

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los trabajos de investigación en los glaciares del Popocatepetl se iniciaron en 1983 con el apoyo del Instituto de Geografía de la U.N.A.M., luego de 25 años de abandono después del trabajo pionero de José Luis Lorenzo en 1958. Estos trabajos se retomaron en 1993 con el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la U.N.A.M. (proyecto IN103393). La fase crítica de los trabajos de campo de 1995 fué apoyada logística y económicamente por el CENAPRED y el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. El apoyo de la Secretaría de Gobernación a través del CENAPRED fué determinante en la investigación glaciológica de 1995. La Comisión Federal de Electricidad aportó una ayuda invaluable, al facilitar un helicóptero *Lama* para las maniobras en alta montaña, así como al personal de tierra que ayudó de manera muy profesional a llevar a cabo con éxito las maniobras de transporte de carga al collado de Teopizcalco, bajo la dirección de los ingenieros Marco Polo Díaz, Francisco Santander y Agustín Villavicencio, lo que permitió ahorrar tiempo y esfuerzo que se tradujo en seguridad personal de los participantes de la expedición en abril de 1995. La Dirección General de Parques y Reservas Territoriales de la Secretaría de Ecología, permitió el uso del refugio de Tlamacas (cerrado debido a la actividad del volcán) como campamento base durante la expedición científica. Otras instituciones de investigación nacionales también estuvieron representadas a través de la participación de sus técnicos. Ralph Glaus del Departamento de Geografía de la Universidad de Guadalajara participó de una manera muy entusiasta y desinteresada aportando sus conocimientos en el uso de los equipos de topografía y geodesia (DIOR y GPS). Su colaboración fué muy importante dada su experiencia en el uso de estos instrumentos en los glaciares suizos. Juan Carlos Gavilanes del Observatorio Volcanológico del Volcán de Colima (Universidad de Colima) aportó su mejor esfuerzo en todo momento para el buen desempeño de la expedición y aportó su experiencia y capacidad de alpinista. Instituciones extranjeras unieron su esfuerzo al de las universidades nacionales coadyuvando al logro de los objetivos de la expedición de 1995, aportando equipo y personal altamente calificado. Elise Mezger-Weldon de la Universidad de Oregon (EUA) aportó un esfuerzo inusitado para llevar a cabo las mediciones geodésicas y topográficas en coordinación con Ralph Glaus. La Universidad de Oregon facilitó equipo fundamental para las mediciones en el glaciar (estación total Wild/Leitz DIOR 3002S, Sistema de posicionamiento Global Wild/Leitz Base/Rover, etc.). Marcus Bursik de la Universidad Estatal de Nueva York en Búfalo (EUA) colaboró facilitando equipo, trabajó de una manera entusiasta en la alta montaña en cuanto la aclimatación se lo permitió y aportó su experiencia en el uso del radar. La participación del National Hydrology Research Institute del Canadá fué crucial al prestar la mayor parte del equipo de trabajo glaciológico (perforadoras, radar, equipo de medición de densidad de la nieve, termistores, paneles solares, etc.). La Dirección General de Servicios Médicos de la Universidad Nacional Autónoma de México, contribuyó al éxito de esta misión de una manera desinteresada y de alto sentido de servicio, aportando apoyo médico en el campamento base. La DGSM estacionó una ambulancia completamente equipada con material médico en Tlamacas para cualquier eventualidad. La participación de los paramédicos Andrés Medina Sánchez y Fernando Espinoza Roldán, así como la presencia del Dr. Eduardo Torres Ordóñez fueron sumamente valiosas al permanecer durante el tiempo que duró la expedición en el campamento base, atendiendo problemas de salud menores, ayudando a organizar la logística del campamento y coordinando los trabajos de montaña. El Lic. Juan Manuel Leal Apáez coordinador de asesores de la Secretaría de Asuntos Estudiantiles de la U.N.A.M. participó con otros tres miembros del club alpino Tepelohotl, como grupo de apoyo en la montaña. La participación de Dalia Calvario Benítez, Raymundo Arciniega Dettmer y Gerardo Galguera en las expediciones de 1983 y 1984 fué fundamental en la reactivación del estudio de los glaciares en México. El estudiante de medicina, Jesús Martínez aportó su esfuerzo y experiencia de montaña en momentos cruciales durante la expedición. El Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. fungió como el líder de este esfuerzo interinstitucional aportando apoyo logístico y económico. La participación de Lucio Cárdenas González y Juan José Venegas Mendoza del IGF fué de la máxima importancia dadas sus dotes y experiencia de alpinistas profesionales, además de su legítimo interés por conocer mejor las montañas de México.

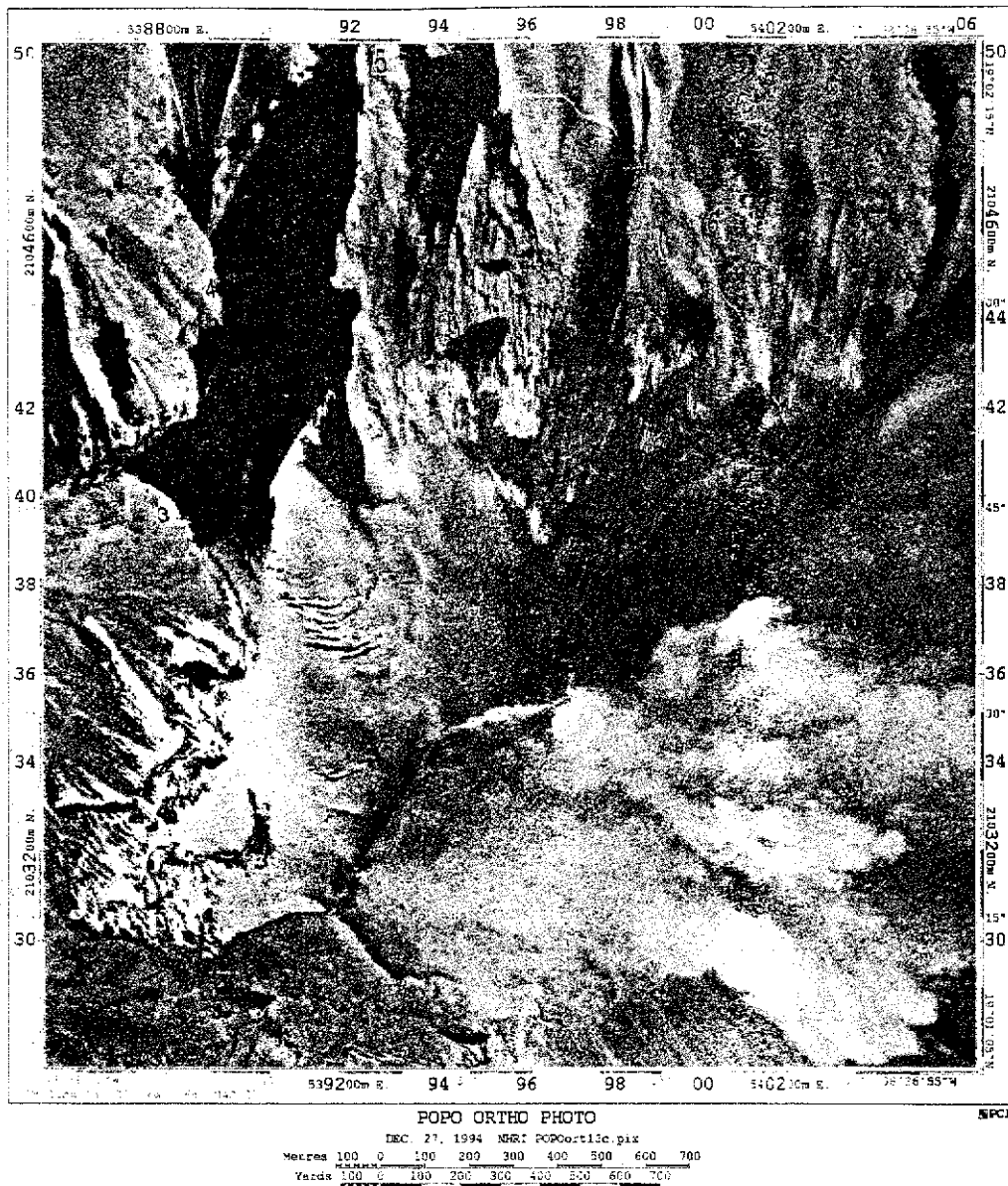


Figura 1. Ortophotografía del Volcán Popocatépetl. Fotografía aérea tomada por un avión de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el día 27 de diciembre de 1994 a las 16:00 horas aproximadamente. Se puede observar la pluma de cenizas y gases saliendo del cráter, dirigiéndose hacia el oriente. Las imágenes tomadas en este día muestran a los glaciares del Ventorrillo y Noroccidental prácticamente descubiertos de nieve. La fotografía original fué digitalizada y restituída por computadora mediante el uso de *PCI Software*® en el laboratorio de procesamiento de imágenes del National Hydrology Research Institute en Saskatoon, Saskatchewan en Canadá. Los puntos de control fotogramétrico se ubicaron mediante trabajo de campo en abril de 1995 usando equipos GPS marca WILD y mediante métodos geodésicos usando una estación total y distanciómetro (marca WILD). Las coordenadas y cotas de algunos puntos fueron obtenidos del anuario astronómico. La fotografía muestra el grado de retroceso del glaciar hasta diciembre de 1994. La tasa de retroceso ha sido de 7.6 m/año (en sentido vertical) entre 1982 y 1995 (ver texto).



Figura 2. Vista oblicua desde el Norte del glaciar del Ventorrillo el 22 de diciembre de 1994 a las 10:30 hrs. Fotografía tomada desde un helicóptero a 5,500 m.s n.m. Se observa la pluma de gases y cenizas hacia el sureste. La orilla del cráter del Popocatépetl se delinea perfectamente, a la derecha el labio superior (el punto que se ve en la cima es el refugio de cumbre), a la izquierda el labio inferior. Debajo del límite del cráter se observa el glaciar del Ventorrillo y parte del Noroccidental las líneas que se dibujan son las grietas maestras. Hacia la parte media del glaciar del Ventorrillo se observa el campo de grietas principal. Esta fotografía hace evidente la topografía ondulante de la superficie glacial, los abultamientos son "oleadas" de la masa de hielo producidas por su movimiento a favor de la pendiente. El movimiento del glaciar puede ser de 1 a 2 cm diarios. La presencia de las "grietas maestras" causó preocupación durante los primeros días del evento de diciembre de 1994. Este tipo de grietas han estado presentes en la cabecera del glaciar por mucho tiempo, aunque durante los últimos 5 años los alpinistas han notado que esta grieta se ha extendido y agrandado respecto a años anteriores. Curiosamente, durante la última erupción del Popocatépetl (1920-1927) varios investigadores notaron la presencia de los glaciares en la parte superior del volcán, y como ahora, la presencia de grietas fué motivo de preocupación. Las grietas de un glaciar se forman por el movimiento del cuerpo de hielo y son un rasgo normal de cualquier glaciar. Sin embargo, los cambios que éstas puedan sufrir durante los episodios de actividad volcánica pueden ayudar a entender procesos de deformación del edificio volcánico, incremento del flujo de calor y la modificación del sistema hidrotermal del volcán.



Figura 3. Fotografía tomada el 28 de diciembre de 1994 a las 12:00 hrs desde el noreste. Se observa la parte superior de los glaciares Ventorrillo y Noroccidental. La grieta maestra superior representa parte de la rimaya del glaciar del Ventorrillo, es decir la grieta que marca el inicio del mismo en su cabecera y es la zona de separación del glaciar respecto al basamiento que lo soporta. Normalmente en los glaciares de montaña, las rimayas siguen el contorno del valle que rodea al glaciar. En estos glaciares colgantes la dirección de flujo (y cizallamiento) produce un sistema de grietas de rimaya por lo que la grieta maestra inferior también es parte de la rimaya del glaciar del Ventorrillo. Las rimayas son rasgos comunes de cualquier glaciar y en la época de recarga (en México Julio- Noviembre) se cubren de nieve. En la época de ablación o pérdida (Diciembre-Junio) se descubren y se "abren". La apertura de estas grietas no parece haber sido afectada en forma evidente por la primera etapa del evento de diciembre.



Figura 4. Fotografía tomada el 28 de diciembre a las 12:00 hrs. Acercamiento a la grieta maestra inferior. La grieta tiene una profundidad de 15 m aproximadamente. Las fracturas "en echelón" que se observan en su ramificación inferior son producidas por el cizallamiento asociado al movimiento del glaciar del Ventorrillo en dirección de la pendiente en la zona marginal del glaciar.



Figura 5. Vista desde el norte de la parte superior del Glaciar del Ventorrillo y vista del Glaciar Noroccidental en la porción superior derecha del volcán. Fotografía tomada el 30 de diciembre de 1994 a las 9:30 hrs durante los primeros días de la renovada actividad del Popocatepetl. En esta fotografía se muestra al glaciar del Ventorrillo con sus grietas: las "maestras" en la porción superior y la zona de grietas de la parte media del glaciar. Si hubiera cambios súbitos de los glaciares, la primera evidencia de un deslizamiento del glaciar sería un incremento en el grado de agrietamiento. En consecuencia, los cambios de patrones de agrietamiento de los glaciares y la velocidad del hielo deben ser monitoreados regularmente. Un aumento progresivo en la velocidad del hielo podría indicar que el glaciar está experimentando un deslizamiento acelerado en su base y que un gran derrumbe del glaciar entero es posible. La formación acelerada de grietas a lo largo del margen del glaciar y a lo largo de la cabecera del glaciar podría preceder probablemente cualquier derrumbamiento del glaciar si el deslizamiento acelerado en la base del glaciar es debida a agua producto de fusión en la base del mismo o debido a un incremento de sismicidad. Obsérvese la desaparición de la nieve estacional de la superficie del glaciar (compárese con la figura 2). En algunas partes se observan cenizas sobre el glaciar. Estas cenizas sin embargo no ocasionaron fusión general del glaciar.



Figura 6. Vista del campo de grietas principal del glaciar del Ventorrillo el 30 de diciembre de 1994 a las 9:30 hrs. El carácter arqueado de las grietas se debe al tipo de glaciar (colgante) que imprime un régimen de esfuerzos cizallantes hacia los márgenes del glaciar enfatizado por la forma cónica de la montaña. La profundidad máxima de estas grietas es de 50 metros aproximadamente, ninguno llega hasta el basamento rocoso.



Figura 7. Acercamiento de la fotografía anterior. Derrumbe en una de las grietas del campo principal del glaciar del Ventorrillo. Las zonas de inestabilidad estructural y los colapsos de paredes de grieta son comunes. En el Popocatepetl sin embargo, estos derrumbes no son muy recientes. Este pequeño derrumbe pudo haber sido acelerado por la actividad sísmica del volcán.

## 8. REFERENCIAS

- Delgado, H., 1988, Report on the glaciers of Mexico, en. Haerberl and Müller (eds.), Fluctuation of Glaciers 1980-1985 (Vol. V), A contribution to the Global Environmental Monitoring System (GEMS) and International Hydrological Programme, World Glacier Monitoring Service, International Commission on Snow and Ice, International Association of Hydrological Sciences, United National Environment Programme and UNESCO, 288 p.
- Delgado, H., 1993, The Glaciers of Popocatepetl Volcano (México): Changes and Causes, Program and Abstracts, First International Conference on Climatic Change in Mexico, Taxco, Gro., p.27
- Delgado, H., R. Arciniega Dettmer y D. Calvario Benítez, 1986, Los Glaciares del Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, Comunicaciones Técnicas, Serie Investigación, Instituto de Geofísica UNAM, No. 31, 20 pp.
- Embleton, C y C. King, 1968, Glacial and periglacial geomorphology, Edward Arnold (publishers) Ltd., Great Britain, pp. 62-77.
- Flint, F , 1957, Glacial and Pleistocene Geology, John Wiley and Sons, Nueva York, 468 pp.
- Lorenzo, J. L., 1964, Los Glaciares de México, Monografías del Instituto de Geofísica, UNAM, No. 1, 2a edición, 123 pp
- Ostrem, G y M. Brugman, 1991, Glacier Mass- Balance Measurements: a manual for field and office work, NHRI Science Report, No. 4, 224 pp.
- Shumskiy, P. A., 1964, Principles of Structural Glaciology, traducido del ruso por David Kraus, Dover Publications, Inc., Nueva York, 497 pp.
- Williams, S. N., 1989, Nevado del Ruíz volcano (Colombia), volumen especial, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 220 pp.