

INUNDACIONES DE LOS VALLES EN LA VECINDAD DEL VOLCAN EL REVENTADOR

Crespo et al. (1987) estimó de manera general que "los movimientos de tierra originaron deslizamientos de lodo y avalanchas de roca cerca del volcán envolviendo más de 100 millones de yardas cúbicas [$76 \times 10^6 \text{ m}^3$] de suelo y roca." Basado en estudios sobre fotografías aéreas de la denudación de los taludes en la vecindad del volcán El Reventador, Hakuno et al. (1988) estimó que el volumen total de fallas por taludes es cerca de $110 \times 10^6 \text{ m}^3$, pero hizo notar que esta aproximación fácilmente podría tener un error mayor al 50%. A pesar de que estas estimaciones son más o menos precisas, un gran porcentaje de esta inmensa masa de material combinada con el agua de los ríos Coca y Aguarico y sus tributarios formaron flujos de escombros de gran espesor que descendieron a través de los ríos de la parte superior del Amazonas.

Debido a que estos flujos de escombros ocurrieron durante la noche, por lo que no fueron fácilmente observados, no estamos seguros de su carácter. No conocemos si ellos actuaron realmente como flujo de escombros, o si pueden ser designados como "flujos hiperconcentrados" o "flujos de lodo." Sin embargo, basados en (1) profundidades de los sedimentos depositados en los ríos, (2) señales en las paredes más bajas del valle, que indicaron las alturas a las que los ríos alcanzaron cuando pasaron los flujos de escombros (trimlines), y (3) daño al oleoducto y carretera trans-ecuatorianos debido a la depositación y erosión, conocemos que ocurrió una inundación considerable (Figuras 5.16A,B, 5.17A,B y 5.18). La Figura 5.19 indica las profundidades estimadas de la inundación y el espesor de los sedimentos depositados por la misma en varias localizaciones claves a lo largo de los ríos Coca y Aguarico y sus tributarios.

Dado que con la remoción de los materiales de los taludes también se removió cobertura vegetal (principalmente árboles y arbustos), estos grandes flujos de escombros indudablemente fueron cargados con madera, similar a aquellos que descendieron por el río Toutle en el O del estado de Washington como resultado de la erupción del monte Santa Elena en 1980 (Schuster, 1983). El aumento de estos escombros de madera indudablemente afectó el carácter físico del flujo de escombros, y como se discute más adelante, probablemente impidió su paso a través de lechos rocosos angostos y restringidos a estrechos valles.

Hakuno et al. (1988) indicaron que un residente local quien vivía a lo largo del río Coca aproximadamente a 30 km de los epicentros (probablemente entre la boca del río Malo y la cascada de San Rafael) reportó que el río Coca llegó a estar completamente seco un poco antes de los sismos lo que ocurrió cerca de las 21 horas y 23 horas del 5 de Marzo. El flujo empezó otra vez con un gran caudal cerca de las 3h00 del 6 de Marzo. Hay una fuerte posibilidad que esta interrupción del flujo del río Coca fue el resultado de un represamiento natural del río y/o sus tributarios como resultado de los sismos. Nosotros creemos que un represamiento de corta duración ocurrió en dos formas: (1) represamiento "hidráulico", en que el flujo de la corriente, altamente cargada con escombros, fue impedido de pasar a través del lecho rocoso angosto moviéndose en canales de corriente, y (2) obstaculización de las corrientes por flujos de escombros fluyendo en las corrientes principales desde sus tributarios.



FIGURA 5.16A

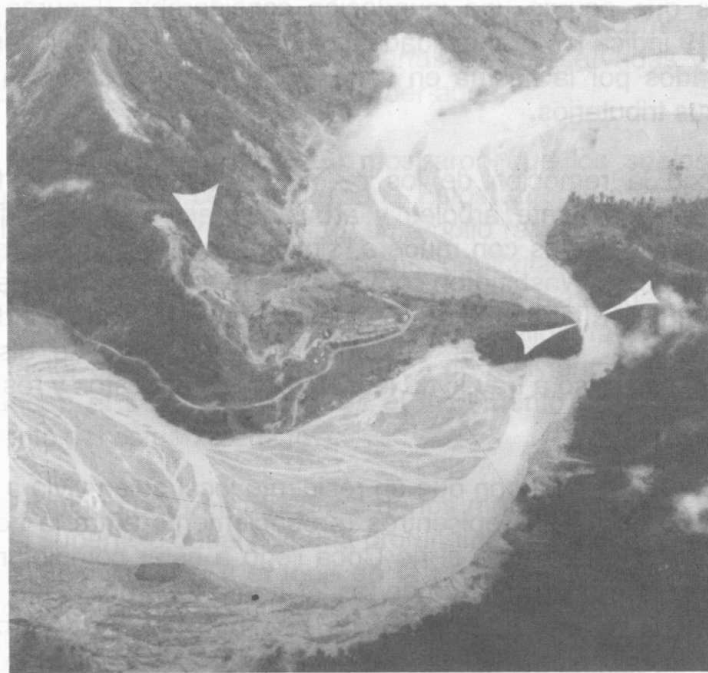


FIGURA 5.16B

FIGURA 5.16 Vista aérea oblicua mostrando aguas abajo de la confluencia de los ríos Salado y Quijos para formar el río Coca. (A) Vista de 1978 (Fotografía por William Savage, Pacific Gas and Electric). (B) Vista en Abril de 1987 ilustrando los depósitos de los flujos e inundaciones de escombros (con 20 m de espesor) cubriendo la mayor parte de la terraza de inundación. El estrechamiento del río Coca (indicado por las dos flechas a la derecha) probablemente causó el represamiento "hidráulico" de corta duración del río que contribuyó a una inundación y sedimentación aguas arriba. Nótese el deslizamiento (flecha cerca del centro de la foto) que dañó la planta de bombeo de El Salado del oleoducto trans-ecuatoriano.



FIGURA 5.17A



FIGURA 5.17B

FIGURA 5.17 Vista aguas arriba del río Salado desde la confluencia de los ríos Salado y Quijos. (A) Foto de 1978 mostrando el puente de la carretera trans-ecuatoriana (flecha) cruzando el río Salado. Note que el oleoducto trans-ecuatoriano zigzaguea la montaña a la izquierda del cruce en la embocadura del río Salado (Fotografía por William Savage, Pacific Gas and Electric). (B) Fotografía en Abril de 1987 mostrando la gran sedimentación en los canales de los ríos Quijos, Salado y Coca debido a los flujos de escombros e inundaciones del 5 de Marzo de 1987. Nótese la ausencia del puente de la carretera del río Salado que ha sido llevado por la corriente.

Hemos notado evidencia del represamiento "hidráulico" en cuatro localidades del drenaje del río Coca (Figura 5.19): (1) 7 km aguas arriba del río Salado desde su confluencia con el río Quijos/Coca (Figura 5.20), (2) en el río Malo y sus cascadas 1 km aguas arriba de su embocadura, (3) en el río Coca en la península del lecho rocoso que aparece hacia el S de la estación de Bombeo de El Salado, y (4) en el río Coca en la cascada de San Rafael. En cada una de estas localidades, la ocurrencia del represamiento es indicada inmediatamente aguas arriba por (1) trimlines que muestran el nivel más alto del flujo y (2) extensos depósitos de sedimento. Los sedimentos probablemente fueron depositados en lagos de corta duración que se formaron como resultado del represamiento antes que los tapones de escombros fueran lavados.

La formación de obstáculos temporales en las corrientes por flujos de escombros procedentes de los tributarios resultando en el represamiento de los ríos principales ha ocurrido en otras partes del mundo. Por ejemplo, Montandon (1933) señaló que el río Upper Rhine en Graubunden Canton, Suiza, fue brevemente represado en 1585, 1807, y 1868 por flujos de escombros flotando desde el Nolla Torrent. El río Xiao al N de la provincia Yunan, China, ha sido brevemente represado siete veces en este siglo por grandes flujos de escombros que flotaban desde Jiangjia Gully, un tributario mayor del Xiao. Cada uno de estos obstáculos de corta duración del río Xiao tuvo alturas de cerca de 10 m y la mayoría de ellos fueron sobrepasados y fallaron dentro de pocos días (Li et al., 1986). El río Colorado en el Gran Cañón fue brevemente represado en 1966 por un flujo de escombros generado por un aguacero desde Crystal Creek (Webb et al., 1988). En el área de El Reventador, el único caso de represamiento por flujos de escombros que fue identificado como tal fue causado por un flujo que vino desde el río Malo y entró en el río Coca durante la noche del 5 y 6 de Marzo. Aparentemente, este obstáculo no fue mayor que unos pocos metros de altura y probablemente fue sobrepasado y erosionado en una o dos horas después de haber sido formado. Sin embargo, esta presa, pequeña y de corta duración, debe haber sido la causa principal de la gran cantidad de sedimentos (espesor estimado: 20 m) que fueron depositados en el canal del río Coca inmediatamente aguas arriba de la embocadura del río Malo (Figura 5.21). Posiblemente otro obstáculo de flujos de escombros ocurrió donde el río Salado entra el río Quijos-Coca, debido a la gran cantidad de sedimentos depositados en este punto (Figuras 5.16 y 5.17). El mismo proceso probablemente ocurrió en pequeña escala en otras localidades donde profundos arroyos desembocan en los ríos Salado (Figura 5.11), Malo y Dué Grande.

Antes del sismo de 1987, INECEL había planificado construir una presa de tierra de 60 a 70 m de altura en la confluencia anteriormente mencionada de los ríos Coca y Salado. Esta presa debería haber formado un reservorio para servir de fuente de agua para una compuerta subterránea que ingresaría al río Coca en una casa de máquinas aguas abajo de la cascada de San Rafael (Figura 5.7). Afortunadamente, la construcción de esta presa no empezó en el tiempo en el que el sismo ocurrió, y el proyecto fue diferido para después. Sin embargo, INECEL está considerando nuevamente este sitio para construir la represa (El Comercio, 1990). El nuevo proyecto podría tener una altura de 5 m en el mismo sitio del río Coca; esta presa podría reservar agua para la compuerta antes mencionada y una planta hidroeléctrica.



FIGURA 5.18 Evidencia de la inundación del 5 de Marzo de 1987 en la orilla izquierda (N) del río Aguarico cerca del pueblo de Lumbaqui. La inundación ha removido la mayoría de la cobertura vegetal en las terrazas bajas como se muestra al frente de la foto.

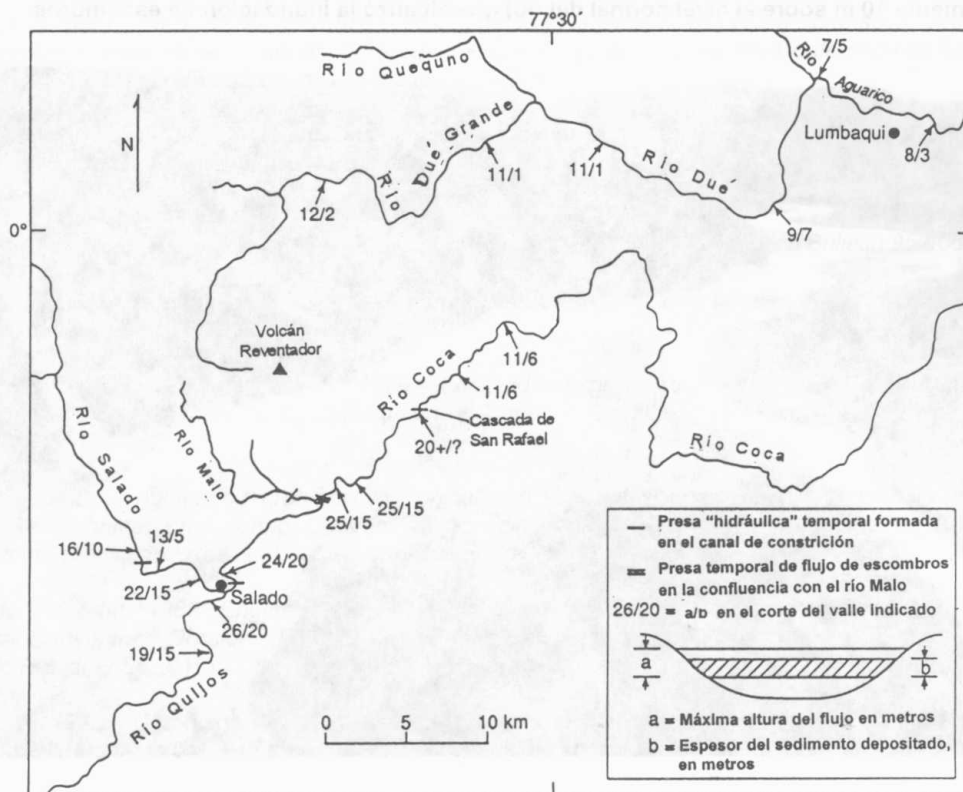


FIGURA 5.19 Profundidades estimadas de inundación y sedimentación en los canales de los ríos en el área de El Reventador. Las estimaciones fueron basadas en observaciones superficiales desde un helicóptero.



FIGURA 5.20 Vista aguas abajo del río Salado mostrando la localización del estrecho de roca (flechas) que causó el represamiento de corta duración del río. Nótese la línea en la jungla que cubre a lo largo de las paredes del valle izquierdo aguas arriba del estrecho del río. Esta señal indica la máxima altura (aproximadamente 10 m sobre el nivel normal del río) que alcanzó la inundación de escombros.



FIGURA 5.21 Vista aguas debajo de la confluencia del río Malo (fluyendo desde la parte izquierda inferior) con el río Coca. Un flujo de escombros procedente del río Malo durante la noche del 5 de Marzo de 1987, formó una presa de corta duración en el río Coca, resultando en la deposición de una gran cantidad de sedimentos en el canal del Coca como se ve hacia la derecha en la parte frontal de la foto.

REFERENCIAS

- Baldock, J. 1982 *Mapa Geológico del Ecuador*. Dirección General de Geología y Minas, Quito, escala 1:1,000,000
- Brand, E W. 1982. *Analysis and design in residual soils* American Society of Civil Engineers, Geotechnical Engineering Division. *Proceedings of Specialty Conference on Engineering and Construction in Residual and Tropical Soils*, Honolulu, January 1982, 89-143
- Crespo, E. y H. E. Stewart. 1987. *Stability of cut slopes in Ecuadorian volcanoclastic deposits*. *Proceedings 8th PanAmerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Cartagena, Colombia, 3:39-49
- Crespo, E., K. J. Nyman y T. D. O'Rourke. 1987. *Ecuador earthquakes of March 5, 1987*. *Earthquake Engineering Research Institute, EERI Newsletter*, 21(7) 1-4.
- El Comercio (Quito) June 24, 1990 *Coca será una realidad*
- Ellen, S. D. y R. W. Fleming. 1987. *Mobilization of debris flows from soil slips, San Francisco Bay region, California*, in J. E. Costa and G. F. Wieczorek, eds., *Debris Flows/Avalanches: Recognition and Mitigation*, Geological Society of America *Reviews in Engineering Geology* 7:31-40
- Fleming, R. W., S. D. Ellen y A. A. Mitchell. 1989. *Transformation of dilative and contractive landslide debris into debris flows-an example from Marin county, California*. *Engineering Geology* 27:201-223
- Hakuno, M., S. Okuna y M. Michiue. 1988. *Study Report of Damage Done by the 1987 Earthquakes in Ecuador*. Research Field Group, *Natural Disasters and the Ability of the Community to Resist Them*, Japan, *Research Report on Unexpected Disasters No. B-62-2*, 38
- Hall, M. L. 1977. *El volcanismo en el Ecuador*. Publicación del I.P.G.H., Sección Nacional del Ecuador, Quito, 120
- Ho, D. Y. F. y D. G. Fredlund. 1982. *Increase in strength due to suction for two Hong Kong soils* American Society of Civil Engineers, Geotechnical Engineering Division. *Proceedings of the Specialty Conference on Engineering and Construction of Tropical and Residual Soils*, Honolulu, 263-295.
- Ishihara, K. y S. Nakamura. 1987. *Landslides in mountain slopes during the Ecuador earthquake of March 5, 1987*. *Proceedings of US-Asia Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damage*; P. Karasudhi, P. Nutalaya, and A. N. L. Chiu, eds., Bangkok, 14-18 December C6-1 to C6-11.
- Keefer, D. K. 1984. *Landslides caused by earthquakes*. *Geological Society of America Bulletin* 95:406-421
- Landivar, H., C. Luque, O. Ripalda, R. Maruri y A. Fuentes. 1986. *Los suelos lateríticos en el Ecuador*. Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador, 39 más apéndices.
- Li Tianchi, R. L. Schuster y Wu Jishan. 1986. *Landslide dams in south-central China*, in *Landslide Dams: Processes, Risk, and Mitigation*, R. L. Schuster, ed., American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication No. 3, 146-162.
- Lum, W. B. 1982. *Engineering problems in tropical and residual soils in Hawaii* American Society of Civil Engineers, Geotechnical Engineering Division. *Proceedings of the Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils*, Honolulu, January 1982, 1-12
- Mitchell, J. K. y N. Sitar. 1982. *Engineering properties of tropical residual soils*. American Society of Civil Engineers, Geotechnical Engineering Division. *Proceedings of the Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils*. Honolulu, January 1982, 30-57.
- Montandon, F. 1933. *Chronologie des grands égoulements alpins, du début de l'ère chrétienne a nos jours*, in *Maténaux pour l'Etude des Calamités*, Société de Géographie Geneve 32:271-340
- Poulos, S. J., G. Castro y J. W. France. 1985. *Liquefaction evaluation procedure* *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers 111(6) 772-792.

Quigley, R. M. 1980. *Geology, mineralogy and geochemistry of Canadian soft soils. a geotechnical perspective* Canadian Geotechnical Journal 17 261-285

Schuster, R. L. 1983. *Engineering aspects of the 1980 Mount St. Helens eruptions.* Bulletin of the Association of Engineering Geologists 20(2) 125-143.

Vargas, M. (1974). *Engineering properties of residual soils from south-central region of Brazil.* Proceedings of the Second International Conference of the International Association of Engineering Geology, Sao Paulo, Brazil. 1.

Webb, R. H., P. T. Pringle, S. L. Reneau y G. R. Rink. 1988. *Monument Creek debris flow, 1984: Implications for formation of rapids on the Colorado River in Grand Canyon National Park* Geology 16:50-54.