

Contribuciones técnicas sobre 3
hidrología

Microsystem - MOP_DGA



6LA-2319
C.1

En esta serie:

1. Perennial Ice and Snow Masses. A Guide for
Compilation and Assemblage of Data for a World
Inventory.
2. Seasonal Snow Cover. A Guide for Measurement,
Compilation and Assemblage of Data.
3. Variations of Existing Glaciers. A Guide to
International Practices for their Measurement.
4. Antarctic Glaciology in the International Hydrological
Decade.
5. Combined Heat, Ice and Water Balances at Selected
Glacier Basins. A Guide for Compilation and
Assemblage of Data for Glacier Mass Balance
Measurements. (Part I, 1970; Part II, 1973).
6. Textbooks on hydrology - Analyses and Synoptic
Tables of Contents of Selected Textbooks.
7. Scientific Framework of World Water Balance.
8. Flood Studies - an International Guide for Collection
and Processing of Data.
9. Guide to World Inventory of Sea, Lake, and River Ice.
10. Curricula and Syllabi in Hydrology.
11. Teaching Aids in Hydrology.
12. Ecology of Water Weeds in the Neotropics.

Una contribución para
el Decenio Hidrológico
Internacional

Variaciones de los glaciares existentes

Una guía de uso internacional
para sus mediciones

unesco aich

Edición Española
ISBN 92-3-301026-0

Publicada en 1973 por la Organización de
las Naciones Unidas, para la Educación,
la Ciencia y la Cultura
Place de Fontenoy, 75700 Paris
Impreso en los talleres de la Unesco

© Unesco/AICH 1973

Prefacio

En su 13a. reunión, la Conferencia General de la Unesco, estableció el Decenio Hidrológico Internacional (DHI) 1965-1974 para promover la cooperación internacional en las investigaciones y estudios, así como la formación de especialistas y técnicos, en hidrología científica. Su propósito es habilitar a todos los países para evaluar de una manera más completa y utilizar de una manera más racional sus recursos hidráulicos, ya que la demanda de agua aumenta constantemente debido al desarrollo de la población, la industria y la agricultura. En 1972, se habían constituido comités nacionales del Decenio en 107 de los 127 Estados Miembros de la Unesco para llevar a cabo actividades nacionales y contribuir a las actividades regionales e internacionales dentro del programa del Decenio. Un Consejo de Coordinación, compuesto de 21 Estados Miembros designados por la Conferencia General de la Unesco, supervisa la ejecución del programa, estudia propuestas para su desarrollo, recomienda proyectos de interés para todos los países o para un gran número de ellos, presta ayuda para ejecutar proyectos nacionales y regionales y coordina la cooperación internacional.

Una de las principales características del programa del DHI, que abarca todos los aspectos de las investigaciones y los estudios hidrológicos, es fomentar la cooperación para establecer técnicas de investigación hidrológica, difundir datos hidrológicos y planear instalaciones hidrológicas. Se estimulan las investigaciones hidrológicas en los planos nacional, regional e internacional para intensificar y mejorar la utilización de los recursos naturales desde una perspectiva local y mundial. El programa constituye un medio para que los países adelantados en materia de investigaciones hidrológicas intercambien opiniones científicas y para que los países en vías de desarrollo se beneficien de este intercambio de información en la elaboración de

proyectos de investigación y en la aplicación de los progresos recientes en el planeamiento de instalaciones hidrológicas.

Como parte de la contribución de la Unesco al logro de los objetivos del DHI, la Conferencia General autorizó al Director General a compilar, intercambiar y difundir información sobre las investigaciones en hidrología científica y a facilitar los contactos entre los investigadores en esta esfera. Con tal finalidad, la Unesco ha iniciado dos series de publicaciones: "Estudios e informes sobre hidrología" y "Contribuciones técnicas sobre hidrología".

La serie "Contribuciones técnicas sobre hidrología" tiene por objeto facilitar el intercambio de información sobre técnicas hidrológicas y la coordinación de las investigaciones y del acopio de datos.

La adquisición, la transmisión y el tratamiento de datos de forma que permita la intercomparación de los resultados constituye un requisito previo para los esfuerzos encaminados a coordinar proyectos científicos en el marco del DHI. El intercambio de información sobre los datos recogidos en todo el mundo requiere la normalización de los instrumentos, las técnicas, las unidades de medida y la terminología de manera que los datos de todas las zonas sean comparables. Es mucho lo que ya se ha hecho para la normalización internacional, pero todavía queda mucho por hacer, incluso en la simple medición de factores básicos tales como la precipitación, el manto de nieve, la humedad del suelo, el caudal fluvial, el transporte de sedimentos y el agua subterránea.

Es de esperar que las guías para el acopio y la compilación de datos en campos específicos de la hidrología que se publicarán en esta serie, permitirán que los hidrólogos puedan normalizar sus registros de observaciones facilitando así el estudio de la hidrología en todo el mundo.

CONTENIDO

I	Glaciares de montaña	11
	Observaciones básicas	
	Mediciones más amplias	
II	Calotas de hielo, capas de hielo y glaciares que generan témpanos	15
	Objetivos de la Parte II	
	Variaciones del borde de hielo	
	Variaciones de espesor	
	Mediciones de balance	
	Informe de resultados	
III	Remision de datos y publicaciones	26
	Observaciones básicas	
	Mediciones más amplias	
	Mediciones meteorológicas e hidrológicas	
	Publicación	

PROLOGO

El objeto de esta publicación sobre la medición y compilación de datos que se refieren a las variaciones de los glaciares existentes, es el de proveer una guía para las observaciones a ser practicadas con vistas a la obtención de un cuadro, tan amplio como sea posible, de los glaciares del mundo y de sus variaciones corrientes. Las variaciones de los glaciares se hallan íntimamente vinculadas al ciclo hidrológico por lo que el estado de un glaciar, tomada en cuenta su posición geográfica, es importante como indicador del clima y, las variaciones de los glaciares en consecuencia, proporcionan una medida para apreciar las tendencias climáticas.

Esta guía debería ser estudiada en conexión con la publicación "FLUCTUACIONES DE GLACIARES, 1959-1965", de Peter Kasser, que fue publicada conjuntamente por Unesco y la Comisión Internacional de la Nieve y el Hielo de la Asociación Internacional de Ciencias, en 1967. Este estudio incluye la colección y el análisis de datos sobre las fluctuaciones de glaciares desde 1959 en diversas partes del mundo y propone el establecimiento de un Servicio Permanente Sobre Fluctuaciones de Glaciares para asegurar la mayor continuidad y extensión de las observaciones. En concordancia con este estudio se ha puesto en funcionamiento un servicio permanente por parte de la Federación de Servicios Permanentes Astronómicos y Geofísicos. Se espera que la presente guía ayudará en la provisión de nuevos y mejores datos sobre las variaciones de los glaciares.

Unesco desea agradecer la cooperación de la Unión Geodésica y Geofísica, y de la Comisión Internacional de la Nieve y el Hielo de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas en la preparación de esta guía.

I GLACIARES DE MONTANA

OBSERVACIONES BASICAS

Se recomienda llevar a cabo las siguientes observaciones sobre el máximo número de glaciares posible. Las observaciones se ordenan según un orden de prioridad, comenzando con las más simples y más esenciales. La lista propuesta debe ser tomada solamente como una guía, y naturalmente el método usado (la medición directa sobre el terreno, aerofotogrametría, etc.) y otras consideraciones prácticas pueden determinar la adopción de algunas desviaciones de ella.

Observaciones generales

Se debe hacer las observaciones necesarias para una descripción general del glaciar y de su situación.

Fotografías

Construir dos o más estaciones señaladas por montículos de piedras desde las cuales se tomarán fotografías del hocico del glaciar. Mantener disponibles estas fotografías para futuros visitantes de modo que ellos puedan repetirlas desde la misma posición y con el mismo ángulo hacia el campo visual.

Posición del hocico (Snout) (o borde de la capa de hielo) ¹⁾

¹⁾ Un procedimiento sistemático para llevar a cabo las mediciones arriba indicadas ha sido planificado en práctica por la Comisión de Glaciares de la Sociedad Suiza de Ciencias Naturales para uso de sus observaciones en Suiza. Este sistema se recomienda en donde deben llevarse a cabo simples mediciones sobre el terreno y donde sea apropiado a las condiciones locales. (Hay copias disponibles del Secretario de la Comisión Suiza de Glaciares: P. Kasser, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, Voltastrasse 24, 8044 Zürich, Switzerland.)

1. Medir, horizontal y verticalmente, la posición del hocico con respecto a puntos fijos.
2. Deducir el desplazamiento medio, horizontal y vertical, del hocico, así como también en asimut desde la última medición.
3. Medir el ángulo general del declive de la superficie de hielo en el hocico.
4. Medir el ángulo general de declive de la superficie del lecho rocoso en el hocico.

Altura de la línea de nieve

Al final de la época de ablación, se debe medir la altura media de la línea de nieve sobre el glaciar.

Altura de superficie en puntos seleccionados

Se debe elegir algunas posiciones sobre el glaciar fácilmente reocupables en caso de necesidad. Estas deben tener su posición absoluta fijada con respecto a marcas hechas sobre la roca y no con respecto al hielo móvil. Medir la altura de la superficie del hielo en estos puntos; el punto 1 debe estar cerca de la línea de nieves, el punto 2 debe estar aproximadamente en el centro del área de acumulación, y el punto 3 debe estar aproximadamente en el centro del área de ablación. Conforme los estudios lo posibiliten, pueden adicionarse otros puntos.

MEDICIONES MAS AMPLIAS

Cuando los recursos permitan más amplias mediciones sobre ciertos glaciares, resulta adecuado el siguiente programa adicional, también por orden de prioridad.

Perfiles de superficie

1. Levantamiento del perfil longitudinal del glaciar.
2. Levantamiento de uno o más perfiles transversales u oblicuos.

Las mediciones 1 y 2 deberían ser hechas y los perfiles deberían ser marcados, de modo tal que, posteriores observadores, puedan repetir las mediciones exactamente en las mismas posiciones absolutas.

Mapas

1. Hacer un mapa provisional del glaciar íntegro conteniendo las posiciones de perfiles medidos.
2. Hacer un mapa de contorno mostrando los aspectos morfológicos, primeramente para áreas elegidas y, después, para la totalidad del glaciar.

Acumulación, ablación y densidad

Medir la acumulación neta y la ablación neta en puntos elegidos. En algunos puntos medir también la densidad de nieve o en la neviza o "firn" en las capas superiores.

Balance

Para estudiar el balance conviene utilizar uno o más de los siguientes métodos, separadamente o en combinación.

Método geodésico

Se calcula el cambio del volumen del glaciar de adecuado a la medición del cambio en el nivel de la superficie.

Método de balance superficial

Se calcula el cambio de la masa del glaciar según sea la diferencia entre la acumulación neta y la ablación neta.

Método hidrológico

Se calcula el incremento en la masa del glaciar considerando la precipitación total, menos la evaporación y el escurrimiento en el área de captación íntegra. Cualquier alumbramiento de témpanos se considera aquí como escurrimiento (sólido).

Movimiento superficial

Medir (a) la componente horizontal y (b) las tres componentes del desplazamiento de puntos elegidos durante un período de un año. Se debe tener presente, que para una adecuada comparación con mediciones previas del desplazamiento anual deberá siempre ser medido en la misma posición absoluta del glaciar.

Topografía del lecho rocoso

Este debe ser medido (a) en perfiles seleccionados y (b) en la totalidad del glaciar. Habiéndolo hecho una vez a eso satisfactoriamente no es menester repetirlo.

Temperaturas de hielo

Las temperaturas de hielo deben ser medidas debajo del nivel de cambio estacional (a) en un perfil longitudinal a diferentes profundidades, y (b) en otros puntos.

II CALOTAS DE HIELO, CAPAS DE HIELO Y GLACIARES QUE EMITEN TEMPANOS

CONTENIDO DE LA PARTE II

El propósito es considerar qué mediciones son necesarias para mantener un registro continuo de las variaciones de las calotas de hielo (ice sheets) existentes (es decir las calotas de hielo antártica y de Groenlandia), capas de hielo (ice caps) y glaciares que emiten témpanos (calving glaciers). El objetivo primordial de la parte II, en realidad, concierne sólo con las dos calotas de hielo y con las grandes capas de hielo. Las pequeñas capas de hielo pueden ser tratadas, en general, del mismo modo que los glaciares de montaña; similarmente, para los glaciares que emiten témpanos lo que ha sido establecido en la parte I calza bien excepto lo que resulta obvio. No obstante la discusión de los principios del método de balance que sigue se aplica con particular fuerza a los glaciares que producen témpanos.

Es necesario considerar primeramente las variaciones en el monto total del hielo y en cómo del hielo está distribuido. Es conveniente estudiar primero las variaciones en la posición de los bordes de las diversas masas de hielo, y después, los cambios en su espesor, finalizando con su balance. La mayor parte del informe trata, directamente o indirectamente, con el problema de balance.

VARIACIONES DEL BORDE

Los cambios en la posición del borde de una calota de hielo o capa de hielo y en las vecindades de las barreras de hielo, merecen ser estudiados y registrados por el interés geográfico inherente que éstas poseen. Se le presta particular atención a la importancia de tales mediciones que pueden ser combinadas con estudios geomorfológicos y de otra naturaleza para registrar la primitiva extensión de la calota de hielo. Debe destacarse que los sondeos hidrográficos pueden dar información de esta categoría así como también las morenas y otros aspectos visibles periglaciares. La interpretación de los cambios del borde de hielo debe ser hecha con cautela; por ejemplo, un frente de hielo en retroceso puede o no indi-

car un balance negativo de toda la calota de hielo.

VARIACIONES DE ESPESOR

Los sondeos sísmicos pueden, bajo buenas condiciones, dar aceptables mediciones del espesor del hielo, pero en algunas áreas, ellas pueden ser dificultosas o los resultados ambiguos. Se deben publicar sismógramas de muestra, especialmente cuando las mediciones se han practicado bajo condiciones desfavorables, por ejemplo, cuando hay una débil relación de señal a sonido. Para incrementar el número de observaciones del espesor de la masa de hielo se debe recurrir a los estudios de gravedad, y para obtener sondeos continuos en lugar de mediciones punto por punto, se deben utilizar nuevos métodos, tales como el de la onda electromagnética (sondeo radio-eco).

Los cambios seculares en el espesor, deben ser medidos, en principio, por nivelación repetida. Cerca de los bordes de hielo, y sobre muy pequeñas calotas de hielo no hay ninguna dificultad especial, pero en el interior de las calotas grandes, es menester una gran exactitud. No obstante, para establecer el comportamiento de estos grandes volúmenes de hielo continental, resulta ser de la mayor importancia el repetir los perfiles de nivelación de alta precisión que cubren desde las costas montañosas hasta muy al interior, o en un caso como el de la Antártida, entre los nunatak's o cadenas montañosas interiores. También, si las circunstancias son favorables, conviene medir el cambio de espesor mediante repetidos estudios sísmicos y de gravedad, de ser posible, en un mismo lugar.

MEDICIONES DE BALANCE

Las mediciones de balance constituyen un método alternativo en el estudio de las variaciones en la masa del todo o de parte de una calota o de una capa de hielo. Ellos son importantes porque evidencian la causa de los cambios de espesor y porque pueden ser utilizados para relacionar los cambios de espesor con los del clima. Primero se esbozará el principio del método del balance y después se analizarán los métodos de medición de las diversas cantidades relevantes.

Principios

Primero es necesario fijar una línea limítrofe, digamos P, que encierra el

área geográfica de la calota de hielo o capa de hielo a ser considerada. Una ecuación de balance para el hielo encerrado en P (ésto es, el hielo perteneciente a la calota excluyendo el hielo en la atmósfera) contiene los siguientes términos.

A_1 = la masa de hielo que ingresa por unidad de tiempo dentro de P. A_1 incluye la ganancia por precipitación de todas clases (incluyendo nieve acarreada por viento, heladas y lluvia congelada), por recongelamiento del agua fundida y por congelamiento del agua de mar; en resumen, A_1 incluye la ganancia por todos los procesos que entregan o producen hielo nuevo dentro de P.

B_1 = el desgaste de la masa de hielo por unidad de tiempo dentro de P. B_1 incluye la pérdida por arrastre del viento, por evaporación, y por fusión en las superficies superior y del fondo; en resumen, B_1 incluye la pérdida por todos los procesos que remueven o destruyen el hielo dentro de P.

C_1 = la velocidad de incremento de la masa de hielo dentro de P.

D = la descarga de la masa de hielo a través de P.

La conservación de la masa requiere entonces que

$$C_1 = A_1 - B_1 - D \quad (1)$$

A continuación, se pasa a considerar el balance de la parte de la calota o capa de hielo que queda fuera de P, si hay alguna. (Fuera de P significa aquí: entre P y un borde fijo justo fuera del borde de hielo.)

A_2 = el ingreso de masa de hielo por unidad de tiempo fuera de P.

B_2 = el desgaste de masa de hielo por unidad de tiempo fuera de P. B_2 incluye alumbramiento ¹⁾ (calving), y fusión de fondo cerca de hielo flotante en adición a los items de pérdida enlistados más arriba.

C_2 = la velocidad del incremento de la masa de hielo fuera de P.

La conservación de la masa requiere entonces que

$$C_2 = A_2 - B_2 + D \quad (2)$$

Sumando (1) y (2) da una ecuación de balance para la calota de hielo:

$$(C_1 + C_2) = (A_1 + A_2) - (B_1 + B_2) \quad (3)$$

En la ecuación (1) es posible medir $A_1 - B_1$ y D , y deducir así C_1 . El C_1 computado puede ser comparado con un valor deducido de las mediciones de cambio del espesor. Por otra parte, si el borde de la calota, o de la capa de hielo, o del glaciar, queda en el agua, la aplicación de la ecuación de (2) ó de (3) puede ser extremadamente insegura debido a la gran dificultad que existe para medir B_2 , y que incluye alumbramiento y fusión debajo del hielo flotante. En estos casos es preferible la ecuación ¹⁾.

Si la calota de hielo o capa de hielo totales van a ser estudiadas, la elección obvia de P es el borde del hielo asentado sobre el terreno (también llamado "la línea costera"): o sea que el área dentro P incluye todo el hielo asentado sobre el suelo firme y excluye las barreras de hielo y lenguas glaciares flotantes. (Si P es elegido dentro de la línea costera, C se transforma en una mala aproximación al balance total $C_1 + C_2$; en tanto que si P es elegido fuera, la fusión de fondo de la línea costera se transforma en una parte importante de B_1 , con la consecuente inexactitud).

Cuando el área total de la calota o capa de hielo es muy grande, puede ser más práctico estudiar el balance de sólo un área limitada. El contorno P puede, en principio, ser elegido de la manera más conveniente, pero a veces puede ser ventajoso hacerlo definiendo un área de drenaje específica. P , podría entonces trazarse parte por un divortium de hielo y parte por el borde del hielo, si este termina sobre tierra firme, o la parte de la línea costera en caso contrario. En otros casos, particularmente en Antártida, hay ventajas en escoger líneas de flujo, como los límites laterales. Así el área elegida puede ser un sector o una banda estrecha limitada por un divortium de hielo y dos líneas de flujo, además del borde de hielo si está sobre la tierra firme, o en su defecto la línea costera. La ventaja de tal elección está en que el término D (descarga) en la

ecuación (1), necesitará entonces ser medido sólo a lo largo de la línea costera. La desventaja consiste en que el divortium de hielo y las verdaderas direcciones de las líneas de flujo no se conocen usualmente con exactitud. Teóricamente las líneas de flujo deberían encontrarse en ángulo recto respecto a los contornos de la superficie del hielo, pero esto no ha sido aún debidamente comprobado por la observación en las grandes calotas de hielo. También debe considerarse la posibilidad de cambios en las direcciones de las líneas de flujo cuando se trata de largos períodos de tiempo.

Una vez esbozados los principios de la medición de balance se deben considerar ahora los métodos para medir las diversas cantidades que concurren en los términos en las ecuaciones del balance.

Acumulación

Las mediciones de acumulación pueden ser hechas de diversas maneras. Las más importantes son las mediciones en estacas y los estudios de estratificación.

Las mediciones en estacas deben ser consideradas como las que dan los valores más reales. Es recomendable una cobertura lo más extensa posible (muchas estacas con una adecuada distribución y ampliamente esparcidas) alrededor del campamento base, y estacas suficientemente altas a intervalos frecuentes, a lo largo de las rutas interiores. Las estacas deben, por supuesto, cubrir un largo tramo (tal vez de varios km) entre varias instalaciones permanentes. Se debe insistir en que sin el conocimiento de las densidades de la nieve el equivalente en agua no podrá ser

1) El balance se refiere al balance del hielo solamente. Hay, no obstante, una ecuación alternativa de balance que podría ser establecida para la totalidad del agua como substancia. Así el balance neto de la substancia -agua de Antártida podría ser determinado, en principio, mediante la medición del transporte de agua que ingresa en una latitud (principalmente como vapor de agua y nieve), y el transporte de agua expelido (principalmente como hielo y nieve). Las mediciones son interesantes por sí mismas, y proveen un eslabón entre los estudios de variación de glaciares y las investigaciones meteorológicas, pero la exactitud parece ser demasiado escasa para obtener conclusiones realistas sobre el balance.

computado. Se deben estudiar las variaciones de la densidad con la profundidad, el tiempo, y la posición geográfica. Las observaciones en las estacas deben ser corregidas teniendo en cuenta la compactación de la nieve. Esto puede hacerse si las variaciones de la densidad son bien conocidas, pero la superficie de referencia, tal como una delgada red de alambre o una capa de coloreante aplicada sobre la nieve en el momento que la estaca es plantada, permitirá un control posterior. (Tal superficie proveerá también una valiosa capa de referencia para los estudios siguientes de estratificación.) Se deben llevar cuenta del hielo superimpuesto formado durante el intervalo considerado.

Los estudios de estratificación deben iniciarse preferiblemente en una estación en la que las condiciones de la acumulación sean bien conocidas, o en una que, por alguna otra razón, las capas anuales sean fáciles de identificar - este puede ser el caso de las bajas elevaciones cerca de la costa, en Antártida, o de las partes más bajas del área de acumulación en Groenlandia. Una vez que la estratificación de un lugar ha sido apropiadamente interpretada, la llave así obtenida puede ser aplicada para largas distancias, por lo menos en los casos en la distancia entre pozos consecutivos o tomas de muestras, pueda ser pequeña. La principal ventaja de un estudio de estratificación consiste en que él puede dar inmediata información sobre la acumulación.

Como la extensión de las técnicas estratigráficas, los estudios isotópicos parecen ofrecer una posibilidad única para el estudio de los valores medios de acumulación. Se han desarrollado los siguientes métodos que fueron exitosamente utilizados sobre las calotas de hielo de Antártida y Groenlandia: (a) variaciones estacionales de la relación oxígeno-18/ oxígeno-16, (b) identificación de la capa de 1954 o la de 1955 por la presencia de desechos radioactivos de las pruebas de la bomba termonuclear (productos de la fisión del tritium), (c) descomposición radioactiva de los núcleos radioactivos naturales tales como el plomo-210 (vida media: 22 años) o tritium (vida media: 12 años). Para escalas de tiempo más largas ofrecen promisorias posibilidades el carbono-14 y el silicio-32. Probablemente la identificación del nivel 1954 o 1955 por actividad de los productos de fisión, sea el método más fácil para obtener gran número de resultados a partir de muestras de pequeño tamaño (bastan unos pocos cientos de gramos).

Desgaste

Puede ser muy fácil medir la ablación en algunos lugares y muy difícil en otros.

Se recomienda el método de las estacas para medir la ablación de una superficie de hielo. Dado que la temperatura del hielo está por debajo del punto de fusión en la mayoría de los glaciares mediante los que desagotan las calotas de hielo y capas de hielo, una estaca no habrá de hundirse en el agujero que fue colocada, sino que se congelará dentro de éste, siempre que el agujero no sea muy poco profundo (menos de 1 m). Si las estacas son suficientemente largas y plantadas en agujeros profundos pueden servir por muchos años.

La ablación de la nieve puede ser medida del mismo modo, siendo necesaria una corrección para detectar el asentamiento o compactación de la nieve entre la superficie y el extremo inferior de la estaca. La medición puede resultar muy difícil en los glaciares subpolares en donde es esencial tener en cuenta el recongelamiento del agua de fusión al alcanzar los niveles más bajos en el "firn". Otro factor que debe ser tenido en cuenta es la formación de hielo superimpuesto sobre las superficies frías del glaciar.

Es extremadamente difícil medir directamente la fusión de fondo de las barreras de hielo. Los perfiles de temperatura en profundidad en la barrera de hielo y los estudios oceanográficos del intercambio de calor a lo largo del frente pueden agregar alguna información.

También puede ocurrir fusión en el fondo de una calota de hielo. En adición a la medición directa mediante el uso de agujeros profundos se ha sugerido que la presencia y la cantidad de agua de fusión producida de este modo podría ser estudiada examinando su salinidad, temperatura, densidad y contenido isotópico de agua de mar en el borde del continente.

La sola fusión del frente de las barreras contribuye tan poco al desgaste, en comparación con la fusión de fondo y el alumbramiento (calving), que aquella puede normalmente ser ignorada.

El alumbramiento representa por lejos el factor más grande en el desgaste total del hielo ($B_1 + B_2$) en Antártida y en Groenlandia y es aproximadamente tan importante como la fusión. Se pueden hacer estimaciones mediante reconocimiento fotográfico, desde avión y satélite pero cuán difícil es medir el alumbramiento está bien ilustrado en los informes disponibles (1963), los que han dado cifras de la descarga de témpanos en Antártida que varían entre 660 y 1.740 km³ de agua por año. Como ya ha sido dicho antes, la medición directa de alumbramiento puede ser suprimida utilizando la ecuación (1) para el área dentro de la línea costera (límite del hielo asentado sobre el suelo firme). Pero esto (la ecuación) transfiere el problema a la medición de D, la descarga de hielo a través de la línea costera, la que se analiza a continuación.

Descarga a través de la línea costera

Es claro que un gran número de observaciones del movimiento de hielo en las áreas marginales es de inmediata necesidad. Hay alguna evidencia a cerca de que la velocidad del hielo de los grandes glaciares polares no varía mucho a través del año y, si esto resultara una ley general, serían suficientes mediciones del movimiento a corto plazo. Pero, mientras tanto, deberán preferirse mediciones a largo término que se extiendan sobre por lo menos un año.

En donde sean practicables pueden usarse la fotogrametría aérea repetida y los métodos geodésicos. Otro método es medir la separación de aspectos que son regularmente producidos a intervalos anuales, tales como las grandes grietas en las contrapartes de las barreras de hielo flotante y las lenguas glaciares donde éstas quedan a flote. La ventaja de éste último método, del que se dice, da velocidades concordantes con otros métodos dentro de un bajo porcentaje, es que puede usarse cuando hay disponible tan sólo una simple cobertura área.

Estos estudios sistemáticos en las áreas marginales deben ser acompañados por mediciones del espesor del hielo para posibilitar la estimación de la descarga.

Otros estudios del movimiento del hielo

Adicionalmente a la medición del movimiento del hielo en las áreas marginales resulta también valioso medir el movimiento en el interior de la calota de hielo,

porque ésto hace posible estudiar también el balance de áreas de interior y no sólo los sectores o áreas de drenaje que alcanzan la costa. (Tales estudios del movimiento son por supuesto también de interés por otras razones, pero eso no es el objetivo de esta nota.) Es necesario un muy alto orden de exactitud para medir el movimiento absoluto de una calota de hielo o una gran capa de hielo. El desarrollo de equipos de medición a distancia con micro ondas ofrece considerables posibilidades en este sentido. Las observaciones estelares repetidas son una alternativa y no deben perderse de vista las oportunidades de utilizar la navegación de satélites. Debe localizarse suficiente cantidad de lugares para medir el movimiento absoluto y para los estudios de movimiento relativo grandes redes, deben ser referidas a estos sitios, para obtener una buena cobertura sobre grandes áreas.

Además se pueden medir valores de tensión horizontal mediante repetidos levantamientos, utilizando las micro ondas. Se debería obtener la dirección y magnitud del régimen de las principales tensiones horizontales. Deben proyectarse instrumentos para la medición de la magnitud de las tensiones verticales en los agujeros profundos.

Las mediciones de las variaciones a lo largo plazo en las velocidades del hielo parecen estar lejos de ser alcanzadas en el presente.

Temperatura del hielo

Temperaturas de la nieve y de la neviza en áreas con insignificante fusión dan información sobre el clima presente, y hasta una cierta extensión, también sobre qué cambios pueden ocurrir antes y después que la fusión pueda comenzar. Estas temperaturas deberán ser medidas preferiblemente a una profundidad uniforme de 10 m, en que es donde la variación anual es menor de 1° C. Perfiles completos desde la superficie hasta o debajo de los 10 m de profundidad, incrementan el valor de los datos de temperaturas. Las temperaturas de hielo para mayores profundidades son también de interés porque ellas potencialmente contienen información sobre el clima pasado, y también, porque el flujo de hielo está muy influenciado por su temperatura. La perforación de agujeros profundos provee un método de medición. Los estudios de sondeo sísmico y de radio-eco también ofrecen medios para determinar como la temperatura de hielo y otras características

físicas varían con la profundidad.

Comentarios generales

El principal problema práctico en la determinación del balance de masa de las calotas de hielo y grandes capas de hielo, conjuntamente con las considerables dificultades para medir tanto el alumbramiento (desprendimiento de témpanos), y la fusión de fondo, ecuación (3), como la descarga a través de la línea costera, ecuación (1), es la técnica de tomar muestras. El problema es más agudo en Antártida aunque es serio en cualquier capa de hielo. La Antártida, de 12 millones km^2 , es tan grande que debe hacerse un gran número de observaciones, preferiblemente simultáneas, de acumulación y de los diversos procesos de desgaste. Además, los valores medios deben ser deducidos con un alto grado de exactitud, aún cuando sea el signo del balance neto $C_1 - C_2$ lo deba ser establecido con máxima certidumbre, dejando aparte su magnitud. La mayor parte o todas las estimaciones del balance neto de Antártida hasta hoy han sido excedidas por sus probables errores.

En vista de esta situación se ha sugerido que una aproximación realista al balance de las grandes masas de hielo consistirá en tratar primero de establecer el balance de sólo una parte de la masa total de hielo como se ha expuesto más arriba - sea una específica área de drenaje de hielo, sea una faja o sector limitado por líneas de flujo.

Una última referencia debe ser hecha a un problema de la mayor importancia: ¿cuál es la escala de tiempo apropiada para las observaciones? Tradicionalmente el balance es calculado para el período de un año, dado que hay un ritmo anual en los procesos de abastecimiento y de desgaste. Pero un simple año favorable o adverso hace una muy pequeña diferencia proporcional a la masa total de las calotas de hielo de Groenlandia o Antártida. Lo que resulta significativo para su crecimiento o decrecimiento es el balance hecho sobre algunos cientos o hasta miles de años. Por eso el problema se centra en sobre sí, el resultado obtenido para un simple balance anual es una buena medida del balance, mejor que sobre un período mucho más largo. El balance neto por sucesivos balances anuales mostrará naturalmente fluctuaciones. La pregunta clave es el tamaño de estas fluctuaciones en relación al promedio de largo término. Si las fluctuaciones son pequeñas, el resultado para cualquier balance anual puede ser tomado como

indicando la tendencia del largo promedio término. Pero si, en el otro extremo, el balance anual fluctúa entre positivo y negativo en diferentes años, entonces claramente el resultado de cualquier año da poca evidencia de la tendencia a largo término. En este caso, si deben obtenerse conclusiones significativas a largo término, el balance debe ser proyectado para un más largo período. La apropiada extensión del tiempo a tomar para el período de balance en una calota o en una capa de hielo de cierto tamaño, es un asunto que merece detenido estudio, en relación a las aparentes fluctuaciones, de los diversos items de los cuales está compuesto balance.

No obstante, aún si se encontrara que los balances de masa anuales fueran completamente inútiles como una guía para las tendencias a largo término, ellas todavía retendrían alguna importancia por propio derecho. Porque ellas pueden ser comprobadas con resultados simultáneos obtenidos dondequiera y con la información meteorológica para ayudar en la comprensión de los procesos que conducen a la acumulación y a la ablación. Así, aunque el problema del período apropiado de balance para una calota de hielo es la suprema importancia para una determinación de su crecimiento o decremento a largo término, las mediciones de balance anual continuarán siendo de valor aún sobre las más grandes masas de hielo.

INFORME DE RESULTADOS

Los informes deben consignar el método de medición usado, las reales observaciones hechas y su precisión.

Los cambios en las cantidades destacables serán después deducidos.

III REMISION DE DATOS Y PUBLICACIONES

Se recomienda la siguiente lista de observaciones y mediciones. Las observaciones están enlistadas siguiendo un orden de prioridad, comenzando con las más simples y más esenciales. Queda entendido que la lista es sólo una guía. Se espera que una más útil información vendrá contenida en la mayoría de las preguntas enlistadas bajo el rubro "Observaciones básicas", además de, cuando sea posible, información sobre programas más elaborados enlistados en "Más amplias mediciones". Las variaciones de los glaciares son fuertemente correlativas con el clima. Es por ello que es también útil registrar observaciones meteorológicas e hidrológicas como las enlistadas bajo "Mediciones meteorológicas e hidrológicas".

OBSERVACIONES BASICAS

1. (a) Nombre del glaciar.
(b) Ubicación geográfica.
(c) Latitud y longitud.
2. (a) Nombre del observador.
(b) Dirección del centro donde son guardados los principales datos sobre el glaciar.
3. Descripción general
(a) Tipo morfológico.
(b) Area total.
(c) Largo.
(d) Elevación de la parte terminal inferior.
4. Fotografías
(a) Cantidad disponible.
(b) Cantidad de montículos establecidos para fotografiar.
(c) ¿En dónde están guardadas las fotografías?
5. Posición de la parte terminal
(a) Cuando está medido con respecto a puntos fijos.

- (b) Período transcurrido desde el último levantamiento.
 - (c) Desplazamiento vertical del término.
 - (d) Desplazamiento horizontal del término.
 - (e) Angulo de declive de la superficie del hielo en el término.
 - (f) Angulo de declive del lecho del glaciar en el término.
6. (a) Altura de la línea de nieve sobre el glaciar al final de la época de ablación.
- (b) Area de acumulación como fracción del área total.
7. Elevación de la superficie (bajo los encabezamientos: Fecha de medición; Métodos usados; Cambio desde la última medición en puntos elegidos:
- (a) Cerca de la línea de nieve.
 - (b) Al promediar el área de acumulación.
 - (c) Al promediar el área de ablación.
8. Mapas
- (a) ¿Hay mapa publicado disponible?
 - (b) Referencias.

MEDICIONES MAS AMPLIAS

9. Perfiles
- (a) Cuando el perfil longitudinal del glaciar ha sido medido.
 - (b) Cuando perfiles transversales del glaciar se han medido.
 - (c) ¿En donde los tienen?
10. Mapeo detallado
- (a) Cuando el glaciar ha sido mapeado.
 - (b) Método.
 - (c) Publicado dónde, o
 - (d) Dirección donde el manuscrito está guardado.
11. Métodos de mediciones de lo siguiente:
- (a) Acumulación; período que cubre.

(b) Ablación; período que cubre.

(c) Densidad; período que cubre.

12. ¿Será calculado el balance de masa?

13. Movimiento

(a) Método.

(b) Número de estaciones.

(c) Fecha de la primera medición.

(d) Fecha de la última medición.

(e) En dónde se guardan los datos.

14. Topografía del lecho rocoso

(a) Método.

(b) Número de perfiles.

(c) Número de puntos en los que se han determinado profundidades en adición a (b).

(d) En dónde están.

15. Medición de temperaturas por debajo del nivel de los cambios estacionales en (i) Zona de acumulación y, (ii) Zona de ablación

(a) Máxima profundidad de las mediciones.

(b) Temperatura.

(c) Fecha.

(d) Método.

(e) Número de estaciones medidas.

(f) Clasificación geofísica.

MEDICIONES METEOROLOGICAS E HIDROLOGICAS

Valores anuales no son suficientes. Se requieren valores mensuales por lo menos.

16. (a) Nombre de las estaciones.

(b) Ubicación geográfica.

(c) Latitud y longitud.

17. Dirección de los centros en donde se encuentran los principales datos meteorológicos y/o hidrológicos.

18. Observaciones meteorológicas

(a) Precipitación.

(b) Temperaturas, valores medios y/o valores de temperatura grado-día.

(c) Duración de la insolación.

(d) Radiación.

19. Mediciones hidrológicas

Escurrimiento.

20. Cualquier otra información

PUBLICACION

Los Comités Nacionales están invitados a enviar bibliografía de toda la información publicada sobre las variaciones de los glaciares en sus países, al Director del Servicio Permanente (al presente: Ing. P. Kasser, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, Voltastrasse 24, 6044 Zürich, Switzerland). Adicionalmente se señala la urgencia de preparar un resumen sobre toda la información conocida y fácilmente disponible e inédita sobre tales glaciares hasta el presente, y además remitir éstas al Director. Sería altamente deseable si estos resúmenes pudieran ser también publicados por los Comités Nacionales.

Los Comités Nacionales están además invitados a recolectar anualmente nuevas mediciones sobre las variaciones de sus glaciares y remitir la información así compilada utilizando los encabezamientos arriba mencionados, al Director de acuerdo a un calendario arreglado con él. Esta información debe ser también enviada al Centro Mundial de Datos del Año Geofísico Internacional (A.G.I.).

Es deseable que cada país publique sus mediciones regularmente.

Cada tres o cuatro años el Director del Servicio Permanente sobre la Fluctuación de los Glaciares preparará un resumen de las mediciones y los publicará con vistas a su comentario sobre los resultados por la Comisión de la Nieve y Hielo y cada Asamblea General de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas.

—ooo0ooo—