

Figura 6: Comparación de la pared norte del pico de la Monja Grande antes (izquierda) y después (derecha) del derrumbe de esta pared el 13 Oct. 2000. Se nota el cambio de morfología de la cumbre del pico y las dimensiones aproximadas del bloque (250 m de ancho y 250 m de alto). (fotos: J.-Ph. Eisen).

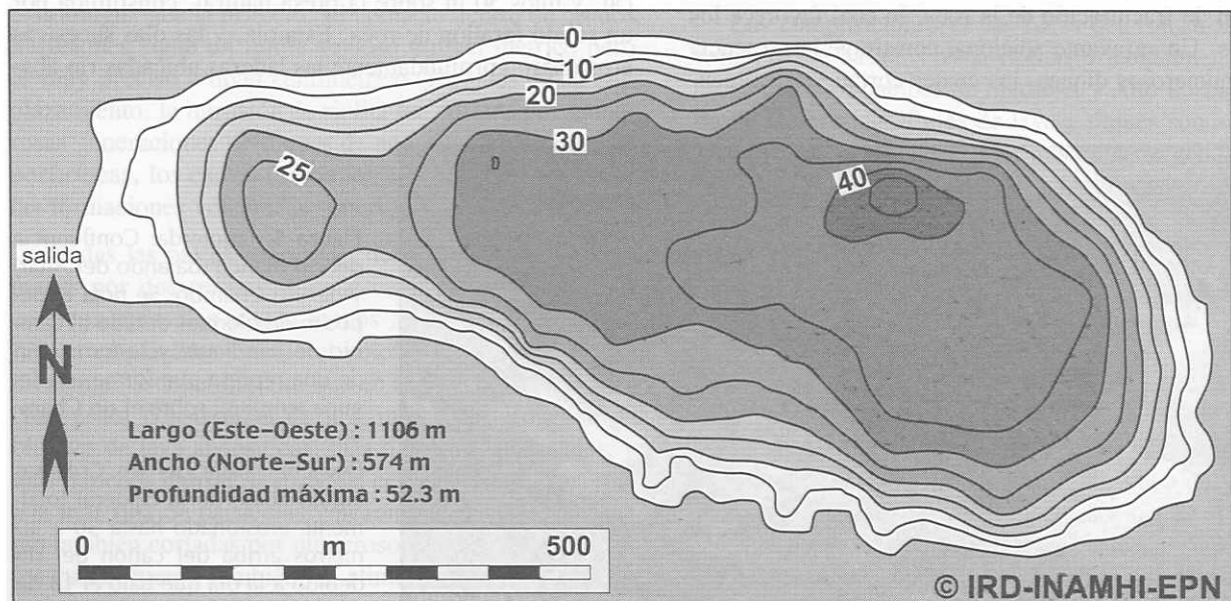
jo las cuales están constituidas de material morrénico suelto (morrena de la Pequeña Edad de Hielo, siglos XVI-XIX).

Luego, esas olas avanzaron rápidamente a través del valle de Collanes cubriendo los lados del valle con lodo y el fondo del mismo con abundantes bloques de más de 10 m de largo hasta 1 m de diámetro, llegando a distancias de 300 y 1 500 m, respectivamente, desde la salida de la caldera. El peso de un bloque de más de 10 m de largo es aproximadamente de 600 toneladas. Un bloque de este tamaño desplazado por la avalancha da una idea de la fuerza de carga de este tipo de flujos. Este desplazamiento está confirmado por la observación de un rollo de sedimentos, resultado de la deformación de los mismos delante de los bloques. El lodo llegó hasta una altura de 20 m sobre el fondo del valle (cota 3 950 msnm),

especialmente en el lado norte donde fue principalmente orientado.

En menos de 2 minutos, la primera ola (cargada con material adicional de suelo y lodo provenientes de la erosión del piso del valle de Collanes) avanzó hacia la salida del valle alcanzando el cañón más angosto del mismo río. En su camino, arrasó tres de las cuatro casas del Refugio “Capac Urco” (fig. 8), además de 80 vacas y 23 caballos. En el fondo del valle de Collanes, se puede ver claramente que el flujo estuvo constituido de una zona central, muy cargada de bloques (con muy poco lodo) y de bordes laterales rico en lodos y casi sin bloques.

Figura 7. Batimetría de la laguna de la caldera del volcán El Altar, calculada con 205 valores puntuales ubicados con GPS.



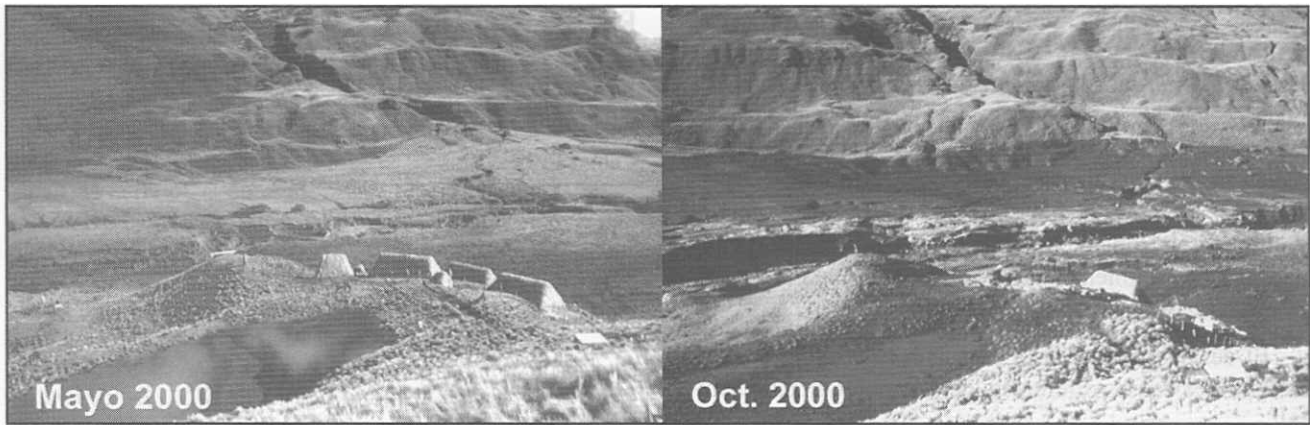


Figura 8. Comparación del fondo del Valle de Collanes en el sector del refugio "Capac Urco" antes (izquierda) y después (derecha) del flujo de lodo del 13 oct. 2000 (fotos: J. Ph. Eissen).

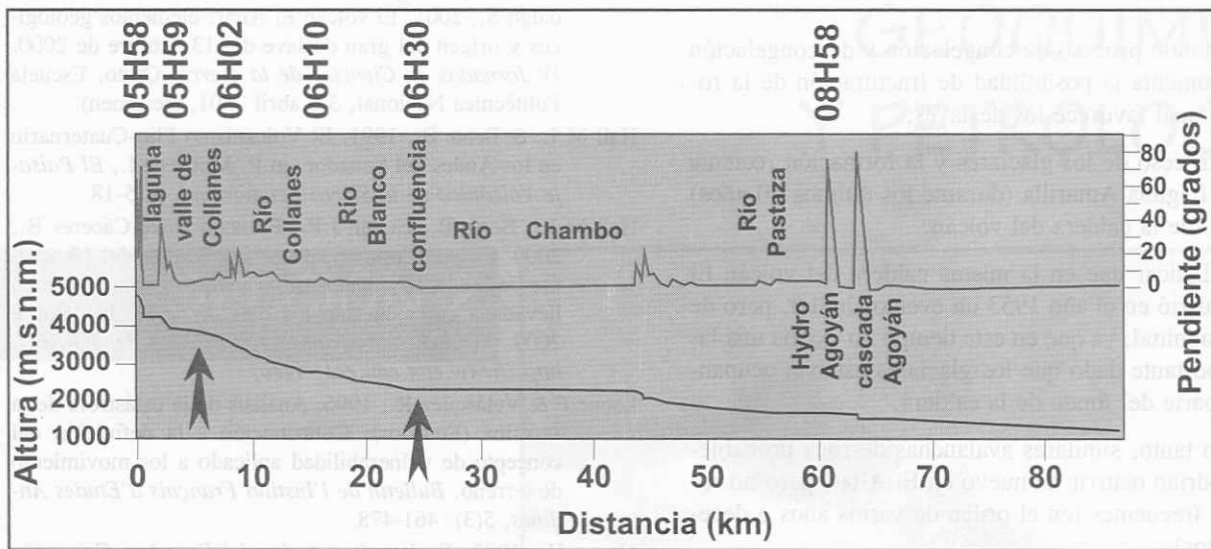


Figura 9. Perfil de los ríos aguas abajo del volcán El Altar con la pendiente (arriba), la altura (abajo), los horas aproximadas de la crecida, y las dos principales zonas de depósitos (valle de Collanes y la confluencia del río Blanco y del río Chambo) ubicadas con las flechas.

Esta mezcla de agua y de lodo bajó a gran velocidad por el angosto cañón del río Collanes erosionando su cauce y terrazas hasta 30 m altura (fig. 5 derecha) y continuando su rápido descenso hacia Releche, Candelaria, Pungal y finalmente hasta llegar al río Chambo. Es en la última parte de trayecto del río Blanco donde se produjeron la mayoría de las víctimas que llegó a un total de 13 personas. Luego, en la unión del río Blanco con el Chambo, debido al ensanchamiento del valle y al quiebre de pendiente, se depositó la mayor parte de la carga de bloques grandes formando una especie de abanico de escombros. Este abanico logró represar parcialmente las aguas del río Chambo, formando una laguna de 1,5 km de largo (fig. 5 izquierda). La mezcla de agua y lodo avanzó aguas abajo por los ríos Chambo y Pastaza, llegando a la presa de Agoyán, cerca a Baños, a las 08h58 (tiempo local), después de un recorrido de 62 km, para luego seguir su trayecto hacia Puyo y la cuenca amazónica.

DISCUSIÓN

Esta clase de fenómeno natural no es muy común, pero se presenta con una relativa frecuencia en todas las regiones de montañas inestables en el mundo. Por ejemplo, en el vecino Perú, tales desastres abarcando glaciares y lagunas glaciares sumaron más de 50 000 muertos durante el siglo XX (Ames & Francou, 1995).

De similar manera, el 29 de marzo 1993, a las 9 de la noche, un gigantesco deslizamiento (con un volumen estimado de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$) se produjo en el sur del Ecuador sobre el río Paute, en La Josefina, al este de Cuenca (Cadier *et al.*, 1996; Léone *et al.*, 1996; Rossel *et al.*, 1996; Zevallos *et al.*, 1996). Este deslizamiento represó el río Paute y provocó directamente 71 muertos. Se formó un lago de cerca de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ aguas arriba del deslizamiento que inundó unas 1 000 ha de una zona fértil y poblada, con la destrucción de partes de la perife-

ria Este de Cuenca y de carreteras, ferrocarriles y una central termoeléctrica. La siguiente rotura de la presa de La Josefina, el sábado 1 de mayo, y la propagación de la onda de crecida provocó un enorme flujo que destruyó los valles aguas abajo del río Paute hasta la presa de Amaluza que fue apenas salvada. En este caso, la presencia de fallas en la zona, asociadas con fuertes lluvias y un factor antrópico por la explotación de canteras en la base del deslizamiento, jugaron un papel importante para producir esta gran catástrofe.

El deslave del volcán El Altar resulta de la conjunción de tres causas diferentes, de origen totalmente natural:

- La naturaleza de las rocas que conforman las partes superiores del edificio (*i.e.* brechas poco consolidadas);
- El continuo proceso de congelación y descongelación que aumenta la posibilidad de fracturación de la roca, lo cual favorece los deslaves;
- El retroceso de los glaciares y la formación reciente de la Laguna Amarilla (durante los últimos 50 años) dentro de la caldera del volcán.

Vale indicar que en la misma caldera del volcán El Altar, ocurrió en el año 1953 un evento similar, pero de menor magnitud, ya que en este tiempo no existía una laguna importante dado que los glaciares estaban ocupando gran parte del fondo de la caldera.

Por lo tanto, similares avalanchas de roca probablemente podrían ocurrir de nuevo en El Altar, pero no serían muy frecuentes (en el orden de varios años o decenas de años).

Es imposible predecir el dónde y el cuándo de la ocurrencia de esta clase de evento natural, que también puede ser generado por un sacudón sísmico sentido localmente con fuerza. Sin embargo, es importante considerar este fenómeno con el fin de planificar hacia el futuro.

REFERENCIAS

- Ames A. & Francou B., 1995. Cordillera Blanca, Perú. Glaciares en la Historia. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andine*, 24(1): 37-64.
- Cadier E., Zevallos O. & Basabe P., 1996. El deslizamiento y las inundaciones catastróficas de la Josefina en Ecuador. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 5(3): 421-442.
- Cerón C., Laraque A., Eissen J.P., Bourdon E. & Muñoz T., 2001. Primer estudio hidrosedimentario del lago El Altar (4200 m) después del derrumbe del 13 octubre de 2000. *IV Congreso Ecuatoriano de Mecánica de suelos e Ingeniería Geotécnica (IV CEMSIG), 1er. Seminario Taller de desastres naturales y antrópicos*. Cuenca 28-30 nov. 2001, (resumen).
- Eissen J. Ph., Beate B., Hall M.L., Monzier M., Francou B., Cotten J., Laraque A., Andrade D., Cáceres B. & Hidalgo S., 2001. El volcán El Altar: elementos geológicos y origen del gran deslave del 13 octubre de 2000. *IV Jornadas de Ciencias de la Tierra*, Quito, Escuela Politécnica Nacional, 3-6 abril 2001, (resumen).
- Hall M.L. & Beate B., 1991. El Volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador, in P. Mothes ed., *El Paisaje Volcánico de la Sierra Ecuatoriana*, p. 5-18.
- Hall M.L., Beate B., Eissen J.P., Francou B. & Cáceres B., 2000. El gran deslave del volcán El Altar del 13 octubre de 2000. Resultados de la investigación de campo llevada a cabo durante los días 23 a 25 de octubre 2000. *Reporte visible sobre el sitio web del IG-EPN: <http://www.epn.edu.ec/~igeo>*.
- Léone F & Velásquez R., 1996. Análisis de la catástrofe de la Josefina (Ecuador): Contribución a la definición del concepto de vulnerabilidad aplicado a los movimientos de terreno. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 5(3): 461-478.
- Meyer H., 1993. *En los altos Andes del Ecuador*. Colección Tierra Incógnita No. 3, Abya-Yala, Quito, 750 p. (Reedición basada en la edición original alemana de 1907).
- Rosset F., Cadier E. & Basabe P., 1996. El deslizamiento y las inundaciones catastróficas de la Josefina en Ecuador. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 5(3): 399-420.
- Zevallos O., Fernández M.A., Plaza G. & Klinkicht S. (Ed.), 1996. *Sin plazo para la esperanza: Reporte sobre el desastre de la Josefina-Ecuador*, Escuela Politécnica Nacional, 1993, 348 páginas.