

- THOMPSON, L.G., 1992 - Ice core evidence from Peru and China. in: *Climate since A.D.1500*. (R. Bradley and P.D. Jones editors) : 517-548, London: Routledge.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E. & MORALES ARNAO, B., 1984 - El Niño Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the Tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 22 : 50-53.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E., DAVIS, M., LIN, P.N., YAO, T., DYURGEROV, M. & DAI, J., 1993 - "Recent warming" : ice core evidence from tropical ice cores with emphasis on Central Asia. *Global and Planetary Change*, 7 : 145-156.

20

DEBATE AGRARIO

ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS

Seminario internacional:

AJUSTE ESTRUCTURAL, POLÍTICAS AGRARIAS Y SECTOR AGROPECUARIO EN BOLIVIA, CHILE, ECUADOR Y PERU, organizado por el CEPES y FAO y realizado en mayo de 1994 en la ciudad de Lima.

Ajuste estructural y el papel relativo del sector agrario en el desarrollo del Perú/*Javier Iguñiz*

Ajuste estructural y sus efectos en el agro ecuatoriano/*Rafael Urriola y Luciano Martínez*

Ajuste estructural y sus efectos en el agro boliviano/*Juan Antonio Morales*

Ajuste estructural y sus efectos en el agro chileno/*Maximiliano Cox*

Ajuste estructural y las inversiones en el agro peruano/*Bruno Barletti*

Los efectos de la privatización en el agro: El caso de la comercialización de productos agrícolas/*Geoffrey Cannon*

Ajuste estructural y sus efectos sobre las instituciones económicas. El caso de los mercados financieros y de tierras/*Javier Alvarado*

Ajuste estructural y pequeña agricultura/*Javier Escobar*

Valor de la suscripción por cuatro números:

Latinoamérica	US\$ 38
Norteamérica y Europa	40
Asia y África	42

Pedidos y giros a nombre de CEPES Av. Salaverry 818, Lima 11, Perú. Teléfono: 336610 Fax: (5114) 331744

CORDILLERA BLANCA GLACIARES EN LA HISTORIA

Alcides Ames Marquez*

Bernard Francon**

Resumen

La más vasta cobertura glaciaria situada entre los trópicos aparece como objeto de estudio relativamente tarde, a fines del siglo XIX, sobre todo gracias a las expediciones austro alemanas a partir de los años 1930-1940. El desarrollo del alpinismo y un gran número de catástrofes mortales asociadas a la dinámica de estos glaciares (rotura de lagunas de represa morrénica, avalanchas) atrajeron la atención y suscitaron investigaciones glaciológicas. En 1980, se encuentran entre los mejor monitoreados de los glaciares tropicales, primero, gracias a un programa de estudio desarrollado por los peruanos. En un momento en que el recalentamiento global hace temer un retroceso muy importante de la glaciación en la zona tropical, los glaciares de la Cordillera Blanca se convierten en excelentes indicadores de la evolución climática en curso y el recurso hídrico que se les asocia constituye a la vez un tema de estudio y un interés económico de gran importancia.

Palabras claves: *Glaciares, Cordillera Blanca, Andes, trópicos, clima, recursos hídricos, riesgos naturales.*

CORDILLÈRE BLANCHE - DES GLACIERS DANS L'HISTOIRE

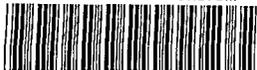
Résumé

La plus vaste couverture glaciaire de l'entre-tropiques n'apparaît comme un objet d'études que très tard, à la fin du XIXème siècle et, surtout grâce aux expéditions austro-allemandes, à partir des années 1930-1940. Le développement de l'alpinisme et un grand nombre de catastrophes meurtrières associées à la dynamique de ces glaciers (rupture de lacs de barrage morainique, avalanches) ont attiré l'attention sur eux et suscité des recherches glaciologiques. En 1980, ils comptent parmi les mieux surveillés des glaciers tropicaux, d'abord grâce à un programme d'étude développé par les Péruviens eux-mêmes. À un moment où le réchauffement global fait craindre un recul très important de la glaciation dans la zone tropicale, les glaciers de la Cordillère Blanche deviennent d'excellents indicateurs de l'évolution climatique en cours et la ressource en eau qui leur est associée constitue à la fois un sujet d'étude et un enjeu économique de haute importance.

Mots-clés : *Glaciers, Cordillère Blanche, Andes, tropiques, ressources en eaux, risques naturels.*

* Jr. 27 de Noviembre 773, Huaraz, Ancash, Perú.

** ORSTOM, C.P. 9214, La Paz, Bolivia.



THE GLACIERS OF CORDILLERA BLANCA AN HISTORICAL PERSPECTIVE

Abstract

The glaciers of Cordillera Blanca are the most extensive in the Tropics (26%), but they became the focus of scientific interest only in the late XIXth century, and particularly during the 1930s-1940s with the Austro-German expeditions. The development of alpinism (referred to here as *andinism*) and numerous catastrophic events linked to the dynamics of glaciers (overflows of glacial lakes, avalanches) favoured glaciological research. In the 1980's, the glaciers of the Cordillera Blanca rank among the best monitored in the Tropics, first thanks to the initiative of the Peruvian institutions. The present rate of glacial retreat being very high, the interest of glaciers as indicators of global atmospheric warming in the Tropics is increasing. On the other hand, this climatic evolution makes necessary a new evaluation of water resource associated to the glaciers.

Key words: *Glaciers, Cordillera Blanca, Andes, Tropics, climate, water resource, glacial hazards.*

INTRODUCCIÓN

La Cordillera Blanca, que cuenta con una superficie total de 723 km² de glaciares (Ames *et al.*, 1988), estimación hecha a partir de las fotografías aéreas en infrarrojo de la NASA-IGN de fecha 1970, es uno de los macizos montañosos más extensamente cubiertos de hielo entre los trópicos (Fig. 1). Situada entre 8°12' y 10°01' de latitud sur, la Cordillera Blanca comprende más de doscientas cimas superiores a 5000 m y treinta de más de 6000 m. Asimismo, los glaciares en esta cordillera, se extienden más que en cualquier otro macizo ubicado entre los trópicos, Bolivia, Ecuador, Colombia, Venezuela, África e Indonesia. Representan una superficie de más de un cuarto (26%) de los glaciares tropicales.

Sin embargo, estas cimas cubiertas de hielo parecen haberse quedado durante mucho tiempo fuera de la Historia. El descubrimiento de estos glaciares es reciente, ya que se remonta al siglo XIX, mientras que los glaciares de Ecuador fueron descritos desde el siglo XVIII. Esto no se debe tanto a los beneficios que siempre obtuvieron, en términos de recursos hídricos, las poblaciones que viven en su periferia, sino más bien a las repetidas catástrofes naturales que éstos ocasionaron.

Este texto es una prueba de proyección en la historia, en diferentes escalas de tiempo, de los glaciares de la Cordillera Blanca así como una puesta a punto general sobre los estudios que le fueron dedicados.

1. PRIMEROS INDICIOS, BREVES MENCIONES: DESDE ANTES DE LOS ESPAÑOLES EN LOS SIGLOS XVI Y XIX

Aún antes de la conquista, a juzgar por los numerosos indicios de ocupación que existen en las quebradas altas, la Cordillera Blanca es un macizo humanizado. La existencia de tumbas preincas (*chullpas*), como en la Quebrada del Alpamayo a 3 ó 4 kilómetros del frente de los glaciares actuales, o como en la Quebrada Quilcayhuanca, a 3 kilómetros del glaciar en un lugar denominado "Nuevo Tambo", son tantas pruebas de esta presencia. En la Quebrada Santa Cruz, la laguna Hatuncocha, a 3880 m, es obstruida por una morrena del pleistoceno en la cual poblaciones antiguas cultivaban la papa. A medio camino de la Quebrada Honda y también en el pequeño valle transversal de Paccharuri, se encuentran pinturas rupestres, así como en la parte superior de la Quebrada Pachacoto, al sur de Huaraz.

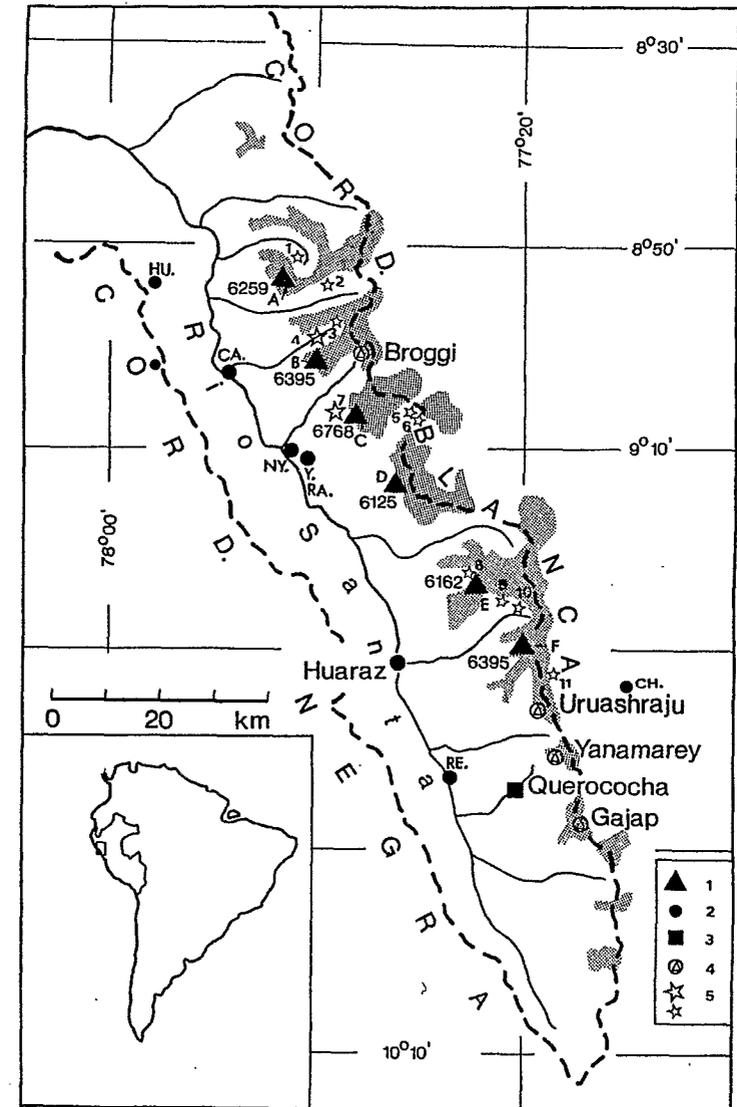


Fig. 1 - Mapa de la Cordillera Blanca mostrando los principales nevados de más de 6000 m (1), las ciudades (2), la estación meteorológica de referencia (3), los glaciares estudiados (4) y algunos sitios donde el riesgo glaciar es importante, por avalanchas o rupturas de lagunas (5).
A. Santa Cruz; B. Huandoy; C. Huascarán; D. Hualcán; E. Ranrapalca; F. Huantsán.
Hu. Huaylas CA. Caraz NY. Nuevo Yungay Y. Yungay RE. Recuay CH. Chavín.
1. Lag. Safuna 2. Lag. Arhuaycocha 3. Lag. Artesoncocha 4. Lag. Parón 5. Lag. Artesa 6. Lag. Yanaraju
7. Huascarán Norte 8. Lag. Milluacocho 9. Lag. Palcacocha 10. Lag. Tullparaju 11. Antigua Lag. Ayhuinyaraju.

Los numerosos caminos que atraviesan la cordillera de este a oeste y que son recorridos por los españoles, probablemente son contemporáneos de la conquista; pero existen los restos de dos caminos incas principales, uno que viene del sur, de Huánuco Viejo, pasando por el templo de Chavín y partiendo en dirección de Cajamarca; este camino es, sin duda, uno de los ejes esenciales que unen el Cuzco a Quito. La otra vía es visible en la altiplanicie situada al sur de la Cordillera Blanca, allí donde nace el Santa: era sin duda un camino secundario que atravesaba el Santa hacia el norte. Pero, curiosamente, también existen indicios de un viejo camino en la ladera sur de la Quebrada Olleros que pasa por el paso de Yanahallash, a 4680 m y que une el valle del Santa y el templo de Chavín.

En la era española, Hernando Pizarro y sus compañeros fueron los primeros europeos en visitar la Cordillera Blanca durante su viaje de Cajamarca a Pachacamac. El 14 de enero de 1533, atraviesan "alturas cubiertas de nieve" en el costado oeste de la Cordillera Rosko, a lo largo del camino de Corongo a Huailas. A su regreso de Pachacamac, pasan por Jauja, siguiendo la ruta principal inca que va a Cajamarca y que costea la ladera este de la Cordillera Blanca. Así, dan la vuelta completa de las más altas montañas del Perú en cinco meses, de enero a mayo de 1533. En la ruta de Jauja, pasan en marzo por un paso muy alto, situado probablemente al sur de la Cordillera de Raura. Poco después, el conquistador Francisco Pizarro, atraviesa la región, tomando a su paso como amante a una de las más importantes princesas del Huailas.

La primera referencia breve sobre estas montañas, que fue encontrada en las crónicas españolas, es de Miguel de Estete quien describe el viaje de H. Pizarro. Francisco de Xerez (*Conquista del Perú, por Barcia*, 1534, Tomo III: 206), entre otros conquistadores, menciona la relación de Estete. Describe la cordillera como "una alta y fría montaña cubierta de nieve", pero nada más. En el siglo XVII, el sacerdote dominicano Fray Juan de Meléndez hace una breve referencia sobre la cordillera (*Tesoros verdaderos de las Indias*, 1631, Tomo I, libro V, cap. XIV); cuenta su viaje de Huaraz a Chavín y a Huari, pasando probablemente por el paso de Yanashallash, al sureste de Huaraz.

Desde entonces, no se escribió nada sobre el valle del Santa, hasta 1764, cuando Cosme Bueno (*Descripción de las Provincias del Arzobispado de Lima*, 1764) menciona una avalancha de hielo que cayó del Nevado Huandoy el 6 de enero de 1725. Provocada por un sismo, es seguida por un aluvión que destruye totalmente el pueblo de Ancash, matando a 1500 personas. Años más tarde, en 1793, Mariano Millán y Aguirre (*Descripción de la Intendencia de Tarma*) publica un informe sobre una provincia del Perú donde describe el valle del Santa como "un amplio valle entre dos cordilleras, una cubierta de nieve al este, otra sin glaciares al oeste".

A fines del siglo XVIII, Tadeo Haencke, un naturalista de Praga, es enviado por el gobierno español para estudiar la flora y la fauna de las provincias de América hispánica. En su *Descripción del Perú (Partido de Huailas)* (1901: 202-205), hace una descripción del valle del Santa parecida a la de Mariano Millán, evocando la riqueza de los cultivos, de las minas de plata y la abundancia de las aguas. Pero, como en los relatos de los conquistadores y de los viajeros anteriores, se hace poca alusión a las montañas nevadas de la parte este del valle, aún más tarde Kinzl citará a Haencke en sus descripciones de glaciares.

Aproximadamente dos decenios después de la visita de Haencke, en 1824, llega el ejército del libertador Simón Bolívar a una región dominada por los españoles y establece sus cuarteles generales en Caraz y Huaraz. Pero 15 años después de la independencia del país, el Callejón de Huaylas es el teatro de una importante batalla librada en el Cerro Pan de

Azúcar, en las laderas del Nevado Huandoy, entre el ejército de la Confederación del Perú y de Bolivia y la de Chile durante la cual la primera es derrotada. Durante la guerra entre Perú y Chile, el General Cáceres y sus tropas, bloqueados en el valle del Santa por las fuerzas chilenas, podrán escapar por escaso margen a través de un paso de la cordillera, seguramente el Portachuelo de Punta Unión, o el Portachuelo de Llanganuco.

2. LA LLEGADA DE ANTONIO RAIMONDI, SEGUIDA POCO DESPUÉS POR LOS PRIMEROS ALPINISTAS (FINES DEL SIGLO XIX, PRINCIPIOS DEL SIGLO XX)

Antonio Raimondi, el célebre geógrafo italiano, fue el primer científico moderno en explorar la región (*El Departamento de Ancash*, Lima, 1873). Durante su primer viaje de 1860, tomará el paso del Cahuish para ir al lado este de la cordillera. Durante su cuarto viaje, atraviesa la cordillera por el paso de Llanganuco para ir de Yungay a Pomabamba. A Raimondi se le debe la primera descripción completa de la región, en la cual, lamentablemente, apenas menciona los glaciares (*El Perú*, vol. II, 1876). La primera documentación fotográfica sobre la Cordillera Blanca vendrá poco después, con el geógrafo alemán E.W. Middendorf (*Perú*, vol. III, 1895). Durante su permanencia en el Perú desde 1855 hasta 1888, describe minuciosamente el valle del Santa, pero no visita los valles altos. Observemos que es el primero en dar alturas de cimas, basándose en mediciones hechas por el ingeniero inglés Hindle, quien trabaja en la realización del ferrocarril entre Chimbote y Caraz. Esta vía férrea está prevista para alcanzar el valle alto del Santa, en particular el lugar minero de Ticapampa. Hindle da 6720 m para la cima sur del Huascarán, montaña conocida en esa época con el nombre de "Huascán", es decir una altura poco diferente de la que se conoce hoy en día (6768 m). Las otras alturas calculadas son: 6278 m para el "Pico de Huailas" (Nevado Santa Cruz, 6259 m), 6428 m para el "Tullparaju" (Nevado Huandoy, 6395 m) y 6081 m para el "Hualcan" (Nevado Hualcán, 6150 m), citado también por Raimondi en su libro *El Perú*.

A inicios del siglo XX los estudios sistemáticos y especializados comienzan en los Andes del Perú, con los importantes trabajos del botánico A. Weberbauer y del geólogo G. Steinmann. En esta época también los alpinistas procedentes de varios países vienen a explorar la Cordillera Blanca.

El primero en escalarla fue C.R. Enock, un ingeniero inglés que hacía exploración minera (Enock, 1904a). Alcanzó el Abra Villón, un paso alto entre Huaraz y Huántar. Es el primer hombre conocido en intentar escalar la cima del Huascarán en 1904, en compañía del peruano César Cisneros, un minero italiano y otros cinco mineros peruanos (Enock, 1904b). Luego, en 1908, Annie Peck subió hasta la cima norte, convirtiéndose por algún tiempo en la poseedora del récord mundial de altura (Peck, 1912) —aunque subsiste la duda sobre el hecho de que realmente haya alcanzado la cima!—.

3. CIENCIA Y ALPINISMO: LAS EXPEDICIONES AUSTRO ALEMANAS DE LOS AÑOS 1930-1950, LA PRIMERA CARTOGRAFÍA Y EL COMIENZO DE LOS ESTUDIOS GLACIOLÓGICOS

Las exploraciones más importantes de la Cordillera Blanca tendrán lugar a partir de 1932 con la primera expedición del Club Alpino austro alemán, que llegó a Perú no solamente para hacer ascensiones, sino también para realizar una serie de investigaciones,

particularmente en geografía, glaciología y topografía. Bajo la dirección del Dr. Philip Borchers, estaban H. Hoerlin, W. Bernard, físicos, H. Kinzl, geógrafo, B. Lukas, H. Heim y E. Schneider, topógrafos, todos ellos alpinistas comprobados (Borchers, 1935).

Durante la primera expedición, exploran y levantan el mapa de la parte septentrional de la Cordillera Blanca, del Nevado Champará a la Quebrada Honda. Algunos años después, se publicó un bello mapa al 1:100 000 (Borchers, 1935). Seguirán tres expediciones, en 1936, 1939 y 1954, dirigidas por Kinzl, que completarán la topografía de la Cordillera Blanca (Kingel, 1942) y también redundarán ampliamente sobre los otros macizos, Cordillera de Huayhuash y además, al sur, Cordillera de Huaytapallana, cerca de Huancayo. Poco después de la Segunda Guerra Mundial, se agregan tres mapas al anterior: la parte sur de la Cordillera Blanca al 1:100 000, esta misma cordillera en su integridad al 1:200 000 y la Cordillera de Huayhuash al 1:50 000. Más tarde, saldrá un nuevo mapa en gran escala (1:25000) del macizo del Huascarán. Por su calidad, estos mapas continúan siendo documentos de referencia para los alpinistas y científicos de hoy en día, que los prefieren a veces a los mapas del Instituto Geográfico Nacional, menos prácticos para trazar itinerarios. Con los mapas, estas expediciones trajeron consigo miles de fotografías que son una mina de documentos sobre el estado de los glaciares durante los años 1930 y hacia mediados del siglo (Kinzl, 1940). Toda esta riqueza ha sido incompletamente explotada hasta la fecha. Las expediciones del Deutsch-Österreichischer Alpenverein jugaron, sin duda alguna, un papel de pioneras en el descubrimiento de este macizo.

En los años 1950, otras expediciones van a sucederse, dedicadas sobre todo al alpinismo. Estos macizos del Perú, menos altos que los Himalayas y de acceso poco reglamentado, y la Cordillera Blanca primero, se convierten en metas importantes para el alpinismo mundial: Alpamayo, Chacraraju, Huandoy, Artesonraju, Taulliraju, primero cimas y luego grandes caras, se inscriben en buen lugar en la epopeya de sus conquistas (por ejemplo, Kogan & Leininger, 1952; Terray, 1961). Huaraz, bien comunicada con Lima por una buena ruta después del sismo de inicios de los años 1970, comienza a sacar los beneficios (y también a conocer las incertidumbres) del turismo internacional instalando toda una infraestructura de recibimiento, mientras que un sector económico especializado se desarrolla.

Al alpinismo se le debe el asociar a estas cimas de los Andes uno de los paisajes de alta montaña más prestigiosos, como: pirámides de hielo agudas, geometrías que parecen aún más vertiginosas por los hielos esculpidos en estrías rectilíneas (*ice flutes*) y cornizas-hongos de contornos irreales que desafían la gravedad y que no se encuentran en ninguna otra parte en este estado de perfección (Kinzl & Schneider, 1950; Jaeger, 1979).

4. LAS GLACIACIONES DEL PASADO: DEL ÚLTIMO MÁXIMO PLEISTOCENO A LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO

La morfología de los paisajes alrededor de la alta cordillera, así como en las otras grandes cordilleras del Perú y de Bolivia, prueban la fuerte actividad de los glaciares en el Cuaternario. Los poderosos valles glaciares de Llanganuco, de Parón o de Santa Cruz se encuentran entre los más perfectos ejemplos de ese tipo y prueban el espesor excepcional alcanzado por los glaciares del Pleistoceno al interior de la cordillera. Las morrenas antiguas son espectaculares por la masa de detritos que representan a la salida de las principales quebradas. A veces se encuentran los indicios de antiguas glaciaciones hasta alturas muy bajas en dirección al fondo del valle del Santa.

A. Raimondi, hacia 1870, en una época en que el asunto todavía no era evidente en Europa, fue el primero en tomar consciencia de la extensión antigua de los glaciares a partir de estos depósitos. Menciona la presencia en Yungay de una morrena terminal antigua a una altura de 2500 m y a 11-12 kilómetros del frente de los actuales glaciares. Kinzl (Kinzl & Schneider, 1950; Kinzl, 1969) nota la presencia de depósitos morrénicos hacia 1800 m en la entrada del Cañón del Pato, en un lugar llamado Molinopampa. Allí, niveles de material fino estratificados indican, para él, la presencia de una antigua laguna glaciar. El récord de altura en depósitos atribuidos por Kinzl al transporte de los glaciares, parece pertenecer a un till situado río arriba de la Quebrada Coronguillo, al extremo norte de la cordillera, a 1300 m solamente y a 15-17 kilómetros de los glaciares del Nevado Champará. Este depósito sería uno de los testigos de los glaciares pleistocenos más bajos encontrados bajo los trópicos. Sin embargo, la atribución de este depósito a los glaciares es un problema controvertido: en efecto, aquí como en otra parte, frecuentemente se han confundido depósitos de origen glaciar con otros que habrían podido ser removidos por procesos de vertiente o aluviones, eventualidad muy corriente en los Andes donde se producen grandes movimientos de masa debido a los sismos o vaciados de lagos proglaciares (*ver infra*). La mayoría de las grandes morrenas de la vertiente oeste están divididas por la falla normal a partir de la cual continúa elevándose la cordillera, por lo tanto su datación tiene un interés evidente para la historia tectónica de la Cordillera Blanca.

Varios autores escribieron sobre el número de oscilaciones glaciares identificables a partir de la presencia de cordones morrénicos. Oppenheim (1945) distinguió 4 fases a lo largo de la vertiente que separa Huaraz de la Quebrada Llaca: una a 3100-3200 m (10-11 kilómetros del glaciar), otra a 3500 m (7-8 kilómetros), una tercera a 3900-4000 m (2-3 kilómetros) y la última, de 4500 a 5000 m, encerrando la laguna Llaca. Heim (1947), Wilson *et al.* (1967), Clapperton (1972), Lliboutry *et al.* (1977a), también describen en la cordillera estas cuatro fases principales, sin, no obstante, fecharlas por los métodos rigurosos que permiten atribuirles una edad absoluta.

Las morrenas más antiguas están siempre relacionadas al Pleistoceno Superior, la más reciente, a la Pequeña Edad de Hielo. En 1972, Clapperton pensaba que los Andes no eran bastante elevados antes del final del Pleistoceno para haber podido ser el teatro de vastas glaciaciones, por lo tanto atribuyó las morrenas más antiguas al final del Pleistoceno.

Desde entonces, las ideas se precisaron sobre la antigua historia glaciar; éstas vinieron de estudios dedicados a otras cordilleras del Perú o de Bolivia (Mercer, 1979; Wright, 1984; Gouze *et al.*, 1987; Seltzer, 1990; Clapperton, 1993a). Se sabe actualmente que los Andes centrales sufrieron una serie de glaciaciones, la primera identificada en Bolivia que data de antes del Pleistoceno, hace 3.3 a 2.2 Ma (Clapperton, 1979; Thouveny & Servant, 1989), época en que la altura promedio de los Andes ya era comparable a la actual. El último máximo glaciar —el que da la gran morrena más baja con contornos aún bien dibujados, llamada M1 en Bolivia (Gouze *et al.*, 1987)— es tardío, fechado entre 14 y 15 Ka BP (Mercer & Palacios, 1977a; Servant *et al.*, en prensa). Después de un crecimiento contemporáneo del Dryas Reciente (hacia 11-10 Ka BP), este último controvertido (Mercer & Palacios, 1977b; Clapperton, 1993b; Heine, 1993; Francou *et al.*, en prensa) pero confirmado por el reciente sondeo del Huascarán (Thompson, com. pers.), la desglaciación es muy rápida después de 10 Ka BP y el nivel alcanzado por los glaciares en uno o dos milenios fue muy alto, comparable o más

alto que el actual. Esa disminución marcada fue interrumpida en la Cordillera Blanca por una serie de reavanzadas neoglaciares después de 4 Ka BP (Röthlisberger, 1987) gracias a un enfriamiento climático, siendo la Pequeña Edad de Hielo la última fecha de nuestro milenario.

La mejor estimación de las fechas que enmarcan la Pequeña Edad de Hielo en los Andes, es aún la de Thompson *et al.* (1986) en el casquete de Quelccaya, al sur del Perú, que es de 1480 AD y 1880 AD. Se obtuvo a partir de los análisis del testigo extraído en la cima comprendiendo las conductividades, los polvos y los isótopos del oxígeno —y fijada cronológicamente a un evento histórico bien identificable, la explosión del volcán Huaynaputina en 1600, al sur del Perú—. En cambio, subsisten las dudas en cuanto a la fecha en la cual los glaciares de la Pequeña Edad de Hielo comenzaron su decrecimiento secular. Según Broggi (1945), basándose en un documento de Raimondi, esta fecha sería 1862, o sea una fecha próxima a las conocidas en los Alpes, que oscilan entre 1840 y 1866; pero apoyándose en un solo documento, esta estimación todavía es muy frágil. Las fotografías tomadas por Middendorf en 1866 en la Cordillera Central, comparadas a otras tomadas en 1942 demuestran, para Broggi (1943), que el retroceso de los glaciares fue del orden de 930 m en altura, entre las dos fechas. En el sur del Perú, varios autores informan que los glaciares abandonaron algunos lugares mineros, como minas de oro anteriormente explotadas, alrededor de fines del siglo XIX-inicios del siglo XX (Pflücker, 1905; Sievers, 1914; Broggi, 1943; Oppenheim & Spann, 1946). Pero Lliboutry *et al.* (1977a) consideran que el verdadero decrecimiento comienza alrededor de 1927-1932, después del último avance que marca el primer cuarto del siglo XX. En Ecuador existen varias evidencias de que el retroceso de los glaciares comenzó en los últimos decenios del siglo XIX, hacia 1870-1880 (Hastenrath, 1981).

Aún falta por investigar y estudiar muchas informaciones históricas tanto en Perú como en Ecuador y en Bolivia, para llegar a una cronología fina del final de la Pequeña Edad de Hielo en los Andes Centrales.

5. LOS GLACIARES ACTUALES: UN RETROCESO QUE SE ACELERA DESDE 1980

Según el reciente inventario de los glaciares del Perú (Ames *et al.*, 1988), su extensión actual en la Cordillera Blanca es de 723 km². Actualmente se cuentan 722 glaciares. Estos glaciares no forman grandes casquetes continuos como los del sur de Chile, pero son individualizados en macizos separados por pasos sin hielo, situados a una altura promedio de 4700 m (Fig. 1). Como ocurre generalmente bajo los trópicos, son pequeños glaciares, 1 km² de superficie media, 0,4 km² en la mediana; los "grandes" glaciares (más de 5 km²) apenas son una decena.

Uno de los rasgos más notables de esta glaciación es su fuerte asimetría Este-Oeste. Los picos más altos, los que sobrepasan los 6000 m—Huascarán, Nevado Santa Cruz, Ranrapalca, etc.—no están ubicados en la línea divisoria de las aguas Atlántico/Pacífico, sino desplazados de 5 a 12 kilómetros hacia el oeste. A esta asimetría topográfica se agrega la de un declive oriental empinado opuesto a un declive oeste más suave, lo que explica en parte la presencia de una más amplia cobertura glaciar sobre el costado oeste de la cadena y esto aunque la fuente de humedad sea al este, en la cuenca amazónica y la vertiente oriental de la cordillera esté más lluviosa: caen un poco más de 1000/1500 mm de agua arriba de los 4000 m sobre la cuenca este, mientras que al oeste, el Callejón de Huaylas comprende varias zonas semi

áridas con menos de 500 mm. La Cordillera Negra, que sube a 5000 m, no cuenta con nieves permanentes. Pero se sabe también que en los Andes tropicales húmedos, las vertientes orientales están más tiempo llenas de sol, durante las mañanas se encuentran iluminadas, mientras que las vertientes oeste tienen un déficit de sol debido al fortalecimiento de la nebulosidad de la tarde, lo que disminuye la fusión del hielo en estas vertientes y contribuye a acentuar la asimetría de hielo Este-Oeste de la cadena.

La línea de equilibrio glaciar en esta cordillera andina que se puede considerar como húmeda, ya que la estación de las precipitaciones dura de 5 a 6 meses (contra menos de 4 meses al norte de Bolivia) se sitúa hacia 4900 ± 100 m, es decir prácticamente al nivel de la isoterma 0° C anual. Por consiguiente, el piso periglacial se extiende sobre un espesor muy débil, menos de 200 metros y con él los paisajes minerales asociados a la acción del hielo sobre las rocas denudadas (Franco, 1993).

El último avance significativo de los glaciares durante este siglo en Perú data de aproximadamente 1924. Según los mineros del lugar de Atlante (Kinzl, 1969), la lengua glaciar próxima a la entrada de una de las minas avanzó 14 metros entre 1923 y 1924. En los mismos años, Oppenheim (1945) informa de casos de glaciares que llegaron a recubrir galerías de minas, como las minas de oro de Ananea en la Cordillera de Apolobamba al sur del Perú. Desde el comienzo de los años 1930, se considera que el retroceso de los frentes glaciares casi siempre ha predominado sobre los avances, con excepción de algunos raros años de ligeros avances o de estabilizaciones.

Los métodos de monitoreo de los frentes glaciares variaron en la historia. Las estimaciones a partir de documentos dispersos, pinturas o fotografías, hechas por Broggi, dejaron lugar a métodos más rigurosos. Kinzl (1969) fue el primero en utilizar referencias ubicadas en los frentes para seguir el retroceso de los glaciares en la mina Atlante, al este de la Cordillera. Con este método, entre 1932 y 1937, mide un retroceso medio de 8 m por año. Más tarde, en el mismo lugar, Wilson *et al.* (1967) estimarán en un promedio de 2m/año el retroceso entre 1957 y 1964. Petersen (1967) obtiene, en 19 años de observaciones, cifras comparables sobre el Yanasinga, en la región del Tielio (Cordillera Central): 5 m por año.

Durante sus sucesivas expediciones, Kinzl acumulará una documentación impresionante, con fotografías tomadas con un foto-teodolito que pueden ser interpretadas en estereoscopia y servir de base para una cartografía precisa. Una vez interpretados, estos documentos permitirán conocer en detalle las oscilaciones del frente de los glaciares desde los años 1930 hasta el inicio en 1948/1950 de las primeras coberturas fotográficas aéreas sistemáticas. Así, una fotografía de Kinzl que data de 1932 muestra el frente del Glaciar Broggi, aproximadamente 1020 m antes de su límite actual (1993). Enseguida, gracias a la primera cobertura fotográfica aérea del Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN), se puede ubicar, en 1948, el frente de este glaciar 730 m aproximadamente adelante de su límite actual. La cobertura siguiente, debida al Instituto Geográfico Nacional en 1962/1963, sitúa el mismo frente 530 m más abajo de su posición de 1993.

Después del sismo de 1970, a iniciativa de la NASA y del IGN, se realiza una cobertura en infrarrojo sobre la Cordillera Blanca, cobertura que va a servir de base para el inventario general de los glaciares citado más arriba.

Desde 1951 los glaciares de la cordillera son objeto de una atención especial de parte de la Corporación Peruana del Santa, una compañía del Estado que sirve al desarrollo del

potencial hidroeléctrico del valle. El interés se refiere sobre todo a las lagunas proglaciares que se forman como resultado del retroceso de los glaciares. Algunas de estas lagunas se vaciaron bruscamente y fueron el origen de aluviones catastróficos que causaron numerosas víctimas en el Callejón de Huaylas, particularmente entre los años 1941 y 1950 (ver *infra*).

Pero hay que esperar hasta 1968 para ver la instalación en Huaraz de un servicio de monitoreo de los glaciares, con la creación de la División de Glaciología. Se intenta estudiar los glaciares bajo sus dos aspectos: 1) por su contribución a los recursos hídricos del valle; 2) como causas impulsoras de aluviones a consecuencia de vaciados intempestivos de lagunas de represas morrénicas. Así, fueron elegidos cuatro glaciares para efectuar un monitoreo prolongado: 1) Safuna, en la vertiente norte de la cordillera, 2) Broggi al centro, 3) Uruashraju y 4) Yanamarey al sur. Se unirá, durante 6 años, de 1977 a 1983, el Glaciar Santa Rosa en la Cordillera Raura. Al comienzo de los años 1980, 3 nuevos glaciares se suman al programa, Huarapasca, Pastoruri y Gajap, todos situados al sur de la cordillera (Fig. 1). La elección de estos glaciares es dictada por consideraciones logísticas, es decir la accesibilidad en todo período del año. Los medios financieros disponibles operarán su selección, de suerte que los glaciares, que al comienzo de los años 1990 habrán sido objeto del monitoreo más completo, son Yanamarey y Uruashraju. En estos dos glaciares se midieron, en la zona de ablación (a menos de 4900 m aproximadamente) el balance y las velocidades superficiales, esto por medio de balizas plantadas en el hielo y visitadas dos veces por año, al final y al principio de la estación de lluvias (mayo y septiembre). Las oscilaciones de los frentes son estimadas en el campo por medio de la topografía (Fig. 2 y 3). Paralelamente, son medidos y registrados, cerca de los glaciares, los principales parámetros meteorológicos, temperaturas y precipitaciones. En los otros glaciares sólo el frente es medido cada año.

Así, se puede tener una estimación precisa, año tras año, de las oscilaciones de éstos glaciares (Ames, 1985). Como son pequeños glaciares (menos de 3 kilómetros de longitud), los movimientos del frente traducen con un plazo muy corto las tendencias del balance neto. El cuadro 1 y la figura 4 dan las cifras de retroceso y las oscilaciones al frente de tres de estos glaciares, Broggi, Uruashraju y Yanamarey.

Cuadro 1: Variación de longitud de 3 glaciares de la Cordillera Blanca (Fuente: Oficina de Recursos Hídricos, Electroperú, Huaraz, Perú).

Variación de longitud	Broggi	Uruashraju	Yamarey
1932-1948 (1)	18.1	--	--
1948-1993 (1)	16.0	11.0	9.0
1948-1981 (1)	11.0	8.0	6.0
1982-1993 (1)	30.0	19.6	18.6
Longitud total en 1982 (2)	1.2	2.5	1.6

(1) en metros/año

(2) en kilómetros



Fig. 2 - Retroceso del Glaciar Broggi desde 1968 a 1987. En 1994, las dos lenguas estaban separadas. Foto A. Ames.

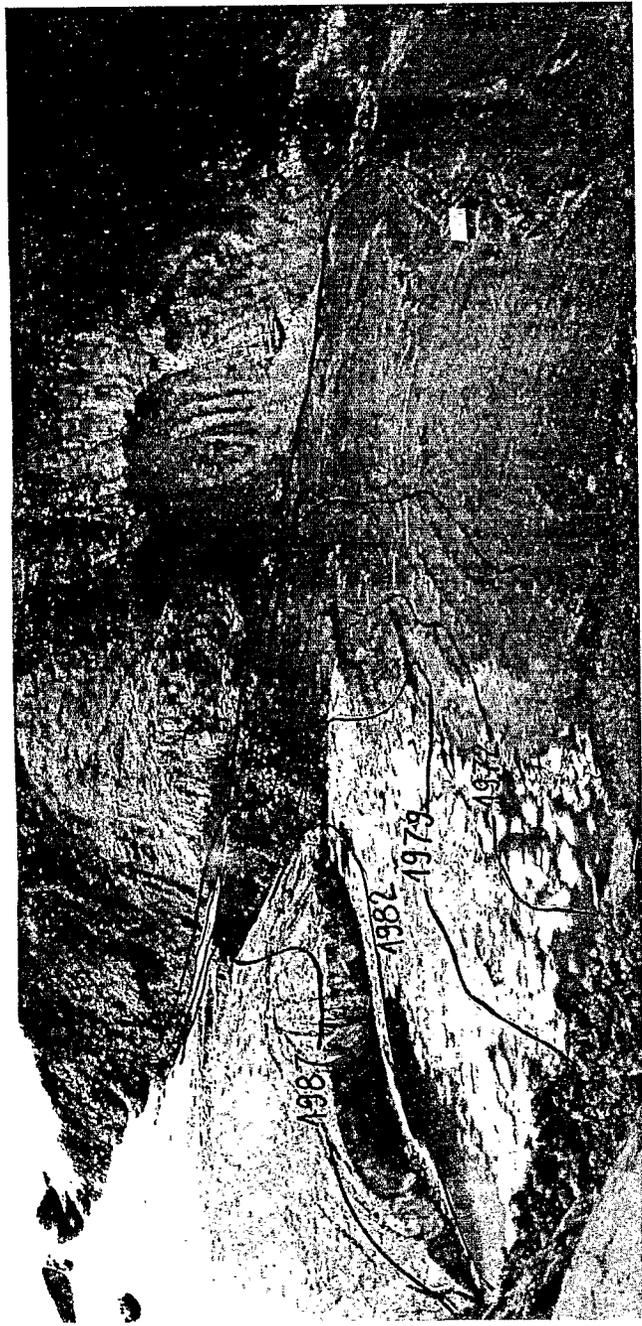


Fig. 3 - Etapas del retroceso sobre el Glaciar Yanamarey entre 1948 y 1987. Hoy en día (1994), el glaciar no tiene contacto con la laguna formada en 1970. Foto A. Ames.

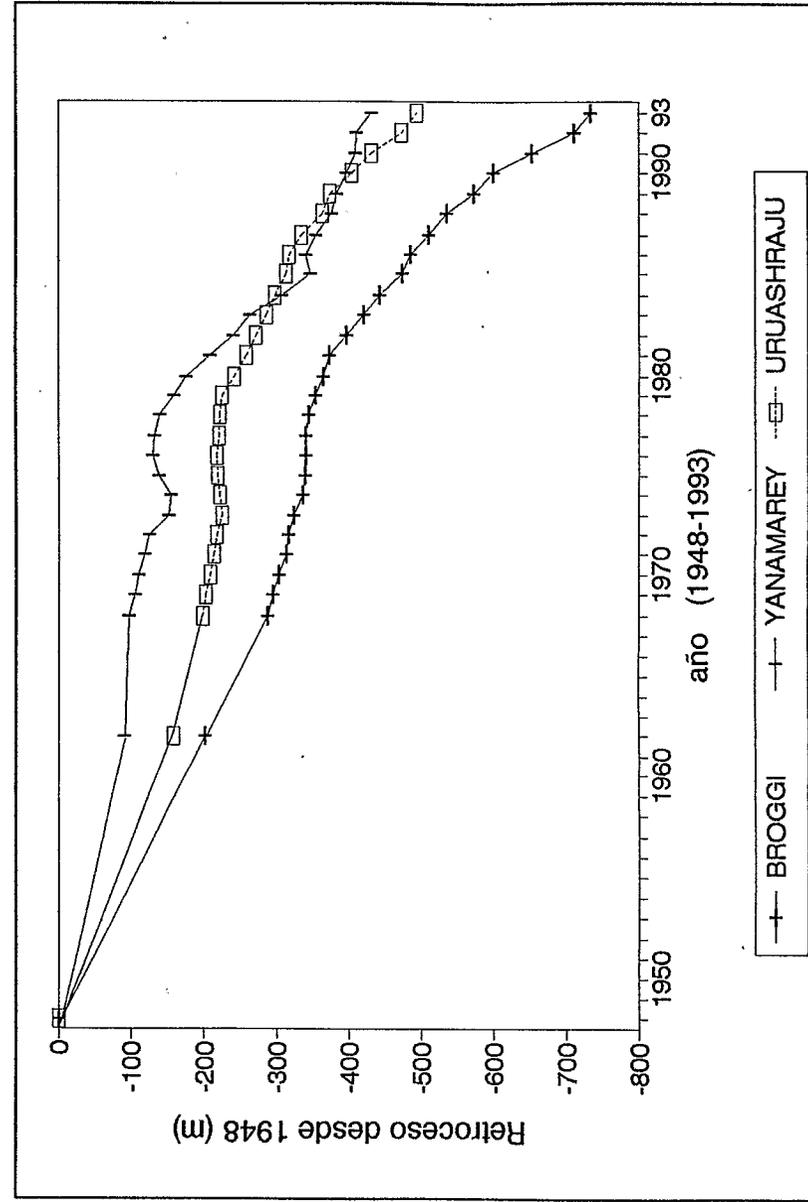


Fig. 4 - Retroceso medido por topografía sobre 3 glaciares de la Cordillera Blanca desde 1948. Fuentes : Oficina de Recursos Hídricos de Electoperú, Huaraz.

De estos datos se puede deducir una tendencia general: un retroceso marcado, movimiento que se acelera desde el comienzo de los años 1980. Así, la velocidad de este retroceso, desde 1982, es tres veces superior al período anterior de 1948-1981. Esta tendencia con aceleración de los retrocesos desde 1980/1982 es observada en otra parte en los Andes Centrales: al frente del casquete de Quelccaya según Brecher & Thompson (1993), en Chacaltaya, Cordillera Real (Bolivia), según Francou & Ribstein (1995). Este retroceso de los frentes está ligado a una serie de balances de masas negativos: el glaciar pierde durante el año por ablación (fusión, sublimación) más masa de la que gana por acumulación.

Así fue en promedio en el Uruashraju y el Yanamarey desde 1977, fecha del inicio de sus mediciones sistemáticas (Kaser *et al.*, 1990). Aunque todavía no estamos en posibilidad de demostrarlo perfectamente, sobre todo en la Cordillera Blanca, balances negativos como éstos deben probablemente a la conjunción de dos factores: una elevación de las temperaturas en los últimos decenios y una serie de episodios ENSO (El-Niño Southern Oscillation). Estos últimos son conocidos por tener como efectos una disminución sensible de la acumulación a gran altura (Thompson *et al.*, 1984) y un aumento importante de la ablación en la parte baja del glaciar como consecuencia de una elevación de las temperaturas (Francou *et al.*, 1995; Ribstein *et al.*, 1995).

Mencionemos que existen años en que los frentes se estabilizaron, incluso avanzaron, traduciendo balances equilibrados o positivos como los tres años hidrológicos: 1974-1975, 1975-1976 y 1986-1987. Pero son episodios cortos, ligados a años húmedos y relativamente fríos, que retrasan pero no cambian la tendencia dominante de un retroceso pronunciado de los glaciares en esta cordillera, como en las otras de los Andes centrales (Fig. 5).

El último decenio 1982-1993 ya batió el récord de velocidad de retroceso de los frentes registrado durante los años 1940, por lo que se puede pensar que una continuación de esta evolución tendría como consecuencia poner en peligro todos los pequeños glaciares, como el Broggi o el Yanamarey, que tienen una zona de acumulación a baja altura, situada a menos de 5400 m. El Broggi ya perdió más de 85% de su longitud desde 1932 y al ritmo actual, lógicamente debería desaparecer dentro de algunos años. Durante su retroceso, cuando se encuentran rodeados de arcos morrénicos, o ubicados en depresiones rocosas, los glaciares forman lagunas. Estas lagunas no han terminado de causar problemas...

6. BELLAS, PERO PELIGROSAS LAGUNAS GLACIARES

13 de diciembre de 1941: una laguna glaciar de la Quebrada Cojup, obstruida por una morrena, se vacía bruscamente enviando un aluvión (llamado "huayco") que destruye la mitad de la ciudad de Huaraz, matando a 4000 personas.

17 de enero de 1945: se desencadena un derrumbe de la cara este del Huantsán y cae en Ayhuiña ocasionando un vaciado de esta laguna glaciar y una corriente de detritos que recubre la mayor parte del sitio preinca de Chavín de Huantar, matando por lo menos a 300 personas.

20 de octubre de 1950: otro aluvión es provocado por la ruptura de la laguna de represa glaciar, situada arriba de la Quebrada Alpamayo, destruyendo parcialmente las instalaciones de la central hidroeléctrica del Cañón del Pato y causando 16 muertes.

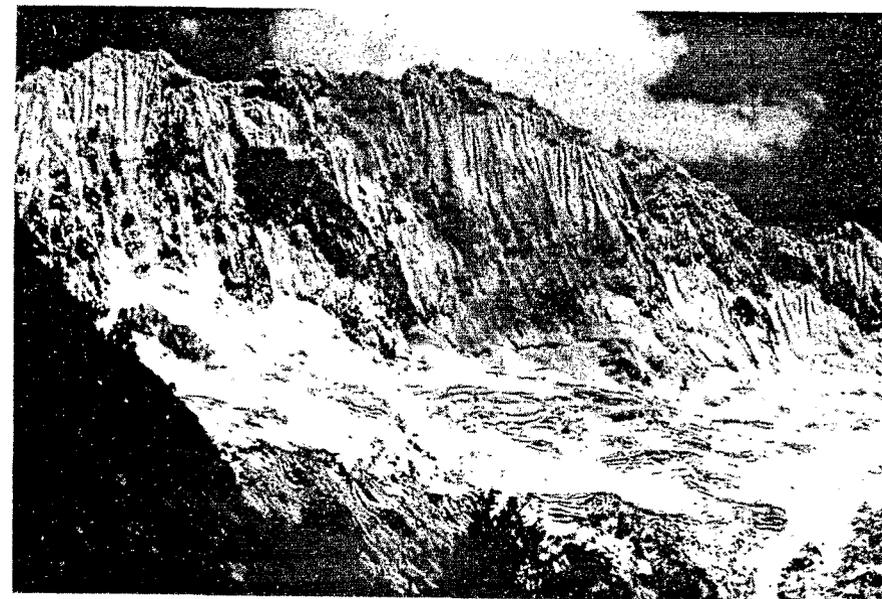


Fig. 5 - Desglaciación que afecta también las paredes ubicadas a gran altura. Pared sur del Ocschalpa (5800 m) en la Quebrada Llaca, en 1983 (1), luego en 1992 (2). Fotos A.Ames.

Estas lagunas, de formación reciente, son provocadas por el retroceso de los glaciares, como lo muestra la figura 6 para la Laguna Milluacocha. Otro ejemplo, la Laguna Allicocho, en la vertiente noroeste del Nevado Copa. Está señalada en el mapa de Kinzi de 1932 como una pequeña capa de agua en el frente del glaciar. En 1948, toma buenas proporciones, ya que mide 700 m de longitud por 400 m de ancho. En 1962, la laguna pasa de 1000 m de longitud y en la fotografía de 1970 alcanza 1400 m. Lo mismo le sucedió a la Laguna Yanaraju, al fondo de la Quebrada Potaca al norte del Allicocho: un pequeño charco hasta 1948, que creció de 1962 a 1970 hasta alcanzar 600 m de largo por 400 m de ancho.

La Laguna Safuna Alta (Liboutry *et al.*, 1977b) se sitúa en la Quebrada Quitaraca, al pie de un glaciar parcialmente cubierto de escombros que desciende del Pucahirca. Probablemente, no había laguna en 1932, apenas algunos charcos en 1948, pero en 1962 ya existía una laguna de 400 m sobre 150 m. Retenida por un débil dique morrénico, es considerada amenazante para la Central hidroeléctrica del Pato y se emprenden trabajos para vaciarla por medio de un túnel de evacuación perforado en la morrena. Los estudios geofísicos muestran en ese momento que el glaciar tiene 160 m de espesor, la laguna 80 m de profundidad y que el glaciar también forma su basamento. Primera alerta en octubre de 1968, cuando, como efecto de la caída de un gran bloque de hielo de la pared glaciar que domina la laguna, enormes icebergs surgen del fondo y cubren casi totalmente su superficie, evaluada en la época en 160 000 m². Los trabajos del túnel están casi acabados cuando ocurre el mayor sismo de 1970. El túnel es severamente dañado, glaciar y morrena son fuertemente sacudidos, aparece un drenaje subterráneo que provoca el descenso brutal de 38 metros del nivel de la laguna. Un nuevo túnel debe ser construido en la morrena.

Generalmente, este tipo de catástrofes glaciares es provocado por la caída de bloques de hielo en el lago: derrumbamiento de un glaciar suspendido sobre una pared rocosa empinada, a veces desprendida por un sismo. La masa de hielo llega a la laguna, provoca una ola de varios metros que alcanza el dique morrénico y lo sumerge. Se produce un corte en su material blando, luego, inmediatamente o algún tiempo después, el tamaño de la incisión crece por erosión regresiva y llega el segundo vaciado, con la formación de estos aluviones que devastan todo a su paso. Estas catástrofes tienen lugar generalmente en la estación de lluvias, en un momento en que las lagunas están bien llenas (Fig. 7).

Para luchar contra estas catástrofes, se disminuye artificialmente el nivel de las lagunas por medio de túneles o de canalones abiertos y se cementa la incisión para evitar que sea barrida por la erosión. En Huaraz, la Comisión de Vigilancia de Lagunas cumple este trabajo, trabajo pesado y costoso cuando se sabe que las lagunas peligrosas inventariadas en la Cordillera Blanca se cuentan por decenas (Morales *et al.*, 1979; Morales, 1979). Entre estos trabajos de prevención de los riesgos de vaciado, el más importante fue realizado en la Quebrada Parón (Fig. 8).

Parón forma una laguna de 1.6 km² que encierra unos 75 M de m³ de agua que ocupa lo esencial de un hermoso valle a 4200 m de altura. El problema es que la laguna sólo está interceptada río abajo por un glaciar "negro", cubierto de una capa de escombros, el Glaciar Hatunraju y su cordón morrénico. El glaciar no obtura todo el valle, ya que efectúa a medio camino una curva de 90° hacia río abajo y se vuelve paralelo al eje del valle, esto debido tal vez a un vaciado pasado (Liboutry, 1977). Además, río arriba hay, en pequeños valles opuestos dos lagunas con dimensiones más modestas, la Artesoncocha, al pie del Artesonraju,

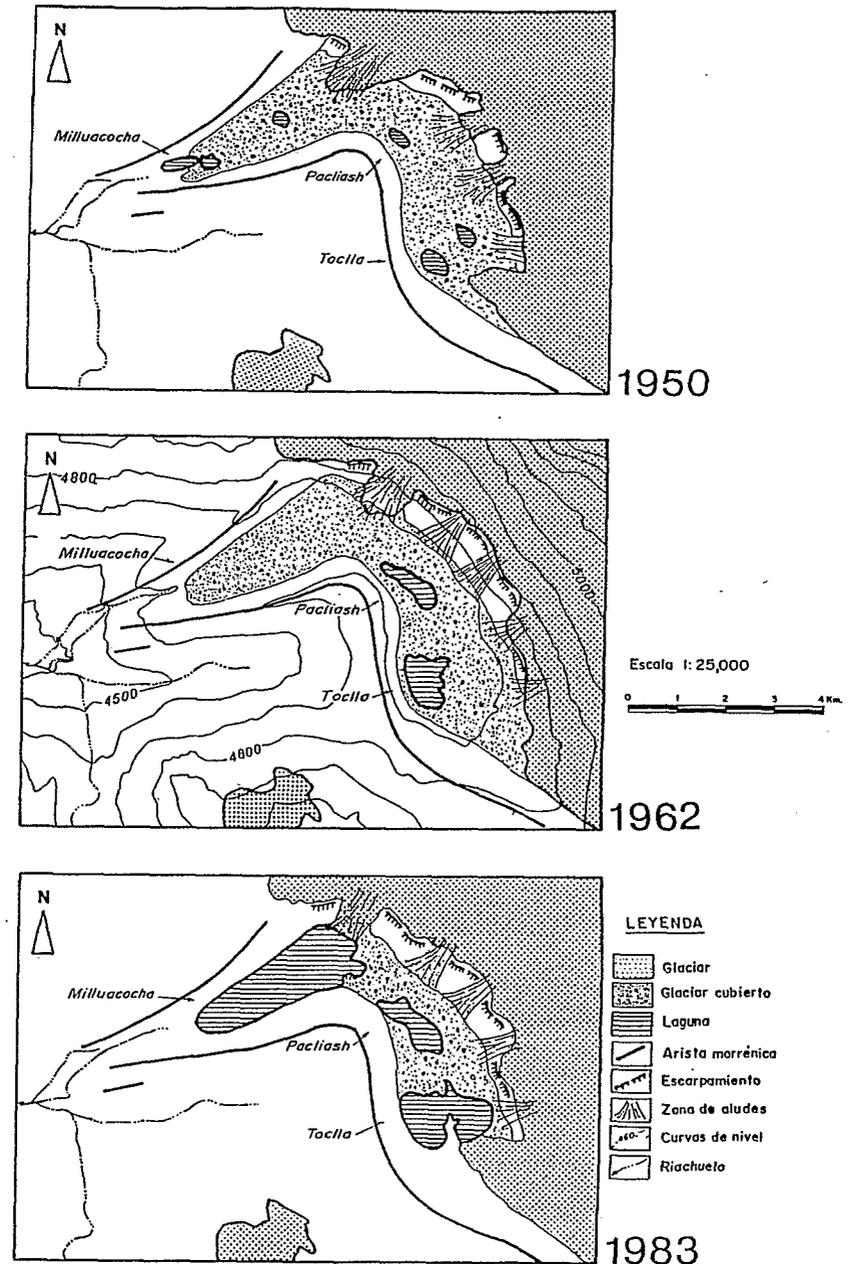


Fig. 6 - Formación de la Laguna Milluacocha (ver ubicación Fig.1) entre los años 1950, 1962 y 1983 como consecuencia del retroceso del glaciar del Tocllaraju (Quebrada Ishínca).



Fig. 7 - El dique morrénico de la Laguna Palcacocha, Quebrada Cojup. Dique en 1940 (foto Kinzli) y dique roto en 1950 (foto Fernández).



Fig. 8 - Laguna Parón en 1994. Glaciar Hatuniraju cubierto bajando del Huandoy y formando un dique. Nivel de la laguna a menos 18 metros desde el vaciado artificial. Al fondo, lagunas Artesoncocha y Chacaracocha con sus diques morrénicos parcialmente rotos. Foto B. Francou.

ya la Chacrucocha al pie del Chacaraju este. Éstas están encerradas en un cordón morrénico; las lagunas son dominadas por glaciares cuyos frentes están como suspendidos en sus vertientes rocosas lisas y empinadas. El derrumbamiento de un bloque de hielo de unos 4 ó 5 M de m³ en la Artesoncocha provocó, en julio 1951, su vaciado parcial: el impacto provocó una ola de varios metros que cortó la morrena. Tres meses más tarde, unos 3.52 M de m³ de agua se escapan aún por el corte, se derraman en la Laguna Parón, lo que en consecuencia eleva bruscamente su nivel en 2 metros. La llegada intempestiva de aluviones a la Laguna Parón habría podido vencer la débil represa del Glaciar Hatunraju, sobre todo en la estación húmeda cuando ésta estaba llena. Razón por la cual fueron emprendidos trabajos para bajar en 18 metros el nivel de las aguas por medio de la construcción de un túnel de 1.3 kilómetros en la vertiente granodiorítica derecha. Operación costosa (\$800 000 US) pero que tuvo una doble ventaja: garantizar la seguridad de la pequeña ciudad de Caraz, situada río abajo, a 2285 m de altura, así como la del complejo hidroeléctrico del Cañón del Pato, pero también permitir la utilización de esta laguna como depósito artificial para almacenar agua durante la estación seca.

Así, el retroceso glaciar tiene como consecuencia la formación de almacenamientos de agua a gran altura. Estos depósitos naturales son amenazas permanentes para las poblaciones instaladas río abajo (cuadro II). Pero éstos pueden ser aprovechados para la regularización del caudal de los ríos. Esto sólo es posible, por una parte, con un buen conocimiento de su régimen hidrológico, de la relación de este último con la evolución del balance de los glaciares situados río arriba; por otra parte, con trabajos importantes con el objeto de disminuir su peligrosidad.

Cuadro II: Conocidas catástrofes provocadas por glaciares en la Cordillera Blanca.

Fecha	Lugar de catástrofe Nevado, laguna, pueblo	Tipo de catástrofe	Número de víctimas, daños
6/01/1725	Huandoy Pueblo de Ancash	Avalanchas (sismo) Aluviones	1500 muertos
6/01/1725	Huaraz	Avalanchas (sismo) Aluviones	1500 muertos
27/02/1869	Monterrey	Aluvión por desborde de laguna	11 muertos
24/06/1883	Macashca Laguna Rajucolta	Aluvión por desborde de laguna	"Muchos muertos"
22/01/1917	Huascarán norte Shacsha, Ranrahirca	Avalancha de hielo	No conocidos

14/03/1932	Salteracocha Queb. de Pacllón	Ruptura del dique de laguna y aluvión	No conocidos
20/01/1938	Laguna Artesa Queb. Ulta	Ruptura del dique, de laguna y aluvión	Daños materiales menores
20/04/1941	Lag. Suerococha (Río Pativilca), Huayhuash	Ruptura del dique de laguna y aluvión	Daños materiales
13/12/1941	Lag. Acoshacoscha (Palcacocha) y Jircacocha (Queb. Cojup) Huaraz	Ruptura del dique de las lagunas y aluviones	4000 muertos en Huaraz. Mitad de la ciudad destruida
17/01/1945	Lag. Ayhuinyaraju y Carhuacocha Nevado Huantsán- Chavín	Ruptura del dique de las lagunas y aluviones	300 muertos en Chavín. Ruinas preincaicas sepultadas en parte
20/10/1950	Lag. Jankarurish (Queb. Alpamayo)	Ruptura del dique de laguna y aluvión	Grandes daños materiales (puentes, obras de la central del Cañón del Pato) 16 muertos
16/06/1951	Lag. Artesoncocha (Queb. Parón)	Avalancha de hielo en la laguna, desborde y aluvión	Subida del nivel de la Lag. Parón
28/10/51	Lag. Artesoncocha (2do desborde)	Lo mismo que 6 meses antes	Subida del nivel de la Lag. Parón
6/11/1952	Lag. Milluacocha (Queb. Ishinka)	Avalancha de hielo, desborde de laguna y aluvión	Daños menores
??/1953	Lag. Tullparaju (Quebrada Quilcahuanca)	Deslizamiento de la morrena hacia la laguna. Desborde pero no aluvión	Ningún daño
8/12/1959	Lag. Tullparaju (Quebrada Quilcayhuanca)	Desborde parcial de la laguna por la misma causa	Daños menores

10/01/1962	Huascarán norte Ranrahirca	que la anterior y aluvión Avalancha de hielo y aluvión	4000 muertos Daños muy importantes hasta el río Santa
22/12/1965	Laguna Tumarina (Quebrada Carhuascancha) Nevado Turmarinaraju	Avalancha de hielo, desborde, aluvión	Varios muertos y daños materiales
31/05/1970	Huascarán norte Yungay Ranrahirca	Avalancha de hielo, despren- -dimiento de rocas y aluvión (sismo). Estimación del volumen total movilizado= ~ 244 M de m ³ al nivel del Río Santa	20 000 muertos
31/05/1970	Huascarán norte Llanganuco	Avalancha de hielo - cara Norte. Mismo sismo	14 muertos (expedición checoslovaca) Elevación del nivel de la laguna de Llanganuco Daños materiales
31/08/1982	Lag. Milluacocha Nevado Tocllaraju	Avalancha de hielo, desborde de la laguna, aluvión	
16/12/1987	Huascarán norte	Avalancha de hielo, represamiento del río Shacsha	Daños materiales menores (carretera Mancos- Yungay)
20/01/1989	Huascarán norte	Avalancha de hielo	Daños menores (carretera Mancos- Yungay)

7. HIELOS EN CAIDAS LIBRES, AVALANCHAS MORTALES

Más impresionantes todavía que los vaciados, son las avalanchas glaciares, las cuales son más raras, más localizadas, pero completamente imprevisibles (cuadro 2). El Callejón de

Huaylas les debe lo que se puede considerar como la mayor catástrofe conocida en la historia directamente provocada por un glaciar. Al menos 18 000 víctimas sólo en la ciudad de Yungay, a las que hay que agregar los 170 muertos de Ranrahirca, 299 muertos de Huashau y otros más río abajo.

La historia es conocida (Plafker & Ericksen, 1978; Hofmann *et al.*, 1983). El 31 de mayo de 1970, a las 15:23 horas, un terremoto de magnitud 7.7 centrado a 130 km de la costa del Pacífico, sacude durante 48 segundos la cordillera. Un gran pedazo de hielo se derrumba del glaciar de la cumbre del Huascarán norte (6654 m) y cae en la cara oeste; una masa de roca de una centena de metros de altura de esta cara rocosa casi vertical se desprende a su vez en una nube de polvo (Fig. 9). Al pie, una parte del hielo y de la nieve fresca del "Glaciar 511" es arrastrada. Todos estos materiales representan aproximadamente un volumen estimado en 50 M de m³ como mínimo, de los cuales un 10% es hielo. Descienden hacia el Río Shacsha a una velocidad del orden de 280 km/h. A través de rebotes sucesivos, la corriente de detritos bien canalizada apenas va a tomar un poco más de 3 minutos para recorrer los 14 kilómetros que separan el punto de partida de Yungay. A esta velocidad, tiene bastante energía para subir los 230 m de la cresta del Cerro Aira y para enviar un lóbulo secundario en dirección del cono de deyección en el cual está instalada Yungay, a 2500 m. Yungay es destruida primero por las sacudidas del sismo, luego por los bloques proyectados en el aire por el salto del Cerro Aira y la onda de la avalancha, finalmente por la misma avalancha, una corriente fluida de 5/10 metros de espesor que sepultó todo excepto el cementerio, que está instalado en una colina y la parte superior de las palmeras de la Plaza de Armas. El lóbulo principal se abalanza sobre Ranrahirca, destruye la parte recolonizada después de la catástrofe de 1962, un acontecimiento parecido pero de menor magnitud, y termina su carrera en el Santa encontrando bastante energía a 16 km de su punto de partida, para volver a subir 83 m de la ladera de la orilla izquierda. El Santa, cortado, va a formar una retención de un kilómetro de largo, luego se vaciará brutalmente enviando un aluvión que va a sembrar la destrucción a su paso hasta Chimbote, a 150 km de allí (Fig. 10).

Esta catástrofe desafía la imaginación por sus proporciones. Las velocidades alcanzadas (280 km/h) por la avalancha, sin duda hasta 800 km/h por bloques que pesan decenas de toneladas transformadas en proyectiles por los efectos trampolín, la presencia de agua, todo eso sugiere para la corriente un comportamiento mecánico complejo con paso sucesivo y parcialmente concomitante en los 3 estados, sólido, líquido y gaseoso (Körner, in Hofmann *et al.*, 1983). Lo más inquietante es el carácter recurrente de este tipo de acontecimiento: un glaciar de cúpula que desciende poco a poco hacia el vacío, la fragilidad estructural de una pared rocosa que la predispone a los derrumbamientos, una desnivelación de más de 4000 m en 14 kilómetros, una región donde los sismos son frecuentes e intensos, que reuna todas las condiciones. Antes de 1970, hubo la catástrofe de 1962, y luego mucho antes, sin duda uno o varios acontecimientos prehistóricos; el "Nuevo Yungay" es imprudentemente edificado sobre vestigios de avalanchas mucho más extensas, que movilizaron volúmenes de material mucho más grandes.

8. CONCLUSIÓN: GLACIARES BAJO VIGILANCIA

Como nos lo recuerda esta breve evocación histórica, existen varias razones para interesarse en los glaciares de la Cordillera Blanca. El peligro que representan las lagunas,



Fig. 9 - Parte superior de la avalancha de 1970 del Huarcarán norte. Derrumbamiento del glaciar de cúpula y de una parte de la pared de roca. "Cepillado" del Glaciar 511 y de la morrena de la Pequeña Edad de Hielo. Foto W. Welsch, julio de 1970.



Fig. 10 - Avalancha del Huascarán de 1970. Lóbulo de la derecha (iz. sobre la foto) que destruyó Yungay y lóbulo principal que afectó Ranrahirca y cortó el Río Santa formando una represa de 1 km de largo (der. sobre la foto). Foto W. Welsch, julio de 1970.

siempre más numerosas y más grandes por el retroceso actual acelerado de los glaciares, hacen necesaria, más que nunca, su vigilancia. Asimismo, en una época en que el recalentamiento global del clima hace previsible la desaparición próxima de numerosos glaciares bajo los trópicos (Thompson *et al.*, 1993), es urgente evaluar el impacto de una transformación tan rápida del medio sobre los recursos hídricos.

La impresión de montaña verde y rica que dio esta cordillera a los primeros visitantes, sólo se debió en realidad al papel de los glaciares en el régimen de los ríos de la región: atenuación de los estiajes durante la estación seca de mayo a septiembre, desalmacenamiento de una parte de las aguas contenidas en los hielos durante los años con pluviometría deficitaria, como ciertos años ENSO, los glaciares tienen un papel regulador. Los trabajos de irrigación hicieron el resto para dar forma a este paisaje verdoso. Se tiene una sorprendente ilustración viendo el contraste que opone la Cordillera Blanca y la Cordillera Negra!

Para controlar mejor el peligro, pero sobre todo esta riqueza que representan las aguas glaciares, es indispensable que las redes de monitoreo glaciológico e hidroclimatológico instalados desde hace unos treinta años sean mantenidos, mejorados y ampliados. El diagnóstico sobre "el estado de salud" de los glaciares —balances de masas y mediciones de los frentes— sigue siendo una necesidad por un largo tiempo, por su interés como indicador de la evolución del clima en los trópicos y las aplicaciones en el campo de los riesgos naturales. En cambio, es indispensable vincular, más de lo que se hizo en el pasado, el estudio

de los glaciares con el de sus aguas. En el modelo de lo que se hace ahora en otras partes en los Andes centrales (Francoy & Ribstein, 1995), es necesario disponer en algunas cuencas cubiertas de glaciares de un dispositivo que permita aproximar el balance hidrológico y seguir su evolución a medida que se opere la desglaciación.

En un momento en que las investigaciones muestran que los glaciares de los trópicos son indicadores extremadamente sensibles al recalentamiento climático en curso, su estudio constituye una vía de investigación renovada cuyo interés va más allá de la Cordillera Blanca.

Referencias citadas

- AMES, A., 1985 - Estudio de mediciones glaciológicas efectuadas en la Cordillera Blanca por Electroperú S.A.: Variación y balance de masas de los glaciares y su contribución en el caudal de las cuencas, 81p., Laboratoire de Glaciologie & de Géophysique de l'Environnement, Grenoble: C.N.R.S., publication n° 457.
- AMES, A., y 7 otros, 1988 - *Inventario de glaciares del Perú*, 105p., Hidrandina S.A., Huaraz: Unidad de Glaciología e Hidrología.
- BORCHERS, P., 1935 - *Die Weisse Kordillere*, 240p., Berlin: Verlag Scherl.
- BRECHER, H.H. & THOMPSON, L.G., 1993 - Measurement of the retreat of Qori Kalis Glacier in the Tropical Andes of Peru by photogrammetry. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 59, 6: 1017-1022.
- BROGGI, J.A., 1943 - La desglaciación andina y sus consecuencias. in: *Actas de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Lima*. VI, 1: 222-248.
- BROGGI, J.A., 1945 - La desglaciación actual de los Andes del Perú. *Boletín del Museo de Historia Natural*, IX, 34-35: 222-248.
- CLAPPERTON, C.M., 1972 - The Pleistocene moraine stages of west-central Peru. *Journal of Glaciology*, 62: 255-263.
- CLAPPERTON, C.M., 1979 - Glaciation in Bolivia before 3.27 Myr. *Nature*, 277: 275-376.
- CLAPPERTON, C.M., 1990 - Quaternary glaciation in the Southern Hemisphere. *Quaternary Science Review*, 9: 120-304.
- CLAPPERTON, C.M., 1993a - *The Quaternary geology and geomorphology of South America*, 779p., Amsterdam: Elsevier.
- CLAPPERTON, C.M., 1993b - Glaciers readvances in the Andes at 12 500-10 000 yr BP: implications for mechanisms of Late-Glacial climatic change. *Journal of Quaternary Sciences*, 8 (3): 197-215.
- ENOCK, C.R., 1904a - Una excursión Trasandina. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, XV(15): 182-185; Lima.
- ENOCK, C.R., 1904b - El Huascarán. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, XV(15): 173-178; Lima.
- FRANCOU, B., 1993 - *Hautes Montagnes. Passion d'explorations*, 202p., Paris: Masson.
- FRANCOU, B., RIBSTEIN, P., TIRIAU, E. & SARAVIA, R., 1995 - Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier: Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, 16°S. *Journal of Glaciology*, 41, 137: 61-67.
- FRANCOU, B. & RIBSTEIN, P., 1995 - Glacier et évolution climatique dans les Andes boliviennes. Glacier de Zongo et Glacier de Chacaltaya, Cordillère Royale, 16°S. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24(1): 23-36.
- FRANCOU, B., MOURGUIART, P. & FOURNIER, M. (en prensa): Phase d'avancée des glaciers au Dryas récent dans les Andes du Pérou. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, Paris.
- GOUZE, P., ARGOLLO, J., SALIÈGE, J.-F. & SERVANT, M., 1987 - Interprétation paléoclimatique des oscillations des glaciers au cours des derniers millénaires dans les régions tropicales: exemple des Andes boliviennes. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 303, série II: 219-224.
- HASTENRATH, S., 1981 - *The glaciation of the Ecuadorian Andes*, 159p., Rotterdam: A.A.Balkema.
- HEIM, A., 1947 - Observaciones glaciológicas en la Cordillera Blanca. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, XIV-XV: 111-117.
- HEINE, J.T., 1993 - A reevaluation of the evidence for a Younger Dryas climatic reversal in the Tropical Andes. *Quaternary Science Reviews*, 12: 769-779.
- HOFMANN, W., KÖRNER, H., SCHNEIDER, E., STADELMANN y WELSCH, W., 1983 - *Die Berg- und Gletscherstürze vom Huascarán, Cordillera Blanca, Perú*, 110p., Innsbruck: G. Patzelt, cd. Universitätsverlag Wagner.
- JAEGER, N., 1979 - *Les Andes du Pérou. Au coeur de la Cordillère Blanche*, 176p., Paris: Denöel.
- KASER, G., AMES, A. & ZAMORA, M., 1990 - Glacier fluctuations and climate in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology*, 14: 136-140.
- KINZL, H., 1940 - Los glaciares de la Cordillera Blanca. *Revista de Ciencias*, 432: 417-440; Lima.
- KINZL, H., 1942 - Gletscherkunde Begleiworte zur Karte der Cordillera Blanca (Peru). *Zeitschrift für Gletscherkunde*, 28, 1/2, 1 mapa 1:100 000: 1-19.
- KINZL, H., 1969 - La glaciación actual y pleistocénica de los Andes centrales. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 89: 89-100.
- KINZL, H. & SCHNEIDER, E., 1950 - *Cordillera Blanca, Peru*. Innsbruck: Universitäts-Verlag Wagner, Tiroler Graphik Innsbruck.
- KOGAN, G. & LEININGER, N., 1952 - *Cordillère Blanche*, 140p., Grenoble, France: Arthaud.
- LLIBOUTRY, L., 1977 - Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. II. Movement of a covered glacier embedded within a rock glacier. *Journal of Glaciology*, 18(79): 255-273.
- LLIBOUTRY, L., MORALES ARNAO, B., PAUTRE, A. & SCHNEIDER, B., 1977a - Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. I. Historical failure of morainic dams, their causes and prevention. *Journal of Glaciology*, 18(79): 239-254.
- LLIBOUTRY, L., MORALES ARNAO, B. & SCHNEIDER, B., 1977b - Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. III. Study of moraines and mass balances at Safuna. *Journal of Glaciology*, 18(79): 275-290.
- MERCER, J.H., 1979 - Chronology of the Last-Glaciation in Peru. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 61: 113-120.
- MERCER, J.H. & PALACIOS, M.O., 1977a - Radiocarbón dating of the last glaciation in Peru. *Geology*, 5: 600-604.
- MERCER, J.H. & PALACIOS, M.O., 1977b - The Last Glaciation and the nature of last-glacial-interglacial transition in the Northern Peruvian Andes. *Geology*, 5: 387.
- MORALES, B., 1979 - Avalanchas y aluviones en el Departamento de Ancash. *Boletín Informativo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, 2: 2-9.
- MORALES, B., ZAMORA, M. & AMES, A., 1979 - Inventario de Lagunas y Glaciares del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 62: 63-82.
- OPPENHEIM, V., 1945 - Las glaciaciones en el Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 18: 37-43.
- OPPENHEIM, V. & SPANN, H.J., 1946 - Investigaciones glaciológicas en el Perú 1944-1945. *Instituto Geológico del Perú, Boletín*, N° 5, 70p.
- PECK, A., 1912 - *High mountain climbing in Peru and Bolivia*. Londres: T. Fischer Unwin.
- PETERSEN, U., 1967 - El Glaciar Yanasinga, 19 años de observaciones instrumentales. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 40: 91-97.
- PFLÜCKER, L., 1905 - Informe sobre los yacimientos auríferos de Sandia. *Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú*, 26; Lima.
- PLAFKER, G. & ERICKSEN, G.E., 1978 - Nevados Huascarán avalanches, Peru. In: *Rockslides and Avalanches 1* (Voight, ed): 279-314; Amsterdam: Elsevier.
- RIBSTEIN, P., TIRIAU, E., FRANCOU, B. & SARAVIA, R., 1995 - Tropical climate and glacier hydrology. A case study in Bolivia. *Journal of Hydrology*, 165: 221-234.
- RÖTHLISBERGER, F., 1987 - 10 000 Jahre Gletschergeschichte der Erde. Verlag Sauerländer, Aarau.
- SELTZER, G., 1990 - Recent glacial history and paleoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes. in: Clapperton (ed): Quaternary Glaciations in the Southern Hemisphere. *Quaternary Science Review*, 9: 137-152.
- SERVANT, M., FOURNIER, M., ARGOLLO, J., SERVANT-VILDARY, S., SYLVESTRE, F., WIRRMANN, D. & YBERT, J.-P., (en prensa) - La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, Paris.

- SIEVERS, W., 1914 - Reise in Peru und Ecuador, ausgeführt 1909. Dunker & Humlot, München-Leipzig.
- TERRAY, L., 1961 - *Les conquérants de l'inutile*, 184p., Gallimard, Paris.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY THOMPSON, E. & MORALES ARNAO, B., 1984 - El Niño-Southern oscillation events recorded in the stratigraphy of the Tropical Quelccaya Ice Cap, Peru. *Science*, 226: 50-53.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E., DANSGAARD, W. & GROOTES, P.M., 1986 - The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap. *Science*, 234: 361-364.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY THOMPSON, E., DAVIS, M., LIN, P.N., YAO, T. & DYURGEROV, M., 1993 - "Recent warming": ice core evidence from tropical ice cores with emphasis on Central Asia. *Global and Planetary Change*, 7: 145-156.
- THOUVENY, N. & SERVANT, M., 1989 - Palaeomagnetic stratigraphy of the Pliocene continental deposits of La Paz Formation, Bolivia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 70: 331-344.
- WILSON, J.J., REYES, L. & GARAYAR, J., 1967 - Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. República del Perú, *Servicio de Geología y Minería, Boletín 16*, Lima.
- WRIGHT, H.E., 1984 - Late-Pleistocene and late-Holocene moraines in the Cerros Cuchpanga, central Peru. *Quaternary Research*, 21: 275-285.

PIRÁMIDE CON RAMPA N°3 DE PACHACAMAC, COSTA CENTRAL DEL PERÚ.

RESULTADOS PRELIMINARES DE LA PRIMERA TEMPORADA DE EXCAVACIONES (ZONA 1 Y 2)

Peter Eeckhout

Resumen

El centro ceremonial de Pachacamac se ubica cerca a la desembocadura del río Lurín (Costa Central del Perú). Las excavaciones expuestas en este artículo conciernen a la pirámide con rampa N° 3, uno de los enormes edificios en adobe construido en el sitio durante el Período Intermedio Tardío (ca AD 1000-1475). Las investigaciones fueron realizadas en el conjunto del edificio; el autor desarrolló aquí dos zonas en particular: zona 1 y 2. Después de una presentación del Proyecto Pachacamac y de sus objetivos, se propone un informe detallado de las investigaciones y una interpretación de los datos. Por comparación con otras partes de la Pirámide y otras estructuras del mismo tipo, se sugiere también un esquema general a propósito del uso del edificio. Primero, fue utilizado principalmente como lugar ceremonial; después adquiere una función funeraria; y al final sufre una ocupación doméstica. Este esquema corresponde con el que generalmente es admitido para Pachacamac, pero por primera vez se apoya en datos objetivos que pronto van a contar con fechas absolutas.

Palabras claves: Arqueología precolombina, Perú, Pachacamac, Intermedio Tardío, Arquitectura prehispánica

LA PYRAMIDE À RAMPE N° 3 DE PACHACAMAC, CÔTE CENTRALE DU PÉROU.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DE LA PREMIÈRE CAMPAGNE DE FOUILLES (ZONES 1 ET 2)

Résumé

Le centre cérémoniel de Pachacamac se trouve à l'embouchure du fleuve Lurín, sur la Côte Centrale du Pérou. Les fouilles évoquées dans cet article se rapportent à la Pyramide à rampe N° 3, un des gigantesques édifices en adobes construit selon toute vraisemblance durant l'Intermédiaire Récent (ca AD 1000-1475) sur le site. Les investigations ont porté sur l'ensemble du bâtiment, dont l'auteur développe ici successivement deux zones particulières (la zone 1 et la zone 2). Après une présentation du Projet Pachacamac et de ses objectifs, un compte rendu détaillé des recherches effectuées est fourni et une interprétation des données est proposée. Par comparaison avec d'autres parties de la Pyramide et d'autres structures du même type, un schéma général est suggéré en ce qui concerne la destination du bâtiment. D'abord utilisé principalement comme lieu cérémoniel, il assume ensuite une fonction funéraire avant de subir une occupation purement domestique. Ce schéma correspond à celui qui est généralement admis pour Pachacamac, mais en s'appuyant pour la première fois sur des données objectives bientôt assorties de dates absolues.

Mots-clés: Archéologie précolombienne, Pérou, Pachacamac, Intermédiaire Récent, Architecture préhispanique