal of Glaciology*, Vol. I, N° 5, pp. 254-274.
- 30) SCHYTT, V., 1947, *Glaciologiska Arbeten i Kebnekajse, Ymer H. 1, Stockholm*, pp. 18-42.
- 31) SCHYTT, V., 1949, Re-freezing of the melt-water on the surface of glacier ice, *Geografiska Annaler*, XXXI, Häfte 1-4, pp. 222-227.
- 32) SCHAFER, P. J., 1949, Some Periglacial Features in Central Montana, *The Journal of Geology*, Vol. 57, N° 2, pp. 154-174.
- 33) SHARP, P. R., 1949, Pleistocene Ventifacts East of the Big Horn Mountains, Wyoming, *The Journal of Geology*, Vol. 57, N° 2, pp. 175-194.
- 34) SVERDRUP, U. P., JOHONSON, W. M., FLEMING, H. R., 1946, *The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology*, Prentice Hall, New York.
- 35) THORARINSON, S., 1940, Present Glacier Shrinkage and Eustatic Changes of sea-level; *Geografiska Annaler* H. 3-4, pp. 131-159.
- 36) THORARINSON, S., 1943, Oscillations of the Iceland Glaciars in the last 250 years; in *Vatnajökull Scientific Results of the Swedish Ice landic Investigations 1936-37-38, Geografiska Annaler 1937-40-43*.
- 37) TROLL, C., 1947, Die formen der Solifluktion und die Periglaziale Bodenabtragung; *Erdkunde*, Band I, L. H. 4-6, pp. 162-175.
- 38) AUER, VAINO, 1948, Las capas volcánicas como nuevo método de cronología postglacial; *Gaea*, VIII, pp. 31-336, Buenos Aires.

- 39) WALLÉN, C. C., 1949, Glacial Meteorological investigations on the Korsá Glacier in Swedish Lapland 1942-1948, *Geografiska Annaler* 1948-49.
- 40) WERENSKIOLD, W., 1948, *Fysisk Geografi* (tomo I-II), Forlagt av H. Aschehoug & C<sup>o</sup>. (W. Nygaard), Oslo.
- 41) WILLET, C. H., 1949, Long Period Fluctuations of the General Circulations of the Atmosphere, *Journal of Meteorology*, Vol. CXII, N<sup>o</sup> I, pp. 34-50.
- 42) ZEUNER, F. E., 1946, *Dating the Past, an instruction to Geochronology*, Methuen & C<sup>o</sup>, London.