



CSJ: PLR  
**SERVICIO NACIONAL DE  
METEOROLOGIA E HIDROLOGIA  
SENAMHI**

**ESTUDIO CIENTIFICO SOBRE**  
**PALEOCLIMA**



**BOLETIN INFORMATIVO TRIMESTRAL  
VOL. 2 N° 2 AÑO 1996**

**DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA  
DIRECCION DE CLIMATOLOGIA**

19296

Impreso en la imprenta del SENAMHI  
Octubre de 1996 Lima Perú



**SERVICIO NACIONAL DE  
METEOROLOGIA E  
HIDROLOGIA**

ESTUDIO CIENTIFICO SOBRE

**PALEOCLIMA**

Editor.

**Ing. Orlando Ccora Tuya**

Colaboradores.

**María Luisa Astete  
Jesús Escalante Torres**

Dirección

**Jr. Cahuide 805 - Oficina 407  
Lima 11 Casilla Postal 1308**

**Telf. 4724180 Anexo 114**

**Fax. (511) 4717287**



**BOLETIN INFORMATIVO  
TRIMESTRAL**

**VOL. 2 N° 2 AÑO 1996**

**INDICE**

- I.- INTRODUCCION**
- II.- CONSIDERACIONES GENERALES**
- III. ALGUNOS RESULTADOS**
- IV ALCANCES SOBRE LA  
CIRCULACION ATMOSFERICA**
- V CONCLUSIONES**
- VI GLOSARIO PALEOCLIMATICO**
- VII BIBLIOGRAFIA**



## I INTRODUCCION

Las fluctuaciones de los glaciares en zonas montañosas frías son debidas a cambios en el balance de masa y energía en la superficie de la tierra. El ritmo y magnitud de dichos cambios en los glaciares pueden ser determinados cuantitativamente en diferentes intervalos de tiempo y pueden expresarse mediante los flujos de energía correspondiente con su variabilidad a largo plazo. Esto permite una comparación directa con otros efectos de la perturbación natural y estimada del efecto invernadero antropogénico. Los cambios en los glaciares estan entre las señales mas claras de las continuas tendencias del calentamiento existente en la naturaleza.

Por lo tanto es importante la evaluación de recientes variaciones climáticas y ambientales desde una perspectiva a largo plazo que puede ser proporcionada por sustitutos de los registros climáticos.

Dichas historias pueden ser reconstruidas a partir de muestras de hielo en estado sólido, recuperadas de casquetes glaciares tropicales a gran elevación cuidadosamente seleccionados, así como de placas polares de hielo.

En el presente boletin se pretende dar algunos alcances mas, referentes a la interpretación de algunos resultados obtenidos de los análisis realizados a las muestras.

Proc.: OTA . - 19796. - cloud

## II CONSIDERACIONES GENERALES

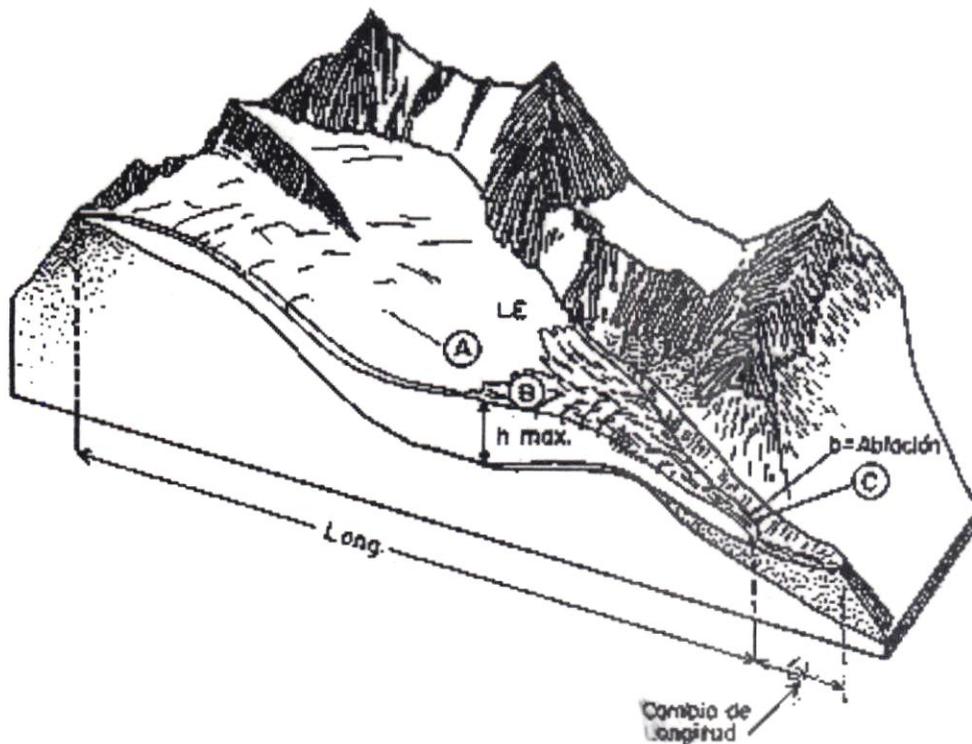
Los glaciares se forman don de la acumulación de nieve excede a la ablación, la masa de hielo asi formada fluye hacia altitudes mas bajas, hasta que las condiciones son tales que permiten una ablación suficientemente intensa para compensar las condiciones de la parte superior.

En las zonas de ablación y en las templadas de descargas (que predominan en las latitudes / altitudes mas bajas y en regiones con condiciones climáticas lluviosas), el calentamiento atmosférico produce principalmente cambios en la masa y en la geometría de los glaciares.

Un supuesto cambio en la altitud de la línea de equilibrio induce un inmediato cambio del valor de la masa específica.

Como el gradiente del balance de masa tiende a aumentar, al aumentar la pluviosidad, la sensibilidad del balance de la masa del glaciar con respecto a cambios en la altitud de la línea de equilibrio, es generalmente mucho mas grande en regiones con condiciones climáticas húmedas y marítimas que son secas y continentales.

Los cambios acumulativos de masa dan lugar a cambios en el espesor del hielo, lo cual, a su vez ejerce una realimentación positiva sobre el balance de masa y, al mismo tiempo, influye en la redistribución dinámica de masa por el flujo del glaciar.



En la figura N°1 se nota el diagrama esquemático de los procesos que relacionan al clima y a los glaciares con los parámetros mas importantes utilizados para cuantificar los cambios de masa a largo plazo a partir de los cambios acumulativos de longitud (avance / retirada) de las lenguas de los glaciares.(símbolos A, B, C = mínimo conjunto de postes (o pozos) necesario para la determinación del balance de masa).

### III ALGUNOS RESULTADOS

Para tener una mejor idea de la zona de estudio, en la figura N°2 se muestra una parte de la Cuenca del Río Santa, donde está ubicado el Nevado Huascarán, presentándonos algunas características topográficas de la misma. Por la parte Norte, el nevado se encuentra limitado por la Quebrada Llanganuco, mientras que por la parte sur, por la Quebrada Uita.

En el presente boletín, se darán algunas interpretaciones de los resultados obtenidos:

#### HUASCARAN

En el proceso de obtención del hielo, las mediciones de temperatura del orificio inferior (tubo de perforación) fueron difíciles de obtener debido a que se utilizó una mezcla eutéctica alcohol-agua, para mantener el orificio abierto durante la perforación.

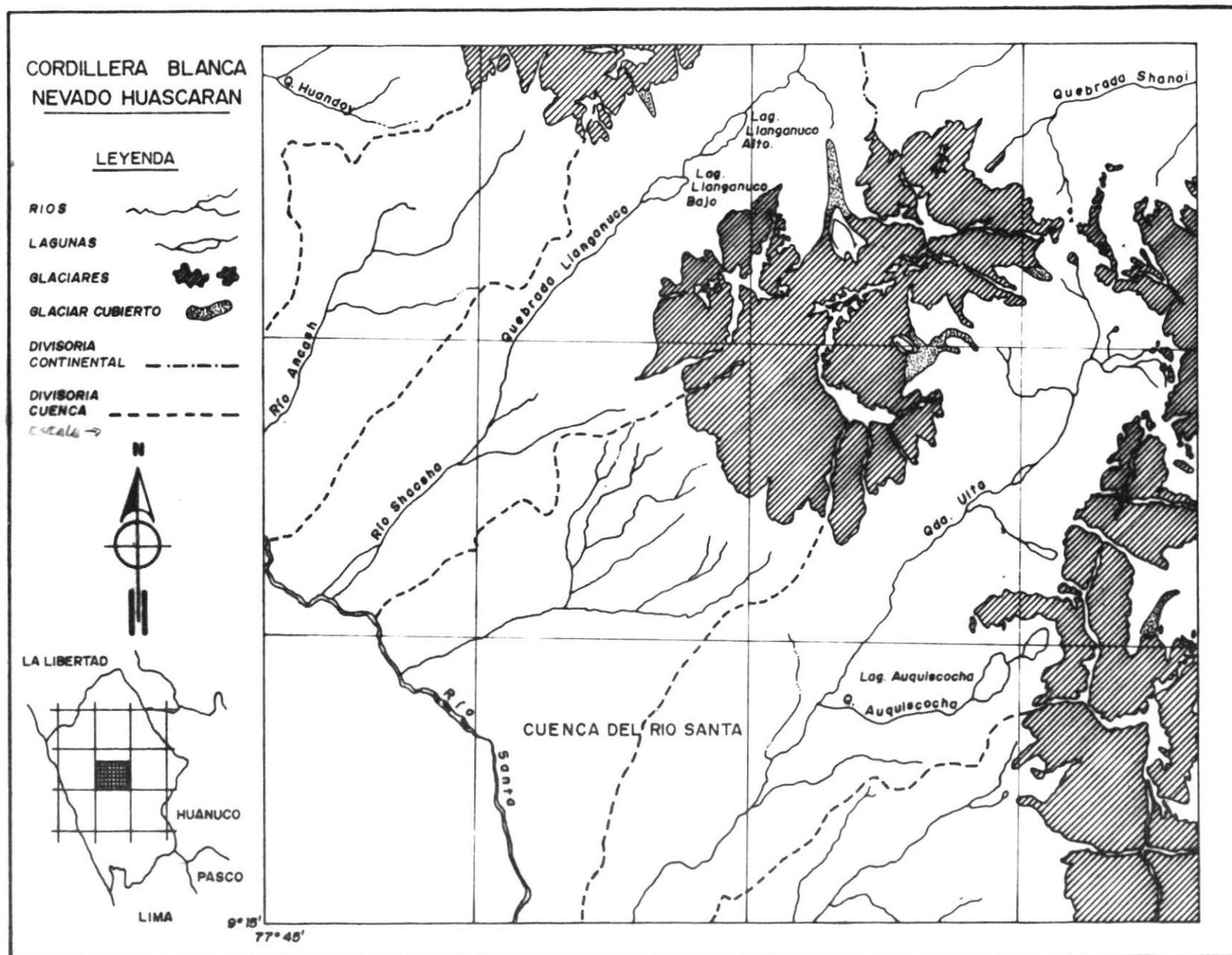
La temperatura mas baja del orificio perforado (-5,2 °C) fue medida a 82,5 m. de profundidad, antes que se cierre el orificio perforado por congelamiento. La temperatura media anual del aire cerca de Hualcán (medida entre agosto 1992 y julio 1993) fue de -9.8 °C. Estos datos, junto con observaciones efectuadas durante la perforación, indican que el hielo a 6048 m. de altitud en el Nevado Huascarán, se congela hasta la superficie.

De los análisis realizados a las muestras de hielo se puede inferir que los registros estratigráficos de  $^{18}\text{O}$ ,  $\text{NO}_3$  y polvo para la segunda perforación C2 (ya que en Huascarán se hicieron dos perforaciones) junto con  $^{18}\text{O}$  de la primera perforación C1, muestra variaciones resaltantes en ambos registros, pero las variaciones mas grandes se producen en el fondo de los 3 m. del C2 y en el fondo de 2.5 m. de C1.

Durante la desglaciación un abrupto retorno a condiciones mas frias es caracterizado por un agotamiento por mil de  $^{18}\text{O}$  en ambos, C1 y C2. Estas observaciones sugieren la presencia de hielo LGS (última etapa glacial), en las muestras del Huascarán.

El actual incremento en las concentraciones de polvo y el agotamiento de  $^{18}\text{O}$  han sido documentados en el hielo LGS, en cada muestra recuperada hasta la fecha. Las concentraciones de polvo alcanzan una máxima cercana a la terminación LGS,

Fig. N° 2



cuando el  $^{18}\text{O}$  es más negativo, y este mismo patrón es observado en el hielo basal del Huascarán. En todas las muestras de hielo recuperadas hasta la fecha el extremo del LGS es marcado por un incremento de  $^{18}\text{O}$  (calentamiento) y acumulación reducida de polvo. El registro marino es actualizado por la AMS con pruebas (foraminíferas planktónicas) y el registro de  $^{18}\text{O}$  se realiza igualmente en base a esas pruebas, desde los cuales las temperaturas de la superficie marina son reelaboradas por el uso de funciones de transferencia paleontológica.

El registro de  $^{18}\text{O}$  es especialmente apropiado para la comparación con la del Huascarán ya que este registro de foraminíferas, de las temperaturas de la superficie del mar y el 80% de la precipitación sobre el Huascarán llega en la estación húmeda (Noviembre-Abril). El Océano Atlántico es conocido como la principal fuente de humedad para los glaciares y casquetes glaciares, a lo largo de la cima de los Andes peruanos.

Las principales variaciones del  $^{18}\text{O}$  en la muestra marina son reflejados en la muestra de hielo en estado sólido, incluyendo el primer enfriamiento DRYAS (período glacial) durante la desglaciación.

En el metro más bajo, el hielo se adelgaza por lo tanto, una muestra de 20 mm. puede contener cientos a miles de años, haciendo casi imposible el registro posteriormente. Los metros más bajos de hielo contienen capas muy delgadas horizontales y no deformes. El hielo de la base contiene asimismo burbujas de aire y no muestran señales de derretimiento, indicando que el hielo del Huascarán se ha mantenido congelado en "su base", y basado en la evidencia presentada anteriormente, contiene hielo LGS.

La gran polvareda del hielo LGS sobre el Huascarán es compatible con las reelaboraciones los que indican que durante la precipitación, la humedad atmosférica y la cubierta de bosque y pasto se redujeron y el transporte eólico y la acumulación mejoró en Sudamérica. Se estima que durante el LGS, el 25% de Sudamérica se cubrió de depósitos eólicos tales como campos de dunas, debido a que los vientos fueron más fuertes y las condiciones de superficie fueron más secas. La orientación de las características eólicas sugiere que los vientos alisios del Nor Este (NE) fueron más persistentes y que ingresaron por la región oeste de la amazonía.

Las concentraciones de  $\text{NO}_3$  del hielo LGS del Huascarán son mucho más bajas que en el hielo del Holoceno. El significado de  $\text{NO}_3$  en muestras de hielo en estado sólido es poco comprendido actualmente. Aunque pocos datos están disponibles para ecosistemas tropicales, evidencia reciente sugiere que la lluvia y los suelos de la selva pueden ser una fuente principal de especies activas de nitrógeno atmosférico tales como  $\text{NO}$  y  $\text{NH}_3$  los que son precursores del  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  que se presentan como aerosoles.

Esto indica que una fuente principal de  $\text{NO}_3$  se encuentra junto o cerca al Huascarán. Las bajas concentraciones de  $\text{NO}_3$  en el hielo LGS puede implicar que la superficie de la selva se redujo significativamente en respuesta a las condiciones secas y a la expansión de los prados.

Las muestras del Huascarán ofrecen una oportunidad para desarrollar un registro de alta resolución de cambios de vegetación (y clima) para los Andes Peruanos.

Al examinar las concentraciones de polen de cinco muestras se tiene lo siguiente: Dos muestras de la última etapa del holoceno contienen entre 600-1300 granos por litro, similares a las concentraciones halladas en el registro de 1500 años del Nevado Quelccaya y están dominadas (en 46 a 70%) por *Alnus*, acompañados por ciertos elementos como Gramineae, Chenopodiaceae, Compositae y muchos otros. *Alnus* es un pequeño árbol que ahora está creciendo en la tierra cubierta de arbustos de la subpuna y las zonas de selva montañosa seca entre 2800 y 3900 m., en las laderas andinas del Este. La gran abundancia de *alnus* implica que el polen fue transportado grandes distancias desde el Este. En contraste con las muestras de la Última Etapa del Holoceno, grandes cantidades de *alnus* son más bajas en dos muestras del Primer Holoceno. La muestra del hielo LGS contiene poco polen y por lo tanto sugiere que el medio ambiente fue más frío y el área de los alrededores incluyó una superpuna con escasa vegetación o desierto periglacial donde la productividad del polen sería baja. El transporte del polen desde esta fuente hacia el Huascarán fue probablemente reducido por un despliegue de zonas de vegetación durante el LGS.

Asimismo de los análisis realizados a las muestras de hielo, se puede inferir que los amplios registros de las mismas están relacionados con la circulación general y la dinámica del clima del trópico global.

#### **IV ALGUNOS ALCANCES RELACIONADOS CON LA CIRCULACION ATMOSFERICA**

La disminución de la temperatura durante la época glacial causó una disminución de las precipitaciones ya que mientras más baja es la temperatura del aire, más baja es su capacidad de contener el vapor de agua. La disminución de la evaporación a causa de la baja de temperatura dió como resultado más humedad disponible para el suelo y la flora.

El clima de la época glacial era más húmedo, especialmente en zonas áridas.

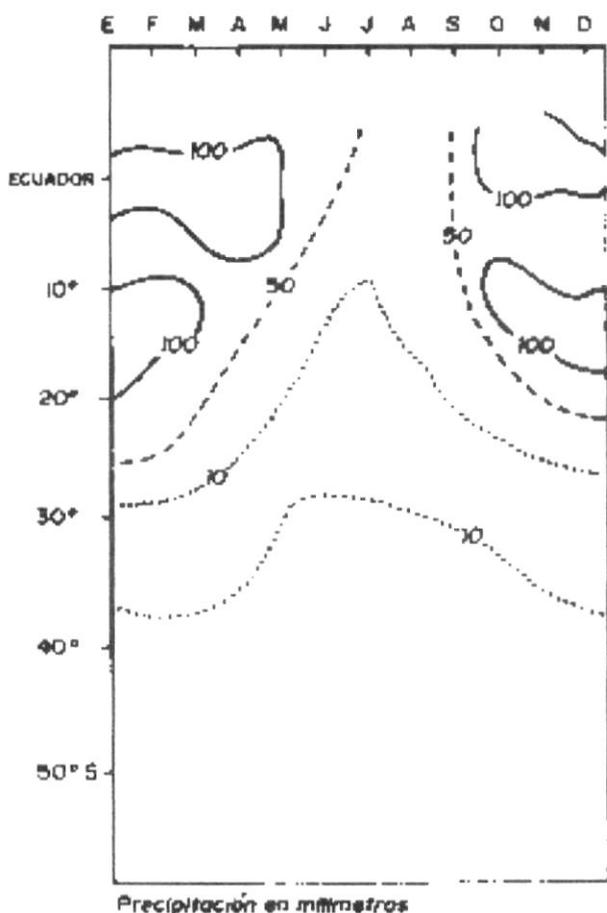
Las fluctuaciones de los glaciares y también del nivel de los lagos cerrados sin salida

son resultados directos del cambio de balance hídrico.

El aumento de la precipitación y la disminución de la fusión y la evaporación tienen el mismo efecto a las fluctuaciones.

Por otro lado el viento dominante que trae la nieve es el alisio del Este en toda la zona ecuatorial y tropical. Cuanto mayor es el desplazamiento al sur y oeste tanto mas seco es el clima. El invierno es la época de ablación de nieve en esta zona.

Fig. 3



**PRECIPITACION EN LOS ANDES**

FUENTE: NOGAMI M.: CIRCULO AFMOSF. ULTIMA EPOCA GLACIAL.

En la figura N°3 se observa la distribución de la precipitación para las tierras altas centrales a lo largo de todo el año.

Es conveniente resaltar que el ciclo hidrológico de la Cuenca Amazónica es difícil de cuantificar por la falta de datos hidrológicos de superficie y observaciones de radiosonda; sin embargo de estudios anteriores se puede inferir que diferencias estacionales en el reciclaje de vapor de agua conducen a una gran variación estacional de  $^{18}\text{O}$  tanto en la precipitación en la cuenca y el vapor de agua que asciende a los andes. Durante la estación húmeda, la precipitación asociada con la convección excede a la reemplazada por la evapotranspiración.

El traslado de vapor de agua desde la masa de aire a medida que éste se mueve al oeste resulta en el agotamiento de isótopos mas pesados, conduciendo a relaciones  $^{18}\text{O}$  mas negativas registradas, dentro de la precipitación del Quelccaya. Asimismo durante el verano, las pesadas lluvias convectivas se deben al calentamiento local intenso sobre el altiplano que conducen a ligera precipitación isotópica. Los valores de  $^{18}\text{O}$  del promedio mas bajo sobre el Quelccaya reflejan una combinación de:

- a.- el efecto de elevación;
- b.- el agotamiento de vapor de agua sobre la Cuenca Amazónica y
- c.- el efecto de la lluvia convectiva.

Por otro lado las medidas del volumen y del balance de masa del hielo del glaciar proporcionan mas información sobre los cambios del clima que las de su extensión.

El volumen de hielo puede determinarse a partir de secciones transversales de la roca madre y de la elevación de la superficie del hielo, mediante mediciones

efectuadas con ecos de radio.

Estudios del balance de masas que se llevan a cabo mediante mediciones de la acumulación invernal y de la ablación estival son lentos e inexactos, pero a pesar de ello existe una amplia utilización de los mismos.

Hay que tener presente que las variables meteorológicas como la temperatura, la precipitación y la nubosidad influyen grandemente sobre los avances y retrocesos de los glaciares.

Ademas el tiempo de respuesta de un glaciar frente a las modificaciones de las condiciones medio-ambientales depende de su tamaño; cuanto mayor sea el glaciar, mas lenta en su respuesta.

Por otro lado la cubierta de nieve estacional (figura N°4) ayuda en parte a la comprensión de los procesos de acumulación y fusión, que a la postre nos significará un avance lento o retroceso de las lenguas glaciares (tamaño del glaciar).

## V CONCLUSIONES

El clima influye sobre la dinámica de los glaciares y los pequeños casquetes de hielo a través de su impacto sobre la cantidad de nieve que se acumula en sus superficies y la cantidad de nieve y hielo que se pierde por fusión.

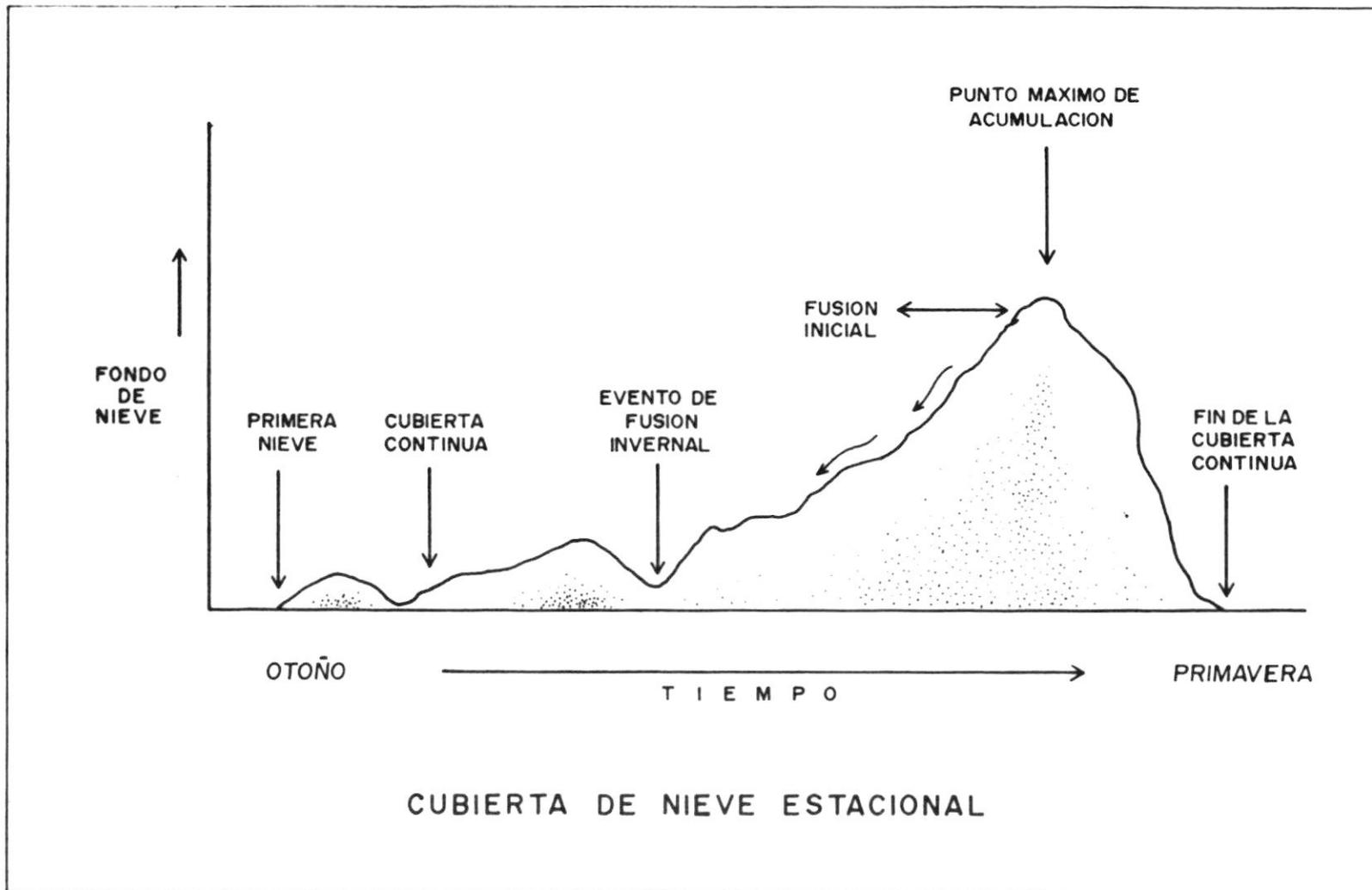
La respuesta al clima de un glaciar o un casquete de hielo determinado se complica, por la presencia de un gran número de factores de otro tipo (geometría del glaciar, cubierta de derrubios, retroalimentación que se establece en el equilibrio entre el espesor y la masa de hielo y el desprendimiento de masas de hielo).

El balance de masa anual de un glaciar se define como la diferencia en equivalente de agua, entre acumulación y ablación en la superficie, sumada para toda la extensión del glaciar. La acumulación normal es consecuencia de la transformación de nieve en hielo, también los aludes, la formación de escarchas y la congelación de la lluvia entre la masa de nieve, añaden también masa al glaciar. La fusión segunda de escorrentía, la evaporación, la eliminación de nieve por el viento, y la sublimación son procesos primarios de ablación.

La tasa de producción de agua de deshielo procedente de los glaciares y los pequeños casquetes de hielo sufre la influencia de la radiación solar incidente y del albedo de sus superficies.

La nieve y el hielo que conforman la superficie de los glaciares y los casquetes de hielo reflejan mayor cantidad de radiación solar que otras superficies naturales.

Fig. N° 4



Disminuciones de la cantidad y calidad de las superficies de estas masas de hielo podrían reforzar el efecto invernadero.

Las medidas de concentraciones de micropartículas, relaciones isotópicas de oxígeno y radioactividad total Beta en el hoyo de nieve y muestras de hielo en estado sólido provenientes de los glaciares tropicales de todo el mundo producen resultados bastante variados.

Las variaciones anuales en la magnitud de estos parámetros de nieve y su preservación estratigráfica son una función de las condiciones climáticas locales y medio ambiente físicos.

De los glaciares tropicales estudiados, el Nevado Quelccaya en el Perú tiene el potencial mas grande por contar con un registro amplio e interpretable de las muestras de hielo en estado sólido.

Del análisis de  $^{18}\text{O}$  y , en la acumulación de la superficie ilustra que un ciclo estacional es depositado y preservado dentro de la estratigrafía glacial.

El registro de micropartículas permite la identificación de capas anuales desde el cual puede construirse un balance neto y una cronología de la precipitación.

La estimación preliminar de los registros de las muestras de hielo en estado sólido indican una relación entre la evidencia glaciológica en el clima local y en algunos casos regional.

## VI GLOSARIO

**1. BALANCE DE MASA.**- viene a ser el cambio en la masa y geometría de los glaciares por efecto del calentamiento atmosférico. Se produce generalmente en las zonas de ablación.

**2. ANTROPOGENICO.**- relativo a la evolución y desarrollo del hombre.

**3. ABLACION.**-

\* procesos combinados (tales como fusión, sublimación, evaporación) que eliminan la nieve o el hielo de un glaciar o de un campo de nieve. Se utiliza también para expresar la cantidad perdida por estos procesos.

\* reducción del equivalente en agua de la capa de nieve por fusión, evaporación, viento y avalancha.

**4. LINEA DE EQUILIBRIO.-** límite entre la zona de hielo consolidado y la zona de ablación.

**5. GRADIENTE.-** tasa de variación de cualquier elemento meteorológico o glaciológico.

**6. FORAMINIFERA.-** protozoos acuáticos que se ramifican y juntan unos con otros para formar extensas redes. Tiene caparazon de forma y composición química variadas y son todos casi marinos.

**7. HOLOCENO.-** último período de tiempo en la columna estratigráfica de 0 a 2 millones de años. Constituye la continuación de la parte Alta del Pleistoceno (terciario) sin cambio en la fauna y representado por acumulaciones locales de depósitos glaciares y post-glaciares.

**8. ALNUS.-** especie vegetal arbórea.

**9. CONVECCION.-** movimientos organizados dentro de una capa de aire que transportan verticalmente calor, cantidad de movimiento, etc.

**10.EVAPOTRANSPIRACION.-**

\* Conjunto de procesos por los que se efectúa la transferencia de agua de la superficie terrestre a la atmósfera. Estas son la evaporación desde el suelo y desde la superficie de los océanos y la transpiración de la vegetación.

\* Cantidad total de agua transferida del suelo a la atmósfera.

**11.ISOTOPOS.-** cuerpo que tiene igual número atómico y ocupa el mismo lugar que otro en la tabla periódica de los elementos, pero se distingue de aquel por la diferente constitución y peso de sus átomos.

**12.ESTIVAL.-** relativo al estío (estación del año, comprendida entre la primavera y el otoño).

## VII BIBLIOGRAFIA

1.- **HAEBERLI W.**- "Elementos operativos de estrategias de vigilancia de glaciares".

Boletín de la Organización Meteorológica Mundial.

Vol. 24 Enero 1992.

Pag. 24-26

2.- **NOGAMI M.**- "Ultima Epoca Glacial-Circulación Atmosférica"

Revista de Geografía Norte Grande.

Nº9 - Año 1982

Universidad de Tokio-Japon

Pag. 41-45