

Esta publicación pretende suministrar información científica actualizada respecto al riesgo volcánico del Cotopaxi y las alternativas para mitigarlo.

Está dirigida a las autoridades de los gobiernos locales, líderes comunitarios, planificadores, investigadores, profesionales, empresarios y población en general.

Se describe la probable incidencia de una próxima erupción sobre la población, los asentamientos humanos y las obras de infraestructura ubicadas en las cuencas de los ríos: Pita, Santa Clara, San Pedro, Cutuchi, Saquimala, Patate, Pastaza, Tambo, Tamboyacu, Jatunyacu y Napo.

El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha



Proyecto
“Prevención de Riesgos Asociados
con la Erupción del Volcán Cotopaxi”,
PREVOLCO
2004-2005





PROYECTO DE PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS ASOCIADOS
CON LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN COTOPAXI - PREVOLCO -
ECUADOR 2004 - 2005

Coordinación General y Administración:
Fundación para el Desarrollo Socioambiental FOES

Coordinación Técnica: Escuela Politécnica del Ejército -ESPE
Universidad San Francisco de Quito -USFQ

Autores: Ing. Eduardo Aguilera Ortíz
Dr. Theófilos Toulkeridis

Fotografías: Archivos del Proyecto PREVOLCO, CGVG-USFQ, ESPE,
FOES, Alois Speck (A. S.), Thomas Reischmann (T. R.).

Diseño y diagramación: José Ignacio Quintana J.

Revisión de Textos: Gloria Dávila Mscs.

Infografías: Ricardo Muñoz, Katty Carrillo, J. Ignacio Quintana

Impresión: Sotavento Ed.

Con el apoyo de:
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE
© 2005

Información:
Fundación FOES
Av. Naciones Unidas No. 377 y Av. de Los Shyris
Ed. Ordóñez Robayo. Tercer Piso
Quito, Ecuador
Teléfonos: 2922145 - 2922151 - 098350446
E-Mail: foes@uio.satnet.net

"... el 26 de Junio del presente año á las diez del día, un ruido espantoso llamó la atención de los moradores de Latacunga y del valle de Chillo, el volcán se hallaba oscuro y la proyección de ceniza y fuego era visible.

Por la parte del Norte del volcán; en el valle de Chillo se observó el desprendimiento de una masa enorme de agua, alta como una torre y ancha como un mar, que se desprendía en forma de avalancha líquida de la base del volcán, levantando sobre la superficie de sus agua a manera de un corcho, las casas, fábricas, hombres, animales, árboles y sembrados que se hallaban á su paso.

Todo esto se verifica en momentos dados, cuando ya la oscuridad de las tinieblas invadió todo el horizonte, y no se pudo ver mas que las chispas inflamadas del cráter del volcán, y el ruido profundo y aterrador de las aguas, que huían presurosas por las pendientes del cauce.

El ruido y la oscuridad duró hasta las seis de la tarde"

(Periódico "El Ocho de Septiembre", Quito, 14 de julio de 1877)

1. INTRODUCCION

Los peligros naturales aluden a una serie de fenómenos de diferente origen como las erupciones volcánicas, los terremotos, las inundaciones, las sequías o los deslizamientos.

El territorio continental del Ecuador suele verse afectado por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos que se presentan con singular frecuencia y violencia; esa alta exposición a fenómenos naturales potencialmente destructivos, combinada con las acentuadas características de vulnerabilidad global, es la que da origen a los desastres naturales.

Aparte de las situaciones traumáticas que desencadenan y de las víctimas humanas que cobran, los desastres naturales tienen efectos devastadores sobre la economía de los países, puesto que afectan la balanza de pagos, las cuentas corrientes y las finanzas públicas, lo cual muchas veces está acompañado de una drástica reducción del PIB.

No obstante, se debe remarcar que los fenómenos naturales si bien desempeñan un importante papel en el origen de los desastres, no necesariamente son los causantes de los mismos.

En los países en vías de desarrollo, la ocurrencia de los desastres está relacionada con tres causas fundamentales:

1. Vulnerabilidad humana (pobreza, inequidad y bajos nivel de preparación de la población frente a posibles desastres);
2. Degradación del ambiente (abusos en el uso del territorio) y,
3. Crecimiento demográfico, especialmente entre los sectores más pobres de la población.

El Ecuador, con un ingreso per cápita de 1.377 USD, en el año 2001, figura a escala mundial como una economía ubicada en la parte inferior del grupo de países de ingresos medios. El 35% de su población vive con menos de un dólar diario; hay una esperanza de vida de 70.5 años y una tasa de analfabetismo del 8.4% (OPS, 2002). Adicionalmente, la sociedad ecuatoriana es una de las más inequitativas de América Latina, porque el 20% de la población más rica capta el 52.6% del ingreso total, mientras el 20% más pobre apenas accede al 5.4% (UNICEF, 2000).

El Ecuador es considerado como uno de los países de Latinoamérica que no podrán satisfacer uno de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”, que consiste en reducir a la mitad la proporción de la población que vive con menos de un dólar diario, hasta el año 2015. Por el contrario, según un reciente monitoreo, los niveles de pobreza se elevarán, ya sea por un aumento de la desigualdad, por la merma del ingreso per cápita, o por ambas (CEPAL-PNUD, 2003).

El territorio del Ecuador cubre un área de 236.000 km² que alberga a una población total de 12.16 millones, con una tasa de crecimiento

En el Ecuador, los desastres naturales han obligado al país a utilizar recursos frescos y modificar los planes económicos para destinarlos a las tareas de reconstrucción.

Tal es el caso de lo ocurrido con el Fenómeno del Niño en 1982-83 y en 1997-98, y el terremoto del Napo, en 1987, que generaron un significativo descenso del PIB.

poblacional anual del 2,05% en el más reciente período intercensal (1990-2000). La densidad poblacional del país, cuantificada en 47.4 habitantes/km², es relativamente alta, aunque con una distribución muy desigual.

La *Sierra* tiene una elevada concentración poblacional (85.1 hab/km²) y mantiene importantes actividades en los sectores agrícola, pecuario e industrial. En la *Costa*, la región más densamente poblada (90,3 hab/km²) se concentran los cultivos de banano y cacao, la pesquería, la crianza de camarones y la agroindustria, que son renglones fundamentales de la producción exportable.

De los 10 centros urbanos con más de 10.000 habitantes, el 50,8% está localizado en la Costa, el 43,9% en la Sierra y el 5,3% en el Oriente.

A pesar de que se ha verificado una marcada desaceleración en la tasa anual de crecimiento poblacional, que descendió de un 3,10%, en el período intercensal 1962-1974, a un 2,05 %, en el período 1990-2001; la población del Ecuador casi se ha cuadruplicado en esos 51 años.

En estas condiciones, la cantidad de personas e infraestructura expuestas a los peligros naturales, ha aumentado sensiblemente.

El volcán Cotopaxi en la gran Cordillera de Ecuador, Caetano Osculati, *En: Esplorazione delle Regioni Ecuatoriali*, 1854.



Por otra parte, en los últimos 30 años la población del Ecuador dejó de ser mayoritariamente campesina o rural, para convertirse en una población urbana pues, en la actualidad, el 61% de la población se concentra en las ciudades y la tendencia de crecimiento es sostenidamente ascendente.

Este proceso incontrolado de urbanización trae consigo la proliferación de barrios pobres, que generalmente ocupan terrenos de bajo valor, ubicados en áreas vulnerables y propensas al embate de los desastres naturales.

Las ciudades son física, funcional y económicamente más vulnerables a los desastres, debido a la concentración de la población y sus bienes y a su alto grado de dependencia con las redes de servicios públicos y de distribución de alimentos. Por otra parte, la atención de una emergencia en ciudades medias o grandes, plantea problemas de enorme complejidad debido a la gran cantidad de recursos humanos, técnicos y económicos que se requieren para su preparación y rápido manejo.

En Ecuador, de manera general, se puede afirmar que la mayoría de las ciudades están ubicadas en zonas expuestas a más de un peligro natural como pueden ser: terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones o deslizamientos.

En el imaginario de la mayoría de la población y de sus autoridades, se continúa identificando a los desastres únicamente por la etapa de las sirenas y las carpas, los albergues para evacuados, los hospitales de emergencia y la distribución de ayuda humanitaria que debe ser atendida por los organismos de socorro, principales responsables del manejo de las situaciones de emergencia. En consecuencia, se ha afianzado la idea de que, en los países en vías de desarrollo, el manejo de los desastres debería tener la misma orientación que en los países desarrollados; fundamentalmente enfocada a resolver problemas de logística, que permitan tener una capacidad rápida y eficiente de respuesta y localizar los elementos de socorro en los lugares y momentos necesarios.

Este enfoque no aborda el problema más de fondo, que obliga a considerar que, los desastres naturales evidencian y agudizan las amenazas contra la vida, los bienes y las oportunidades de desarrollo de los miembros de las comunidades afectadas. Son eventos en los cuales se refleja en toda su magnitud, las vulnerabilidades sociales,

World Press Photo. Imagen premiada sobre la tragedia del Tsunami de Asia, 2004.
Cortesía de Arko Datta, REUTERS.



políticas, culturales y económicas, al igual que la enorme fragilidad de los servicios públicos.

Iniciativas internacionales como la *Década Internacional para la Reducción de los Desastres (1990-2000)*, aportan, en alguna medida, a fomentar una cultura orientada a mitigar los desastres naturales, lo que supone el desarrollo de estrategias sociales y ambientales sostenibles para la prevención y preparación ante inminentes desastres. Esto ha sido ratificado después del descomunal desastre causado por el Tsunami del Asia, en diciembre de 2004.

Es una verdad conocida que *"el nivel del trauma social resultante de un desastre es inversamente proporcional al nivel de organización existente en la comunidad afectada y que, por consiguiente, la diversificación y fortalecimiento de la estructura social de la comunidad constituye una importante medida de mitigación"*. (D.M.C. Universidad de Wisconsin, citada por G. Wilches G., 2004).

Ruinas de la fábrica de tejidos "San Gabriel", ubicada en la margen derecha del Río Cutuchi, en Latacunga, destruída por el lahar de 1877. (T. R.)



2. EL RIESGO VOLCÁNICO

El **peligro volcánico** representa la posibilidad de que un fenómeno volcánico, de carácter destructivo, pueda ocurrir en algún momento del futuro mediano o inmediato.

El **riesgo volcánico** se lo expresa como un nivel, medido en términos de una variable estadística **R**, la cual es a su vez, proporcional a otras tres cantidades; la probabilidad **P** de que un fenómeno volcánico específico afecte a una región determinada en un tiempo determinado (peligro volcánico); el valor **S** de los bienes sujetos a sufrir pérdidas, como el número de vidas humanas, bienes raíces y fuentes de producción ubicadas en el área de riesgo; la vulnerabilidad **V** de esos bienes; es decir, la proporción en la que pueden ser dañados los valores **S**, si es que se presenta el fenómeno cuya probabilidad de ocurrencia es **P**. El riesgo puede ser efectivamente reducido a través de una respuesta social o preparación **Q**, que involucra una serie de medidas para reducir la vulnerabilidad y el valor vulnerable y, con ello, el riesgo.

Entonces, el **Riesgo Volcánico** se lo puede expresar como:

$$R = \frac{P \times V \times S}{Q}$$

Con base en esta ecuación se puede concluir que el grado de preparación (**Q**), puede reducir el riesgo, si es que logra disminuir la vulnerabilidad o el valor expuesto.

La evaluación de un peligro volcánico es una función compleja de la probabilidad de que un volcán produzca un determinado tipo de erupción, que afecte a una zona determinada, dentro de un período también determinado.

El procedimiento más adecuado para aproximarse a la resolución de este problema, consiste en reconstruir la historia eruptiva del volcán y establecer un modelo a partir del cual se pueda prevenir el desarrollo de las futuras erupciones, en el largo plazo. Ello permite conocer cuándo y por qué se inicia la actividad en un determinado volcán y ayuda a predecir su posible comportamiento.

La única forma actualmente accesible para lograr este propósito, consiste en determinar la probabilidad de reactivación, a partir de una base estadística derivada de la historia eruptiva del volcán y en asignar un mayor énfasis a las fases explosivas, en vista de su riesgo. Adicionalmente es indispensable establecer los probables escenarios que pueden estar comprometidos por una próxima erupción de este volcán.

Este trabajo preparatorio de investigación y análisis, se constituye en la base científica más fehaciente orientada a dar respuesta, lo más concretamente posible, a las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra una erupción explosiva dentro de los próximos 50 años?
- ¿Cuáles serían los escenarios comprometidos?

2.1 El riesgo volcánico en el Ecuador

El territorio del Ecuador presenta una de las más altas concentraciones de volcanes activos de todo el mundo, alrededor de áreas de alta densidad poblacional. No obstante, entre 1918 y 1999, un período extenso en la escala de vida humana, la población no atestiguó ninguna erupción volcánica y, estos eventos fueron considerados como propios del pasado.

La última reactivación volcánica del Guagua Pichincha (1999), Tungurahua (1999), El Reventador (2002) y La Cumbre, en Fernandina (2005), han contribuido a reinsertar al fenómeno volcánico en el imaginario de la población y a potenciar la necesidad de desarrollar políticas públicas y normas de prevención y alerta temprana, junto con programas sistemáticos de comunicación e información a la población, sobre los riesgos asociados con los abundantes volcanes activos emplazados en el territorio nacional.

En contraste con otros fenómenos naturales de carácter puramente destructivo, el vulcanismo tiene, como contrapartida, importantes efectos positivos, como la formación de grandes volúmenes de suelos fértiles, debido a la capacidad remineralizadora de los productos volcánicos acumulados sobre la superficie. Solo así se explica una realidad ancestralmente objetiva, aunque aparentemente contradictoria, que se manifiesta en la sierra centro-norte del Ecuador, en donde los territorios recurrentemente afectados por la actividad volcánica han mantenido, al mismo tiempo, una elevada densidad poblacional, al punto que muchas de las actuales ciudades ocupan la misma posición geográfica que tenían las poblaciones aborígenes precolombinas.

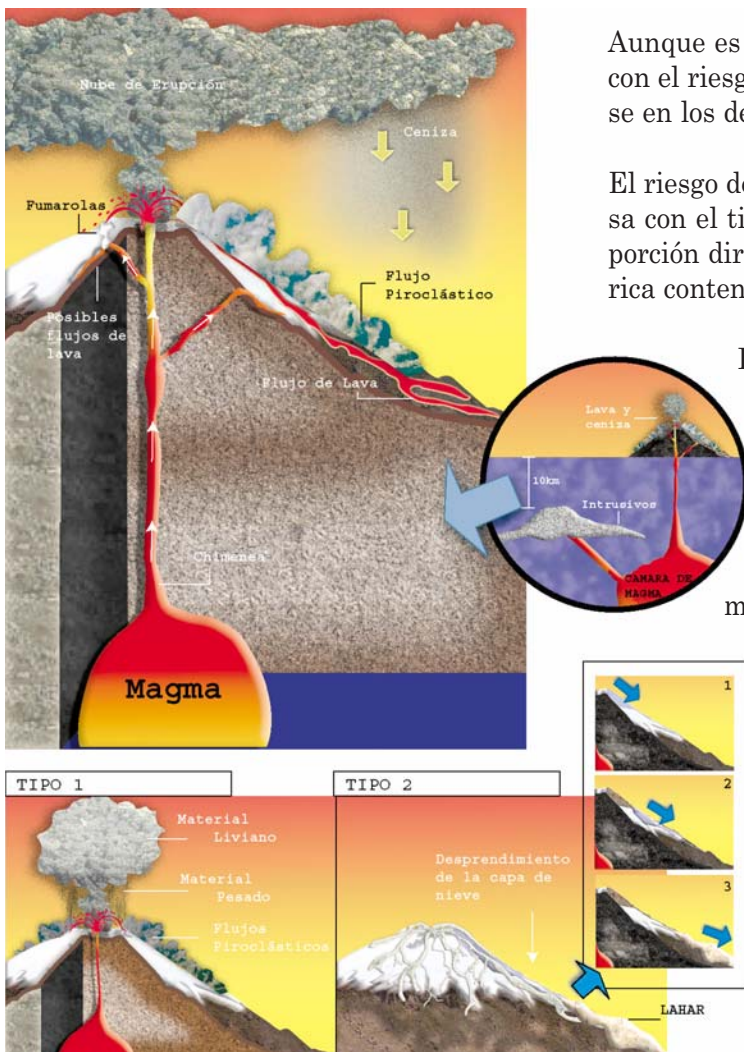
Al igual que en otras regiones del mundo, el reconocimiento del riesgo volcánico en el Ecuador ha sido un proceso que se ha consolidado gradualmente, a raíz de las consecuencias catastróficas de algunas erupciones recientes, como la del Nevado del Ruiz (1985) y Pinatubo (1991), ampliamente difundidas y magnificadas por los medios de comunicación.

Si bien es necesario reconocer que las recientes erupciones del Guagua Pichincha, Tungurahua y El Reventador han sido relativamente benignas, principalmente en cuanto a la afectación de vidas humanas, ello no garantiza que sucesivas erupciones se comporten de la misma manera, por lo que es indispensable contar con mapas de riesgo de escala adecuada y desarrollar acciones sistemáticas de carácter preventivo a nivel de los gobiernos locales en aspectos vinculados con planificación urbana, delimitación de zonas de riesgo, desarrollo de sistemas de alerta temprana y campañas sostenidas de educación comunitaria.

En consecuencia, las autoridades y los gobiernos prestaron poca atención a aspectos relacionados con la investigación y el establecimiento de políticas públicas y programas de prevención y preparación a la población ante la ocurrencia de fenómenos de esta naturaleza.

MODELO ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA VOLCÁNICO, SIMILAR AL DEL COTOPAXI.

La cámara magmática es un depósito subterráneo en el que se acumula el magma (roca fundida), ubicada en los niveles superiores de la corteza terrestre (alrededor de 20 km de profundidad). Los magmas se originan por la fusión del material sólido que forma la corteza, debido al proceso de subducción, que ocurre a una profundidad de alrededor de 150 km.



Generación de lahares por efecto de los flujos piroclásticos. Existen dos diferentes tipos de flujos piroclásticos:
 a. Colapso de columna eruptiva,
 b. Rebosamiento de material incandescente por los bordes del cráter (boiling over).

2.2 Tipos de actividad volcánica y los peligros relacionados

Las erupciones volcánicas son las más espectaculares y violentas entre las distintas manifestaciones de la dinámica interna de nuestro planeta.

La energía que liberan los eventos de media y alta intensidad oscila entre 10^{15} y 10^{19} Joules, que equivale a la de un terremoto de magnitud Richter comprendida entre 6.3 y 8.5 (Barberi y Gasparini, 1976). La energía que libera una bomba nuclear de mediana potencia equivale a 10^{14} Joules.

Aunque es una equivocación frecuente el asociar al riesgo volcánico con el riesgo sísmico, ambos fenómenos se identifican por constituirse en los desastres naturales más llamativos y espectaculares.

El riesgo de una erupción volcánica se incrementa en relación inversa con el tiempo en el que se libera la energía acumulada y en proporción directa con la relación entre energía cinética y energía calórica contenidas en las lavas y los productos piroclásticos.

La **explosividad** de un volcán está controlada por dos factores; la viscosidad y el contenido de gases disueltos en el **magma**, o roca fundida, que se emite durante las erupciones. Si el magma es viscoso y/o muy rico en gases, se forman acumulaciones gaseosas que explotan en forma violenta y arrojan a la atmósfera trozos de magma líquido incandescente, junto con fragmentos de rocas sólidas arrancadas del conducto volcánico, que se precipitan sobre la superficie terrestre. A este tipo de actividad volcánica se la denomina **explosiva o piroclástica**.

El material fragmentario, al que se le denomina **tefra**, tiene un tamaño variable entre ceniza (menor a 2 mm) y **lapilli** (2-64 mm). A los elementos de tamaño mayor a 64 mm se les denomina **bombas y bloques**.

La actividad volcánica explosiva o piroclástica

Un fenómeno típico de la actividad volcánica explosiva es la formación de **flujos piroclásticos**, masas turbulentas de alta temperatura (300-800°C), que forman una dispersión de gases volcánicos con fragmentos sólidos y líquidos. Su comportamiento es similar al de un fluido que, debido a su densidad mayor que la del aire, se desplaza a ras de la superficie terrestre con un movimiento acelerado por la expansión de los gases y la gravedad terrestre.

Las velocidades con las que se desplazan son generalmente muy altas, del orden de 50-100 km/h. En estas condiciones, se tornan uno de los peligros volcánicos más destructivos para la vida humana y las edificaciones.

En el caso de volcanes recubiertos por nieve, la dinámica particular del movimiento de los flujos piroclásticos favorece un fuerte intercambio térmico entre la dispersión y el piso helado, que se traduce en una gran eficiencia para fundir el hielo glacial. Como resultado de ello, se forman los peligrosísimos flujos de lodo (**lahares**), característicos de los volcanes explosivos recubiertos por glaciares como el St. Helens, el Nevado del Ruiz o el Cotopaxi.



La actividad volcánica efusiva

Si el magma es poco viscoso (muy fluido) y con un bajo contenido de gases, puede ascender hasta el borde del cráter y desbordarse tranquilamente por las pendientes del cono volcánico para formar las **coladas de lava**, características de la **actividad efusiva**. Estas son bastante benignas para la vida humana, en vista de la baja velocidad con la que se desplazan, lo que favorece una segura evacuación de las áreas de posible afectación y, mas aún, la construcción de obras de ingeniería para frenar su avance o desviar su trayectoria hacia zonas despobladas o de menor desarrollo. El mayor peligro relacionado con los flujos de lava es la destrucción por enterramiento, trituración o incendio de todo lo que se encuentre a su paso.

En algunos casos, la explosividad de una erupción se incrementa, en una gran medida, cuando el magma intercepta a algún depósito superficial de agua (lagos, mares, glaciares o acuíferos someros) y se produce una vaporización instantánea que hace que aumente el volumen de gases en expansión. A este tipo de actividad se la denomina *hidromagmática* o *freatomagmática*.

Arriba: flujos de lava descendiendo por las pendientes del Volcán Reventador en Ecuador. Centro: flujo piroclástico del mismo volcán. Foto: Alois Speck.

Abajo: flujo de lava avanzando en medio de una zona poblada en Hawaii. USGS



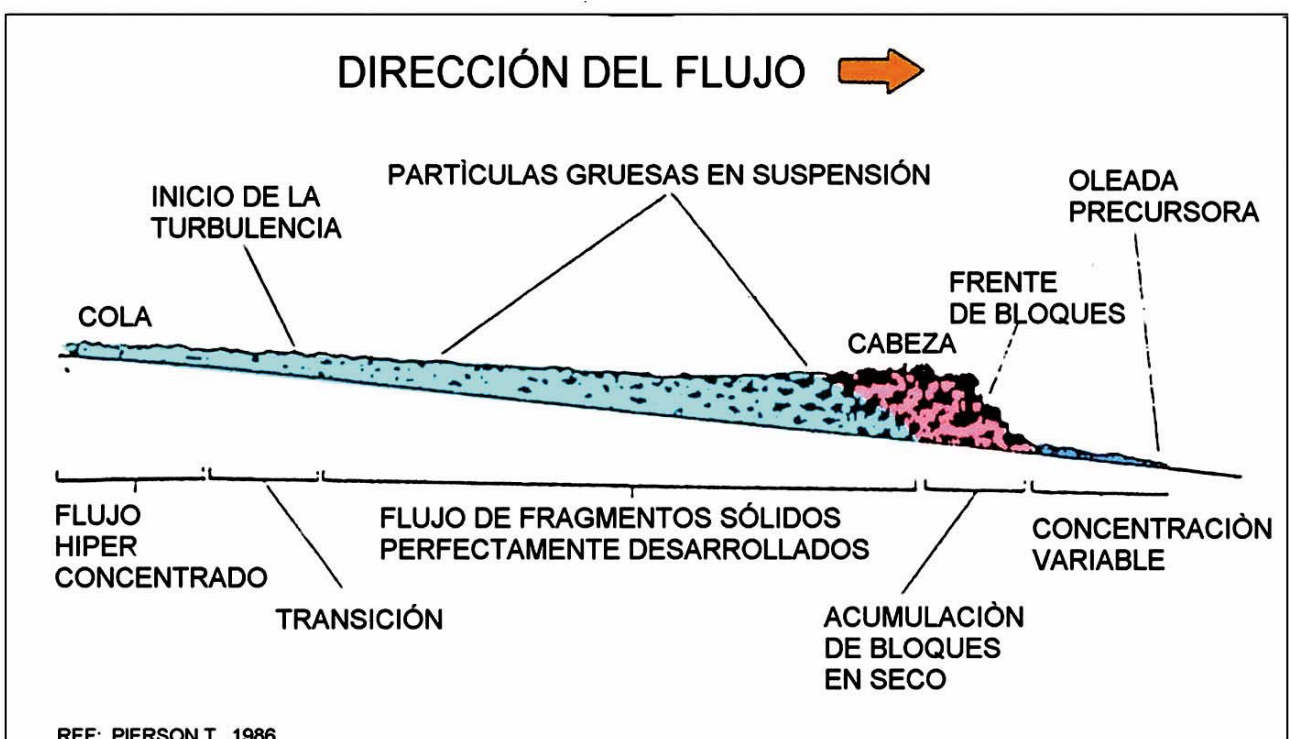
3. LOS FLUJOS DE LODO O "LAHARES"

La morfología de un lahar en movimiento se la ha reconstruido con base en la observación de los fenómenos recientes y el análisis de los depósitos de fenómenos similares. Presenta una típica morfología alargada, con su borde superior que forma un plano bastante regular y subhorizontal. La concentración de sólidos es característica de cada uno de sus segmentos. Así, en la cabeza, se concentran los bloques de roca de mayor tamaño, que han sido extraídos del cuerpo, con cero por ciento de agua. En el cuerpo del lahar la concentración de sólidos varía entre el 75 y 90%, en peso y, finalmente, la cola presenta características similares a las de un flujo hiperconcentrado, con un contenido de sólidos de alrededor del 45%.

Se denomina Flujos de Lodo o "Lahares", a un flujo torrencial de agua lodosa, cargada de partículas sólidas de todos los tamaños, que se desplaza velozmente, controlado por la gravedad, desde las laderas de un volcán hacia los valles, directa o indirectamente desencadenado por una erupción. Durante su desplazamiento, dicho flujo tiene la apariencia de una colada densa, pero fluida, que ocupa los cauces naturales y, debido a su densidad, puede arrastrar cualquier objeto que encuentre a su paso. La morfología típica de un lahar en movimiento corresponde a la de un cuerpo alargado, con un borde superior bastante plano, en el que se distinguen claramente tres segmentos caracterizados por una distinta concentración de sólidos (Pierson T., 1986). En la cabeza, o "frente de bloques", se acumulan los bloques de roca de mayor tamaño, que han sido extraídos del cuerpo y se desplazan en seco. En el cuerpo, la concentración de sólidos varía entre el 75 y 90%, en peso, mientras que la cola presenta una concentración de sólidos similar a la de un flujo hiperconcentrado, 45% en peso (Ver figura abajo).

Si se considera que las propiedades físicas del lahar están controladas por el tamaño de las partículas sólidas y el contenido de agua, se puede concluir, con base en los valores antes indicados sobre la concentración de sólidos, que las características del movimiento de un lahar son drásticamente distintas, comparadas con las de una crecida hidrológica, en la cual el porcentaje de sólidos apenas llega a un 2% en peso.

El término "lahar" proviene del idioma de la Isla de Java (Indonesia), donde se le utiliza para describir a este particular proceso de trans-



porte de materiales volcánicos. Se han reconocido dos tipos particulares; *primarios*, que ocurren durante la erupción y a menudo involucran agua muy caliente; y *secundarios*, que ocurren después de meses o años posteriores a la erupción de un determinado volcán. En el volcán Ruapehu (Nueva Zelanda) se formó un flujo de lodo, que causó 151 víctimas, ocho años después de la erupción de 1945.

El origen de los lahares está directamente relacionado con la presencia de abundantes materiales no cohesivos, que pueden ser fácilmente removidos y transportados por el agua. La primera condición se cumple durante o inmediatamente después de una erupción explosiva cuando, de improviso, se acumulan sobre la superficie del suelo enormes volúmenes de material piroclástico suelto, como bombas, lapilli y ceniza volcánica.

El agua puede aparecer por cualquiera de las siguientes causas:

- Vertido violento de una masa hídrica acumulada en una laguna cratérica;
- Fusión de la nieve y los glaciares por acción de los *flujos piroclásticos*;
- Lluvias torrenciales, en algunos casos originadas por tormentas relacionadas con las *columnas convectivas* de una erupción volcánica.

Algunos de los más grandes y catastróficos fenómenos de lahar, en la época histórica, se originaron en volcanes recubiertos por una gruesa capa de hielo, tal como en la erupción del Nevado del Ruiz-Colombia (1985), que causó más de 22.000 víctimas en la ciudad de Armero.

Una vez formados, los lahares pueden cubrir distancias variables que dependen de la diferencia de nivel entre la zona de origen y el punto en el que se agota su energía potencial. El flujo de lodo del Nevado del Ruiz recorrió una distancia de 60 km con un desnivel de alrededor de 5.000 m. En 1877, los flujos de lodo del Cotopaxi se desplazaron 300 km, hasta el Océano Pacífico, con un desnivel de casi 6.000 m.

La ciudad de Armero, Colombia, después del flujo de lodo de 1985, N. Banks de USGS.



3.1 El peligro de los lahares

La alta energía, velocidad de desplazamiento, densidad y capacidad de arrastre hacen de los lahares, o flujos de lodo, un fenómeno muy destructivo que ha cobrado una gran cantidad de víctimas humanas.

Debido al propio mecanismo desencadenante (liberación violenta de grandes volúmenes de agua que arrastran y engloban a fragmentos sólidos en cortos períodos de tiempo), los caudales iniciales de los lahares alcanzan cifras de decenas de miles de metros cúbicos por segundo en el lapso de unos pocos minutos. Durante su desplazamiento, los cambios en la pendiente del cauce por el que transitan influyen apreciablemente sobre la velocidad y turbulencia y, por lo tanto, controlan la capacidad de arrastrar o depositar los sólidos en suspensión. De manera general, resulta que en cada quiebre de la pendiente disminuye la velocidad y se depositan los sólidos, mientras en los tramos con altas pendientes, aumenta la velocidad y se produce erosión de los depósitos aluviales no cohesivos, las rocas sueltas y cualquier otro objeto sólido que encuentre en su trayectoria.

La velocidad promedio con la que se desplaza un lahar depende de la pendiente del terreno y de la masa en movimiento; no obstante, para recorridos largos se admite que varía entre 20 y 40 km/h. En 1877, el lahar del Cotopaxi recorrió los 300 km que le separan de Esmeraldas en alrededor de 18 horas y en unos cuarenta minutos el tramo de 50 km hasta el Valle de Los Chillos. La alta energía, velocidad de desplazamiento, densidad y capacidad de arrastre, hacen de los flujos de lodo un fenómeno muy destructivo, al punto que, solo en el presente siglo, han originado unas 30.000 víctimas, que representan un 38% de todas las que originaron las erupciones volcánicas en el mismo período.

Como factores agravantes del riesgo se debe mencionar la inusitada y creciente presencia de asentamientos humanos en la inmediata cercanía de los cauces por los que se desplazan los lahares y la baja percepción del peligro, que es común entre los habitantes de las zonas alejadas de los conos volcánicos, porque asumen, equivocadamente, que se encuentran fuera del alcance de estos fenómenos volcánicos.

Hasta hace algunos años, la evaluación de la peligrosidad de los lahares se la realizaba únicamente con base en información geológica y estratigráfica complementada con un método empírico, muy expeditivo, basado en el levantamiento de los niveles de las huellas o los depósitos que configuran peraltes en las curvas de los cauces por los que transitó el flujo. A partir de 1980 varios autores han demostrado la eficacia de aplicar un enfoque numérico para delimitar los escenarios comprometidos con el tránsito de los lahares (Laenen & Hansen, 1988; Vignaux & Weir, 1990; Takahashi, 1991; Macedonio & Pareschi, 1992; Barberi et al., 1992; Pareschi & Caruso, 1993).

La ventaja del enfoque numérico, mediante modelos automáticos, consiste en la posibilidad de obtener información de buena calidad

sobre los caudales, alturas, velocidades y extensión de las áreas inundadas por los flujos de lodo en las secciones de control previamente establecidas, a lo largo del cauce, según las necesidades definidas por la presencia de asentamientos humanos o de importantes obras de infraestructura.

**Víctimas causadas
por los flujos de lodo (lahares)
originados por algunas erupciones
volcánicas notables**

(Modificado de Yokohama y Otros, 1984)

VOLCÁN	PAÍS	AÑO	Nº VÍCTIMAS
Kelut	Indonesia	1586	10.000
Awu	Indonesia	1711	3.200
Cotopaxi	Ecuador	1741	1.000
Galunggung	Indonesia	1822	4.000
Nevado del Ruiz	Colombia	1845	1.000
Awu	Indonesia	1856	3.200
Cotopaxi	Ecuador	1877	1.000
Awu	Indonesia	1892	1.530
Kelut	Indonesia	1919	5.110
Nevado del Ruiz	Colombia	1985	22.000
T O T A L			53.900

La ciudad de Armero, Colombia, destruída por el lahar de 1985, que causó más de 22 mil víctimas.

Fotos: J. Marzo y R. J. Janda de USGS.



4. CARACTERÍSTICAS DEL VOLCAN COTOPAXI

El Cotopaxi (5.897 m) es el segundo volcán activo más alto del mundo; lo supera el "Ojos del Salado", en Chile, que alcanza una elevación de 6.893 m y justifica su carácter de activo, por las fumarolas que descargan cerca de la cumbre a 6.500 m de altura.

El cono volcánico del Cotopaxi, con su forma geométrica regular de una singular belleza escénica, constituye un elemento característico del paisaje andino y una figura emblemática del Ecuador, debido a la constante admiración y el sobresalto que originaron, entre los viajeros y científicos de varias épocas, sus repetidos períodos de actividad. La parte más alta del cono está recubierta por una gruesa capa de hielo glacial que, en la actualidad, se extiende desde los 4.600 m de altura. La base del cono tiene 22 km de diámetro y sus laderas una inclinación de 35°.

El diámetro del cráter es de 800 m y su profundidad de 334 m, hasta el piso ocupado por un pequeño cono piroclástico. El borde se presenta deprimido en el flanco occidental y oriental, y sobre elevado en el flanco norte. En el interior del cráter y en el borde occidental se observa una intensa actividad fumarólica dispuesta a lo largo de una fractura radial. Este sector es el que se halla permanentemente desprovisto de nieve, debido a un apreciable flujo de calor.

El Cotopaxi es uno de los volcanes más peligrosos del Ecuador, debido a su intensa actividad reciente y a su predisposición para originar *lahares*, con la fusión de los glaciares. Esto hace que se liberen, súbitamente, enormes volúmenes de agua líquida que engloban los materiales volcánicos granulares, se densifican paulatinamente y transitan por los cauces naturales que se originan en el volcán, arrasando cualquier objeto que encuentre a su paso.

La fusión del hielo glacial en la cima del cono es una manifestación de la reactivación volcánica del Cotopaxi.



La próxima erupción del Cotopaxi, un hecho inevitable

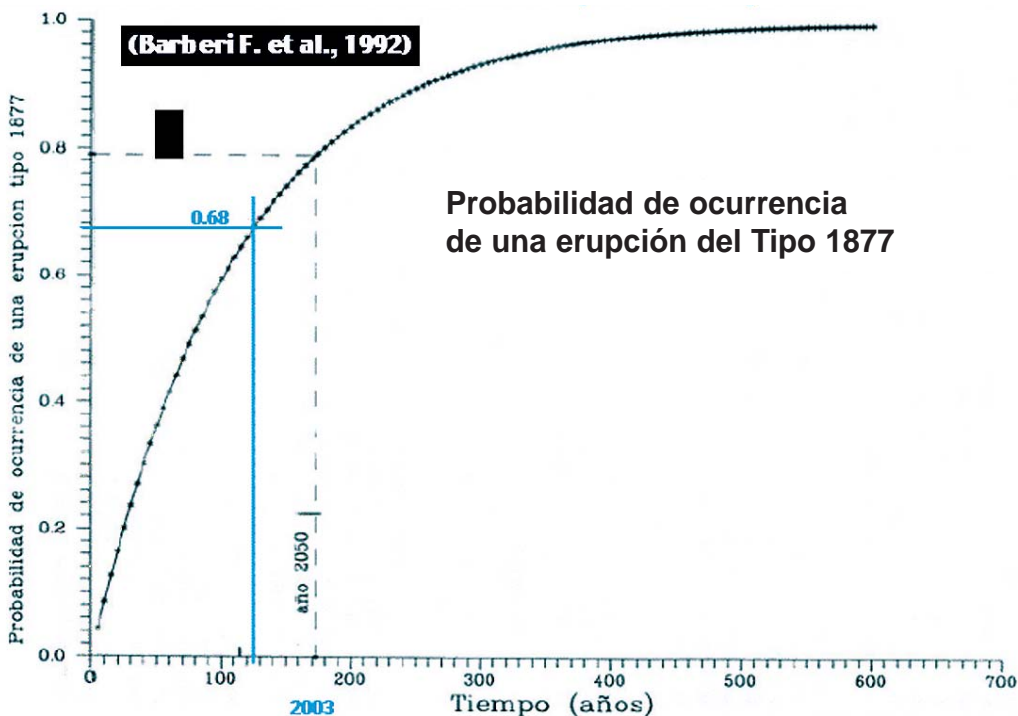
Por tratarse de un volcán activo con una edad geológica muy reciente (el cono actual se ha edificado solo en los últimos 5.000 años), se debe reconocer que una próxima erupción del Cotopaxi es un hecho naturalmente indefectible. Sin embargo, es imposible precisar la fecha en que el fenómeno ocurrirá, en vista que la previsión de las erupciones se la puede concebir solamente en términos probabilísticos.

No obstante, de acuerdo con los datos históricos y la reconstrucción de la historia del volcán, una erupción del Cotopaxi tiene una elevada probabilidad de que ocurra en el lapso de los próximos 50 años.

Con base en una identificación muy precisa del tipo de actividad y los períodos de descanso de las erupciones de los últimos 2.000 años, Barberi F. et al. (1992) determinaron que, en promedio, el tiempo que transcurre entre dos erupciones sucesivas del Cotopaxi es de 117 ± 70 años.

Si se toma en cuenta que la última erupción ocurrió en 1877, la duración del actual intervalo de reposo (128 años) coincide con ese promedio estadístico determinado con base en las 19 erupciones de los últimos 2.000 años. De éstas, apenas cuatro corresponden a la época histórica, que se inició en 1534.

La curva de distribución de probabilidades de una erupción explosiva, similar a la de 1877, se presenta en la siguiente figura:



Curva de distribución de probabilidades de una reactivación volcánica del Cotopaxi.

Fuente: Barberi F., "Estudio Complementario de Vulcanología, Proyecto Hidroeléctrico San Francisco", 1992.

Los peligros volcánicos del Cotopaxi

Una actividad volcánica explosiva, de características similares a la de 1877, que se ha determinado como la *máxima probable*, originaría los siguientes peligros volcánicos:

- a) Caída de cenizas;
- b) Emisión de flujos piroclásticos no relacionados con el colapso de una columna eruptiva (del tipo “boiling over”);
- c) Lahares, originados por la fusión del hielo glacial.

(...) “A las cuatro de la tarde las tinieblas fueron tan espesas, que ya no se pudo ver la propia mano aproximada a la vista”.

a) La caída de cenizas es un fenómeno directamente relacionado con la actividad volcánica explosiva, que se origina cuando el magma fragmentado en partículas finas (tefra), forma una columna ascendente que es impulsada hacia la atmósfera por la expansión de los gases y, posteriormente, por las corrientes de convección que genera el diferencial térmico entre la columna caliente y el aire frío que la rodea. Cuando los vientos dominantes en altura interceptan a esa columna, la desplazan en la misma dirección en la que soplan y, una vez que se han enfriado, la ceniza volcánica comienza a precipitar, en forma de lluvia, para acumularse sobre la superficie del suelo.

En la erupción de 1877, el primer fenómeno relacionado fue una lluvia de cenizas que se extendió durante algunas horas. Tres horas después de haberse iniciado la erupción (alrededor de las 13h30) la ciudad de Quito quedó envuelta en una completa oscuridad, hasta el punto que fue necesario utilizar iluminación artificial.

“El cielo se oscureció con las nubes de ceniza” del Cotopaxi.
Fotgrabado de Whymper E.
de la cima del Chimborazo,
3 de julio de 1880.

El espesor del depósito acumulado en Quito fue de unos 6 mm; un poco menos en Latacunga; y, en Machachi, 2 cm. En Guayaquil, la lluvia de ceniza empezó a las 09h00 del 26 de junio (el mismo día de la erupción) y duró, con breves interrupciones, hasta el 1 de julio de 1877. En el área comprendida entre Guayaquil y Manta fue notorio el fenómeno de caída de cenizas (Wolf T., 1878).

Como elemento de comparación, se puede mencionar que la caída de cenizas posterior a la erupción de El Reventador, el 3 de noviembre de 2002, acumuló sobre el suelo de la zona de Quito, una capa de 2-3 mm de espesor y causó enormes dificultades para el desenvolvimiento de las actividades cotidianas, tales como el tránsito terrestre y las operaciones aeroportuarias.

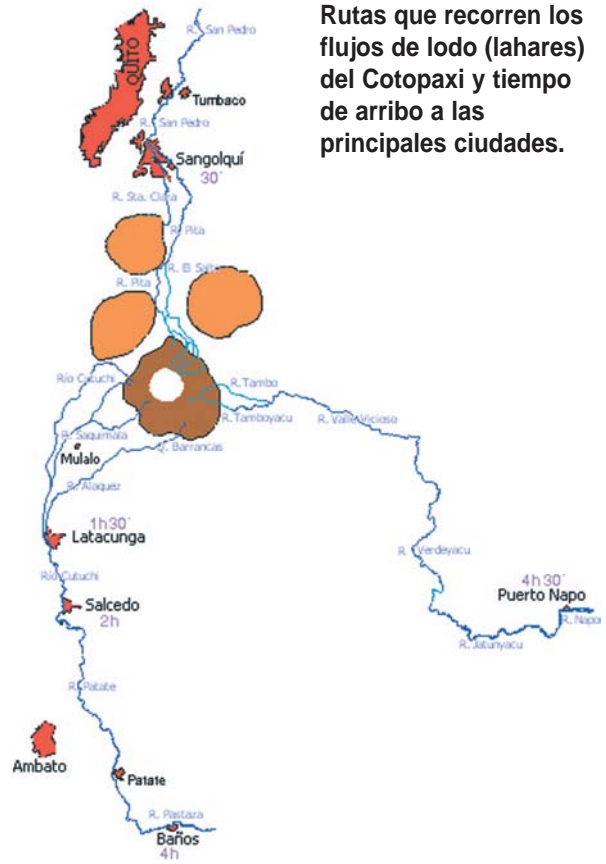


La actividad volcánica del Cotopaxi acaecida en julio de 1880 produjo una fuerte emisión de ceniza volcánica que oscureció la atmósfera hasta la ciudad de Ambato (Hantke y Parodi, 1966, Martínez N., 1932).

b) El escenario de afectación de los **flujos piroclásticos** no se extiende más allá del cono volcánico y, por consiguiente, no constituyen un riesgo directo para ninguna población.

c) El grave peligro de los **lahares del Cotopaxi**. Durante los últimos 470 años que cubre el período histórico, el Cotopaxi ha originado por lo menos diez eventos destructivos de **lahares** en la ciudad de Latacunga. De ellos, existen crónicas sobre tres que afectaron gravemente al Valle de Los Chillos (1768, 1877 y 1885) y dos que destruyeron a Puerto Napo (1744 y 1877).

La falta de crónicas históricas sobre lo que ha ocurrido en las cuencas norte y oriental, no se la debe interpretar, necesariamente, como la ausencia del fenómeno, sino como un reflejo de la realidad social y económica imperante en las épocas de la Colonia española y primeros años de la República, cuando el desarrollo relativo de la zona de Latacunga era bastante más alto y, por consiguiente, captaba mucha más atención que las otras dos.



Rutas que recorren los flujos de lodo (lahares) del Cotopaxi y tiempo de arribo a las principales ciudades.

“Erupción del Cotopaxi”,
Pintura de Edwin Church, 1862.
Instituto de Artes de Detroit.



5. LOS LAHARES DEL COTOPAXI

Los lahares del Cotopaxi constituyen el evento de mayor riesgo para los habitantes de la zona de Latacunga, el Valle de los Chillos y la cuenca media del Río Napo.

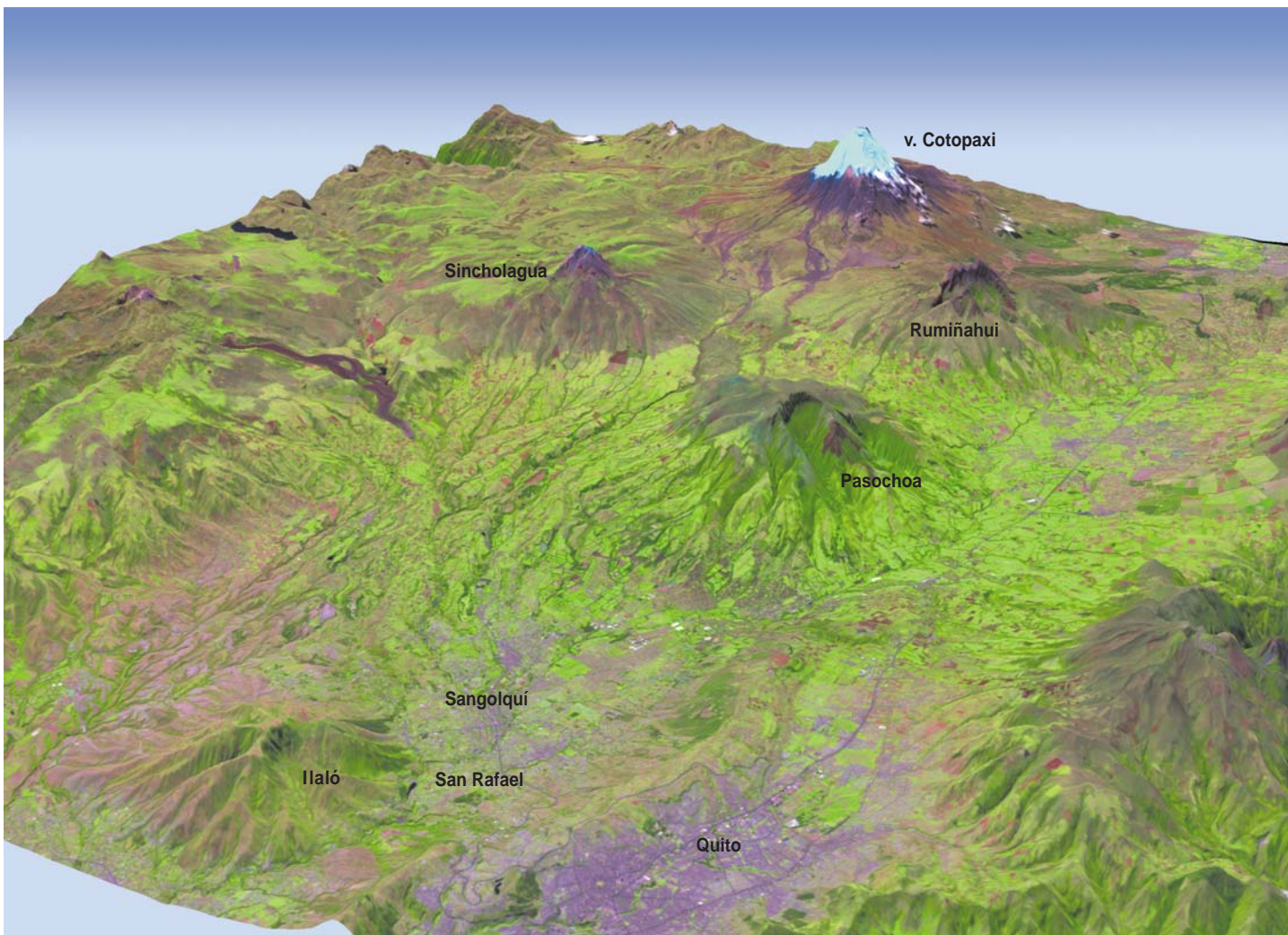
En la historia eruptiva del Cotopaxi los lahares son fenómenos destructivos, de carácter recurrente, que se derivan de la actividad volcánica explosiva con flujos piroclásticos, que se desbordan por todo el contorno del cráter y extienden a toda la periferia la zona afectada por la fusión del hielo glaciar.

En estas circunstancias, todos los drenajes naturales que se originan en el cono volcánico, se convierten en rutas preferenciales para el tránsito de los lahares y, por consiguiente, el escenario de afectación se extiende a las cuencas hidrográficas del Esmeraldas (Sangolquí, San Rafael, Cumbayá, Guayllabamba), por el norte; del Pastaza (Lasso, Latacunga, Salcedo y Patate), por el sur; y del Napo (La Serena, Puerto Napo, Misahuallí, El Ahuano), por el este.

5.1 Recorrido de los lahares en la cuenca norte

La cuenca norte se inicia con los ríos Pita y El Salto, que drenan la parte nor-oriental y norte, respectivamente, del cono. Ambos ríos se juntan a unos 14 km del volcán y transitan entre los volcanes Sincholagua, Rumiñahui y Pasochoa.

Modelo 3D en el que se aprecia la morfología de la cuenca norte del volcán Cotopaxi.



Debido a una condición morfológica particular, en el sitio "La Caldera", una parte del volumen de los lahares que circulan por el Río Pita desborda hacia el Río Santa Clara, que desciende desde las estribaciones del Pasochoa.

Foto del sitio La Caldera.



En ese sitio, el Río Pita cambia bruscamente de dirección, al describir una curva de casi noventa grados hacia el este, debido a la interposición de un antiguo cuerpo de lava solidificada que forma una pared vertical de unos 33 m de altura. Después de recorrer unos 200 m en esa dirección, el río bordea el obstáculo y recupera su rumbo original sur-norte. Cuando los lahares del Cotopaxi llegan a "La Caldera", ocurre un inevitable choque contra el acantilado de roca y la consecuente formación de un remanso, cuyo nivel asciende rápidamente hasta rebasar el labio superior e invadir el cauce del Río Santa Clara, por el cual circula hasta el Valle de Los Chillos incrementando el riesgo.

Los ríos Pita y Santa Clara confluyen en el San Pedro, que atraviesa el valle de Tumbaco, forma el Río Guayllabamba y, finalmente, el Esmeraldas, que desemboca en el Océano Pacífico.

Como resultado de un trabajo de colaboración científica desarrollado entre la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) y la Universidad de Pisa, Italia, se dispone de un modelo numérico que simula el tránsito de los lahares del Cotopaxi a lo largo de los ríos Pita, El Salto y

Santa Clara. El referido modelo se sustenta en un programa específico, denominado SIM-LAHAR, apoyado con más de ciento setenta perfiles transversales, escala 1:2.000, con los que se pudo determinar, con una adecuada precisión, la geometría de los cauces. El modelo proporciona, como datos de salida, la altura de la onda de crecida y el tiempo de arribo, en cada una de las secciones previamente determinadas por la ubicación de los perfiles topográficos.

La calibración del modelo numérico se la efectuó con base en un extenso trabajo de recopilación y ubicación de los daños que causó el evento de 1877, reseñados en las crónicas de Wolf (1878) y Sodiro (1877) y se la complementó con una investigación de varios archivos históricos, todavía inéditos. Después de que han transcurrido 128 años, las huellas o los depósitos que pudo haber dejado el evento de 1877, resultan muy difíciles de identificar dentro de un área con asentamientos humanos densamente consolidados en la que, además, se superponen eventos de distintas épocas.

En las tablas se resumen los datos de salida del modelo numérico, para algunas localidades importantes situadas cerca de los cauces de los ríos Pita, El Salto y Santa Clara.

Aguilera E. et al., (2004)

RIO PITA			
Construcciones e infraestructura	Altura Máxima -metros-	Tiempo Arribo -minutos-	Afectación
Bocatoma Pita-Tambo	19	14	Sumergida
Puente Cashapamba	6	22	Sumergido
Urbanización La Colina	10-12	25	Parcialmente inundada
Playa Chica	1	30	Parcialmente inundada
El Triángulo	4-7	31	Sumergido
Puente Vía al Tingo	(7)-15	32	Sumergido

RIO EL SALTO			
Construcciones e infraestructura	Altura Máxima -metros-	Tiempo Arribo -minutos-	Afectación
Sifón El Salto	13-31	14	Sumergido
Puente rio El Salto	16-34	15	Sumergido

RIO SANTA CLARA			
Construcciones e infraestructura	Altura Máxima (*) -metros-	Tiempo Arribo -minutos-	Afectación
Puente San Fernando	(17)	23	Sin daño
Central Santa Rosa	21	23	Sumergida
Puente Loreto	9	24	Sumergido
Hacienda Chillo Cía.	3-4	25	Inundada
Selva Alegre	8	25	Parcialmente inundado
Colegio Juan de Salinas	5	28	Inundado
El Choclo	3-5	30	Inundado
Avenida Luis Cordero	10	30	Parcialmente inundada
Puente El Aguacate	6	31	Sumergido
Fábrica Santa Bárbara	(7)	31	Sin daño
Ciudadela Yaguachi	(2)	31	Parcialmente inundada
ESPE	(2)	35	Parcialmente inundada
Academia de Guerra	1-6	35	Inundada
San Rafael	8	35	Parcialmente inundado

(*) Referida al nivel medio del sitio considerado.

En las figuras a, b, c, d y e se ilustran los escenarios que serían afectados por lahares, de distinto volumen, con su correspondiente tiempo de arribo. Se remarca que los eventos de un volumen inferior a 25 millones de m^3 no pueden abandonar el ámbito del altiplano ubicado al pie del cono y que, para que se produzca un desbordamiento en "La Caldera", es necesario que el lahar tenga un volumen mayor que 40 millones de m^3 .

Se estima que, en la actualidad, el volumen del hielo glacial es de alrededor de 500 mil m^3 .

Figura (a):
Menos de 20
millones de m^3

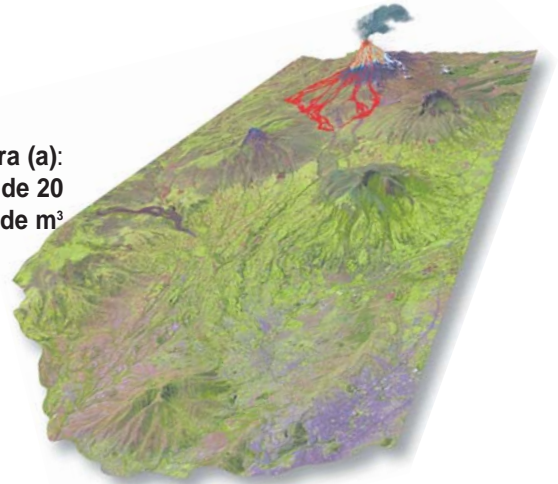


Figura (b):
Menos de 25
millones de m^3

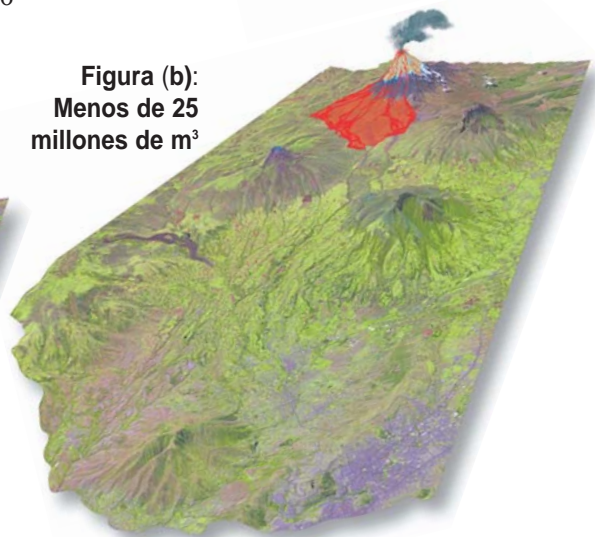


Figura (c):
Más de 40
millones de m^3
después de
6 a 15 minutos

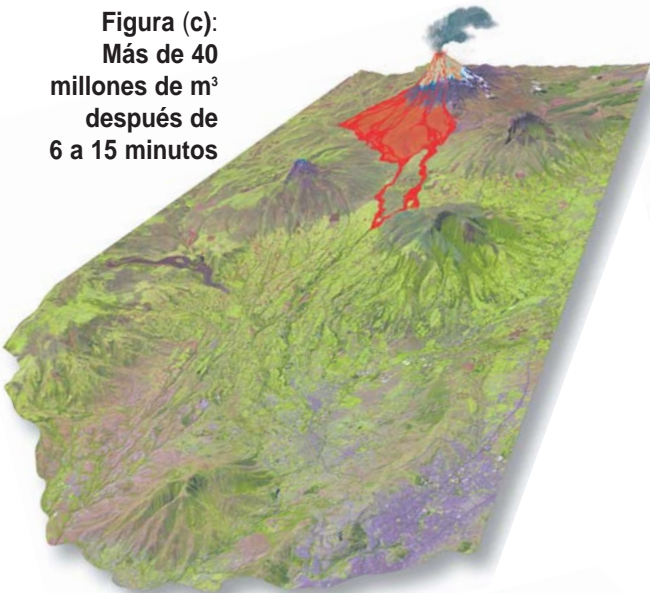


Figura (d):
Más de 40
millones de m^3
después de
16 a 28 minutos

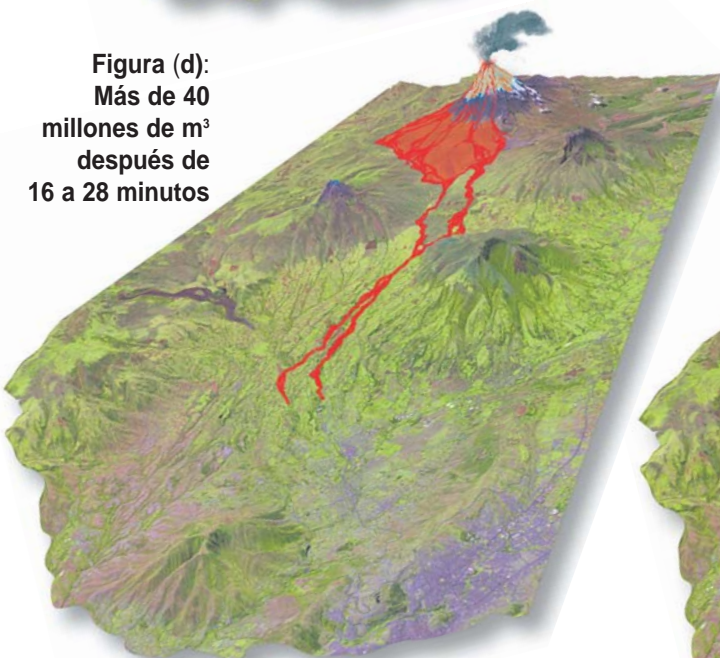
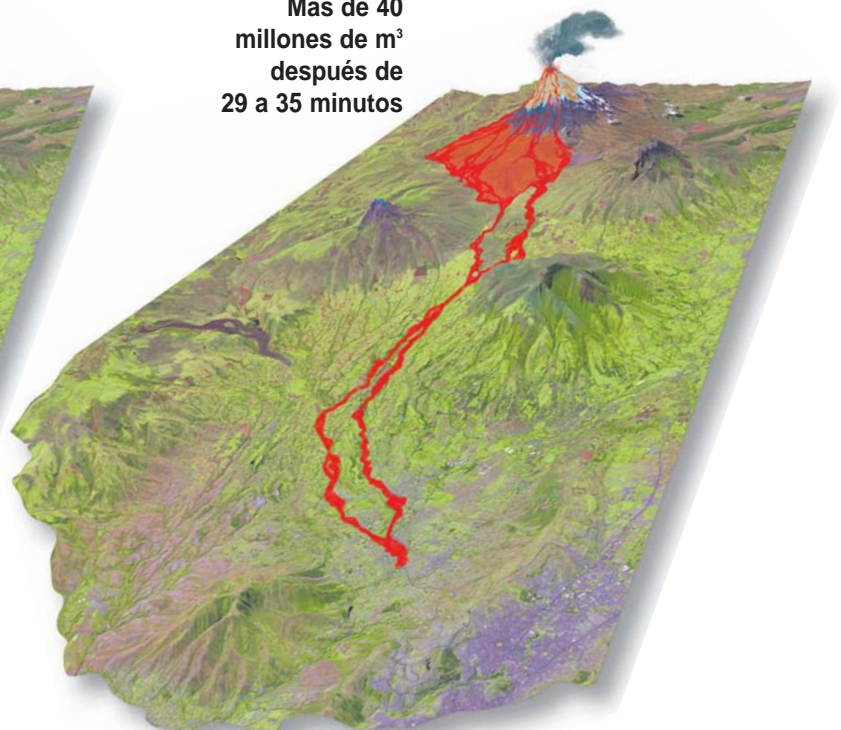


Figura (e):
Más de 40
millones de m^3
después de
29 a 35 minutos



5.2 Recorrido de los lahares en la cuenca sur

Los ríos Cutuchi, Saquimala y Alaquez drenan el flanco sur y sur-occidental del cono del Cotopaxi y, por consiguiente, constituyen las cabeceras de la subcuenca del Río Patate que, al juntarse con el Río Chambo, forman el Pastaza. En las riberas de estos ríos se encuentran varias ciudades importantes (Latacunga, Salcedo, Patate, Baños) y una multitud de asentamientos humanos diseminados que se van consolidando paulatinamente, a la par de un notable crecimiento de las actividades agrícolas y agroindustriales.

El Valle del Río Cutuchi entre Callo y Latacunga. En primer plano aparece el poliducto Quito-Riobamba y, al fondo, parte de las instalaciones agroindustriales.



Para evaluar la peligrosidad de los lahares en la Cuenca Sur existe un modelo numérico, elaborado por el Prof. Franco Barberi, de la Universidad de Pisa, en 1992, como parte del "Estudio Complementario de Vulcanología del Proyecto Hidroeléctrico San Francisco", que cubre el tramo comprendido entre el volcán y la Presa "Agoyán".

El modelo en referencia ha determinado que el volumen de los lahares de 1877 fue de 150 millones de m³, y transitó dividido en partes iguales por las quebradas Cutuchi, Saquimala y Alaquez, que se juntan aguas arriba de la ciudad de Latacunga. La distribución y precisión de las secciones transversales no permite obtener una información detallada sobre las alturas y tiempos de llegada

en los diferentes tramos, porque el objetivo principal del modelo estuvo orientado a evaluar los posibles impactos sobre la Presa Agoyán; no obstante, se ha podido extraer los siguientes:

CARACTERÍSTICAS DE LOS LAHARES DE LA CUENCA SUR

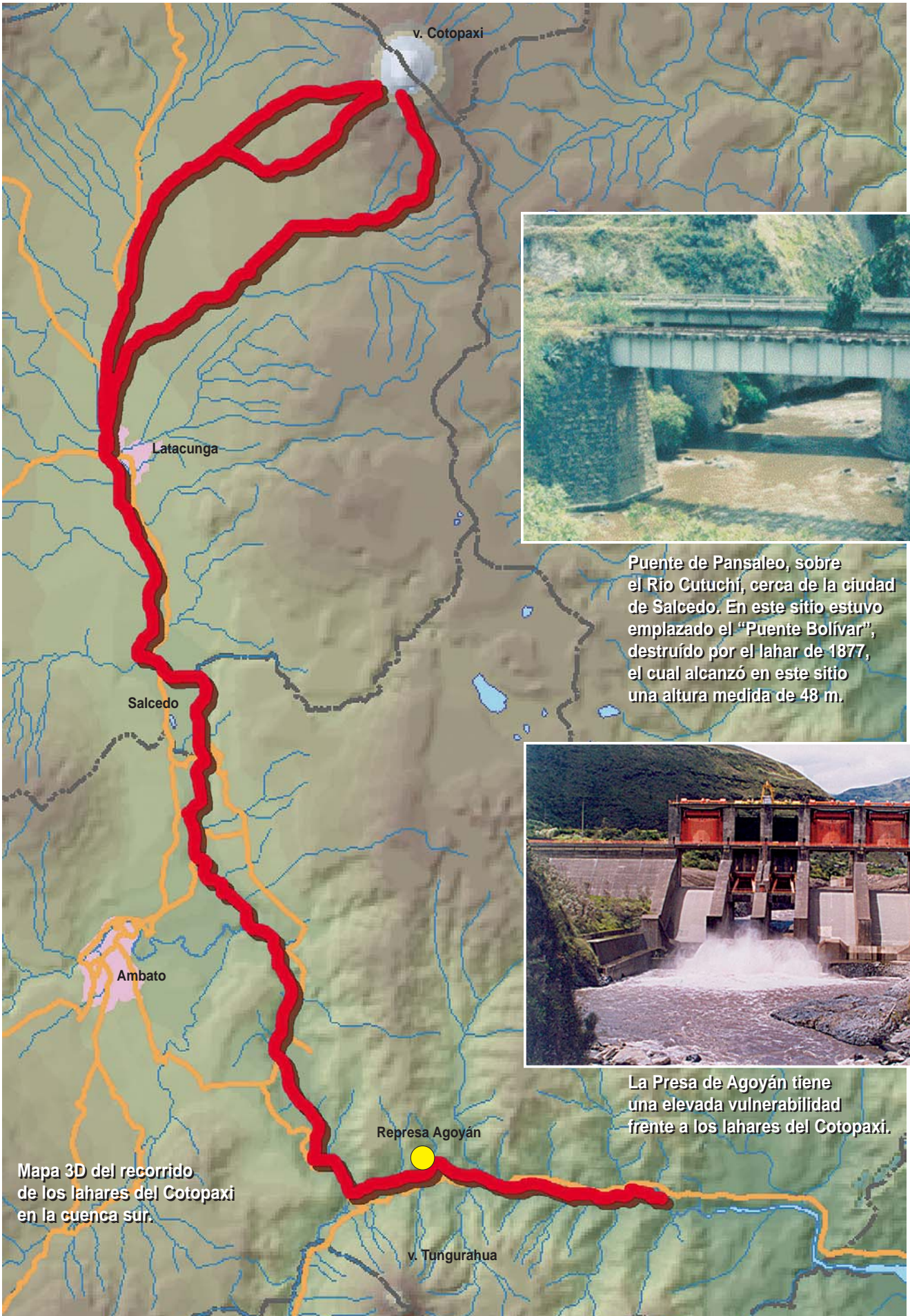
Lugar	Distancia (Km)	Altura Máxima
Fábrica San Gabriel	32.5	13.0 m
Puente Eloy Alfaro	33.6	17.0 m
Puente Pansaleo	51.5	16.0 m
Salcedo	60.0	12.0 m
Puente San Martín	122.0	63.0 m
Baños	123.0	9.0 m
Presa Agoyán	129.0	12.5 m



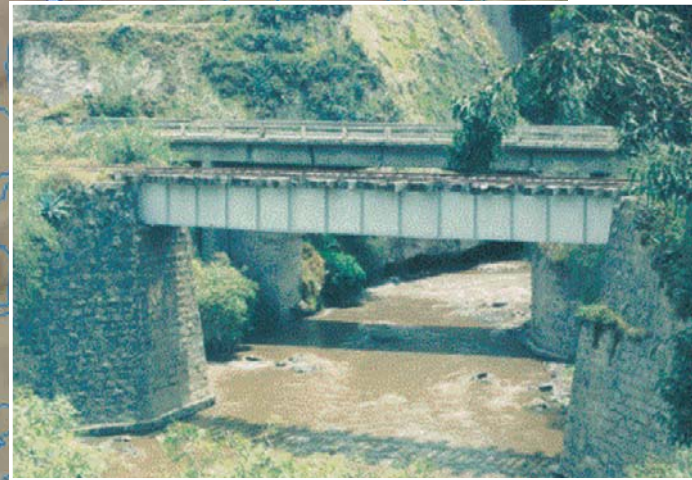
Modelo 3D
de la cuenca
sur del Volcán
Cotopaxi.



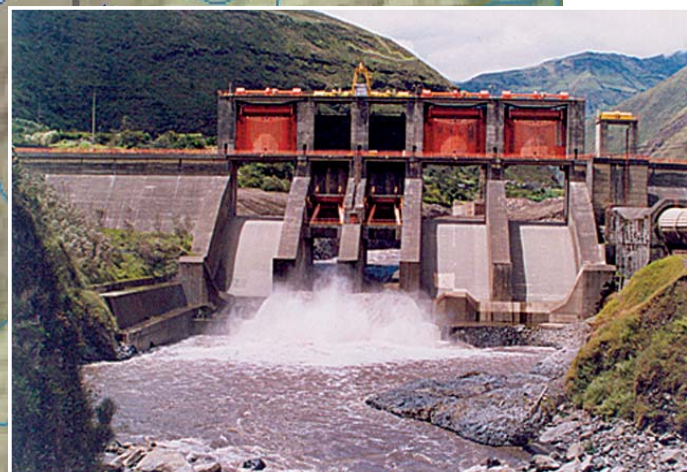
Puente sobre el Río
Cutuchi,
en Latacunga,
que sería destruido
por un lahar.



Mapa 3D del recorrido de los lahares del Cotopaxi en la cuenca sur.



Puente de Pansaleo, sobre el Río Cutuchí, cerca de la ciudad de Salcedo. En este sitio estuvo emplazado el "Puente Bolívar", destruido por el lahar de 1877, el cual alcanzó en este sitio una altura medida de 48 m.



La Presa de Agoyán tiene una elevada vulnerabilidad frente a los lahares del Cotopaxi.

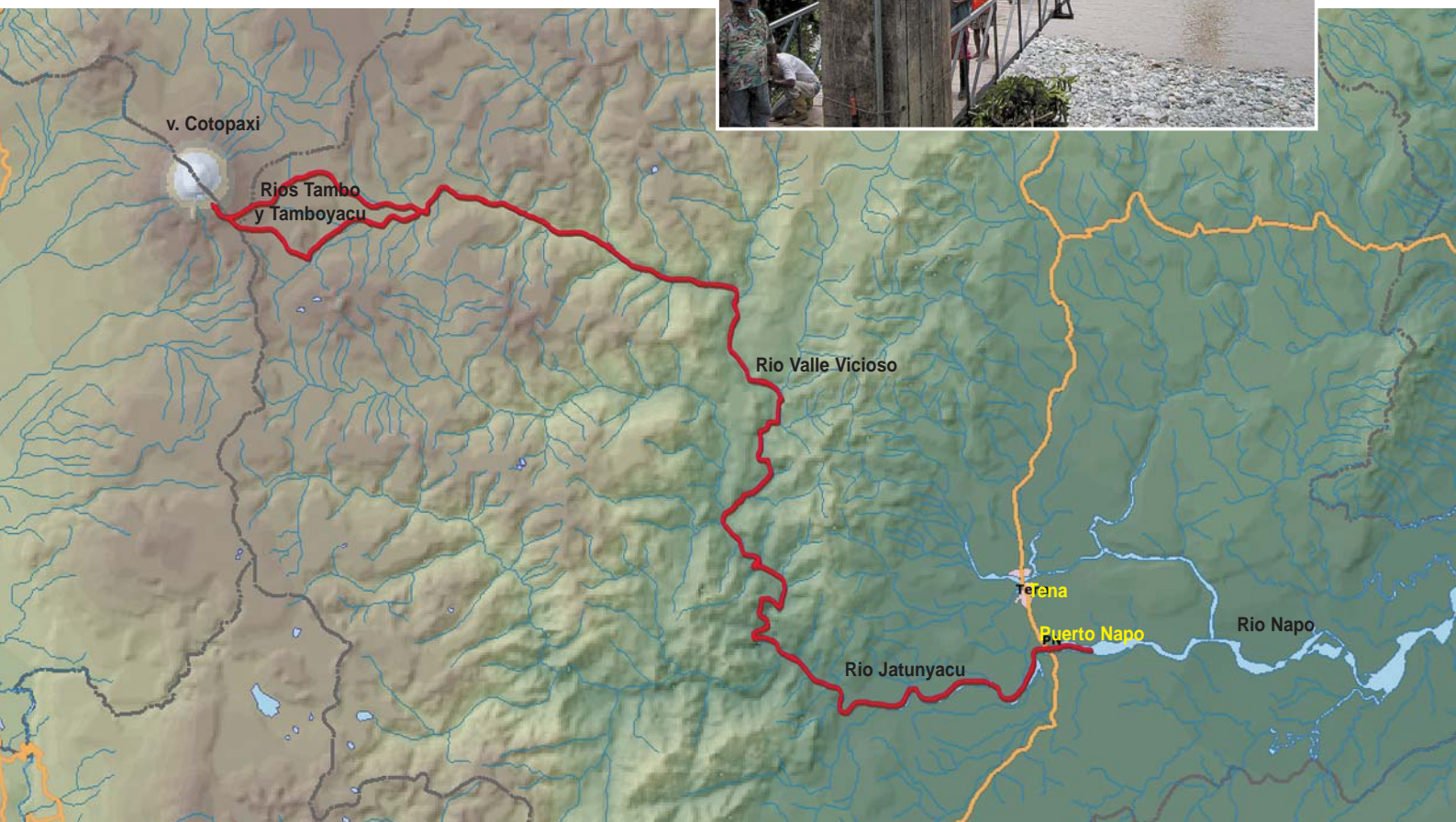
5.3 Recorrido de los lahares en la cuenca oriental

(Foto primera a la izquierda):
Comuna "La Serena", ubicada en la margen derecha del Río Jatunyacu, sobre una planicie inundable aún por crecidas hidrológicas.

(Foto segunda a la derecha):
Puente en la Comuna "La Serena", de 205 m de luz, que constituye la única vía de evacuación.

(Figura inferior):
Mapa en 3D del recorrido de los lahares del Cotopaxi en la cuenca oriental.

Los lahares del Cotopaxi también transitan por los ríos Tambo, Tamboyacu, Valle Vicioso y Jatunyacu, que forman la Cuenca del Napo. El primer asentamiento humano consolidado que encontrarían en su trayectoria es la Comuna "La Serena", formado por cuarenta familias asentadas en la margen derecha del Río Jatunyacu. Aguas abajo se encuentra la ciudad de Puerto Napo. A través de las crónicas históricas, se conoce que el tiempo de llegada de la onda máxima es de alrededor de cuatro horas y media. No se dispone de información confiable sobre los niveles que alcanzaría la crecida, pero se puede asumir que serían iguales, o mayores, que las crecidas hidrológicas que han afectado seriamente a las poblaciones ribereñas.



6. GESTION DEL RIESGO VOLCANICO

Se debe subrayar, como premisa, que la percepción y aceptación del riesgo es una actitud fuertemente condicionada por factores culturales que hacen que la población se divida en segmentos, de acuerdo con su nivel de educación, intereses económicos, fe religiosa, actividades que realiza, etc. A partir de lo anterior, en el Ecuador se han consolidado dos tipos básicos de comportamiento poblacional: pasividad y reactividad.

La primera, muy generalizada, es una consecuencia directa de la actitud fatalista, que atribuye a la voluntad divina la ocurrencia del desastre y, por consiguiente, lo único que resulta factible es resignarse a sufrir sus consecuencias o, a lo sumo, confiar en la misericordia divina para que nunca se presente. Se trata así de soslayar la verdadera connotación de un fenómeno natural de carácter recurrente.

Otras personas mantienen y reflejan una actitud puramente reactiva y esperan que ocurra el evento para, recién entonces, decidir lo que podrían hacer para reducir los impactos. Como una ratificación de este comportamiento, se ha constatado el caso de alguna autoridad local que se encargó de comunicar profusamente a la población, un mensaje tan contradictorio como que ***El Cotopaxi no representa actualmente un peligro real.***

De cualquier forma, es un hecho reconocido el que "el riesgo solo es aceptable en el ámbito de las actividades que generen beneficios", con la única acotación indispensable de que sería deseable que esos beneficios se los pueda extender a la mayoría de la comunidad, en términos de mejoramiento de la calidad de vida, para sustentar las acciones de prevención del riesgo.

Ante estas circunstancias, es evidente la necesidad de empezar a atender, en forma prioritaria, las actividades orientadas a incrementar la capacidad de autogestión comunitaria para reducir, en la medida de lo posible, su actual incapacidad de absorber, mediante el auto ajuste, los efectos de un fuerte cambio en el ambiente, a la vez que reducir su impotencia frente al riesgo (Wilches G., 2004).

(...) Si en una comunidad del tercer mundo, amenazada por una erupción volcánica o cualquier peligro natural, se averigua sobre las prioridades y necesidades de sus miembros, casi con seguridad se encontrará que, en el caso bastante improbable que apareciera, la preocupación por el posible desastre ocupará los últimos lugares.

6.1 La dificultad de predecir las erupciones volcánicas

En los volcanes la transición desde una condición de reposo temporal a eruptiva, es un proceso de duración y culminación incierta que implica una migración progresiva del *magma*, desde la cámara en la que se encuentra almacenado, hasta la superficie; no obstante, es evidente que el ascenso del magma bajo una determinada zona no implica necesariamente su erupción; es decir que una intrusión magmática superficial, detectada o no, por un sistema de vigilancia volcánica, puede que nunca llegue a abandonar el subsuelo.

En términos generales, las erupciones volcánicas están comúnmente precedidas de algunos cambios físicos y químicos detectables a partir de los siguientes parámetros:

- Sismicidad;
- Deformaciones del suelo;
- Composición química e isotópica de las fumarolas y aguas termales;
- Campo gravimétrico;
- Campo magnético; y,
- Propiedades eléctricas del volcán.

Con el objeto de clarificar un asunto tan sensible e importante para abordar el tema de la previsión de las erupciones y el manejo de las crisis volcánicas, se debe establecer, con absoluta certeza, que los volcanes son sistemas dinámicos muy complejos, que actúan controlados por la interacción de varios procesos comúnmente no lineales y estocásticos. En efecto, mientras se desarrolla el proceso de ascenso del magma, desde la cámara hasta el cráter, para una eventual y ulterior erupción, sus propiedades físicas y químicas sufren drásticas transformaciones gobernadas por procesos no lineales dependientes del tiempo. La desgasificación y el enfriamiento del magma inducen la cristalización fraccionada, incrementan la viscosidad, la resistencia al corte y la compresibilidad hasta en varios órdenes de magnitud, dentro de lapsos muy cortos.

En tales condiciones, la conjugación de procesos cinéticos y dinámicos muy complejos, claramente no lineales, determinan una amplia gama de comportamientos inherentemente impredecibles, característicos de los sistemas volcánicos. En consecuencia, a pesar de los importantes avances científicos, la previsión de las erupciones, que constituye el objetivo fundamental de la vigilancia volcánica, continúa fuertemente afectada por una serie de incertidumbres intrínsecas, lo que hace verdaderamente imposible obtener una predicción precisa sobre el momento y las características de una próxima erupción, aún en volcanes muy bien vigilados con todas las tecnologías aplicables. Al igual que el clima, la previsión de las erupciones se la debe concebir únicamente en términos probabilísticos (R.S.J. Sparks, 2003).



Arriba: Muestreo de gases en el Volcán Sierra Negra, Galápagos, 2004.

Abajo: Fumarolas sobre el domo de 1660 del Volcán Guagua Pichincha, el día 7 de octubre de 1999.



(...) "Está muy extendida la creencia que con unos instrumentos dispuestos alrededor de un volcán es posible conocer con suficiente antelación el inicio de una erupción. Esta idea está apoyada incluso por organizaciones internacionales que con ello pretenden acallar la mala conciencia ante desastres ocurridos en el tercer mundo, amparándose en que el volcán no estaba adecuadamente instrumentado (...). También un cierto colectivo de científicos pretende con ello obtener una financiación extraordinaria para desarrollar trabajos de índole académica, cuya proyección en cuanto a la mitigación del riesgo es más bien remota" (Swanson *et al.*, 1985, citado por Araña V. y Ortiz R., 2000).

Como una complicación adicional que atenta contra la posibilidad de realizar una previsión exitosa, ocurre, casi siempre, que en la fase que precede inmediatamente a una erupción, en el volcán se desarrolla un sistema abierto, en el cual la influencia de los agentes externos al magma, muy difíciles de cuantificar, puede resultar determinante (Araña V. y Ortiz R., 1993).

Bajo las condiciones antes descritas, es indispensable hacer un verdadero hincapié respecto a lo que la vulcanología, como disciplina científica, puede realmente aportar en la mitigación de los desastres volcánicos.

Para los mismos autores citados, el problema radica en que se confunden, voluntaria o involuntariamente, tres conceptos distintos, que resultan fundamentales dentro del análisis del riesgo volcánico: **seguimiento, pronóstico y predicción.**

Con el **seguimiento** se puede conocer, en cada momento, el estado de la actividad del volcán; es decir, donde se encuentra el magma; cuál es su temperatura; su contenido de gases; la actividad sísmica relacionada, etc. Así es posible describir la actividad del volcán, realizar un recuento diario o mensual del número de sismos, pero sin que se pueda arriesgar ninguna hipótesis sobre su comportamiento futuro.

El **pronóstico** recurre al seguimiento para inferir cuál será la evolución de la actividad volcánica, pero sin que pueda aventurar tiempos o secuencias. Esta proyección se sustenta en una extrapolación, a futuro, de la evolución de la actividad volcánica, con un grado de incertidumbre que se incrementa mientras mayor sea el intervalo temporal. Este es un concepto muy extendido en otras disciplinas, como la meteorología, en la que a nadie le sorprende que un pronóstico del clima resulte totalmente equivocado.

Con la **predicción** se trata de determinar cuál será el comportamiento del volcán en el futuro inmediato. Intrínsecamente, el concepto de predicción no está asociado con incertidumbre alguna; en consecuencia, la predicción implica afirmar, con certeza, que el evento **E** ocurrirá en la localidad **X**, en el día **D**.

Según las experiencias mundiales, en el estado actual del conocimiento sobre los fenómenos volcánicos, resulta únicamente factible realizar un seguimiento de la actividad, aventurar un pronóstico y, solo en casos excepcionales, realizar una predicción inmediata sobre la evolución de la actividad; no obstante, la actual planificación de acciones de emergencia mantiene invariable la teoría del "**volcán dócil**" sustentada en una supuesta infalibilidad de los sistemas de vigilancia volcánica, a pesar de que existe una corriente científica internacional que está manifestando serias dudas sobre esta ingenua suposición, con base en un mejor conocimiento de los sistemas volcánicos y la casuística de una multitud de eventos acaecidos en todo el mundo.

"En los últimos años la comunidad científica internacional ha presenciado el fracaso estrepitoso de las técnicas de predicción de las erupciones, que se ha consagrado a partir de las experiencias de Campi Flegrei (Italia) con un fuerte proceso de actividad sísmica y otras manifestaciones entre 1983 y 1985; Long Valley (USA), donde se manifiestan todos los precursores y no se produce erupción alguna, o Rabaul (Nueva Guinea) con una crisis que se inició en 1983, mientras la erupción ocurrió en 1994, con solo unos pequeños precursores. Las tragedias del Unzen (Japón, 1991) con la muerte de dos científicos y otras 41 personas, por una falla en la previsión y, especialmente, la del Volcán Galeras (Colombia, 1993), donde un volcán en reposo, sin actividad sísmica ni emisiones anómalas de gases, produjo una explosión con una columna de 4 km de altura, que mató a tres turistas y seis vulcanólogos que se encontraban, justamente, demostrando las técnicas de predicción de las erupciones, han cuestionado aún más la infabilidad de la vigilancia volcánica" (Araña V. y Ortiz R., 2000).

6.2 La incertidumbre en la predicción de las erupciones y su repercusión para el manejo de las crisis volcánicas

En el caso ecuatoriano, las recientes crisis volcánicas (*Guagua Pichincha*, *Tungurahua* y *El Reventador*) confirmaron las dificultades estructurales que afectan a las técnicas de predicción volcánica aquí y en cualquier país del mundo.

A partir de agosto de 1998, el *Volcán Guagua Pichincha*, ubicado a 12 km al oeste de la ciudad de Quito, comenzó una crisis que se reflejaba en la ocurrencia de numerosas explosiones freáticas y en el incremento del número de eventos sísmicos (alrededor de 2.000 mensuales durante septiembre y octubre de ese año), que decreció al cabo de unos días. Dichos fenómenos desembocaron en la declaratoria de una "alerta amarilla" que estuvo vigente, sin interrupciones, desde inicios de septiembre de 1998 hasta el 27 de septiembre de 1999, cuando un nuevo incremento del número de eventos sísmicos hizo que se decidiera cambiar a "alerta naranja".

Esta decisión hizo que alrededor de 2.000 personas evacuaran voluntariamente la ciudad de Quito para buscar refugio en la Costa. Por su parte, la Defensa Civil ordenó la evacuación forzosa de 2.400 personas que habitaban la zona de Lloa, aunque un 25% de ellas se negó rotundamente a aceptar dicha orden.

En el Distrito Metropolitano de Quito se interrumpió la asistencia a colegios y escuelas, afectando a una población de 400.000 estudiantes. Los grandes supermercados agotaron varias veces sus inventarios de alimentos en conserva, agua embotellada y velas; en cambio, descendió notablemente la demanda de alimentos frescos, como carnes y verduras,

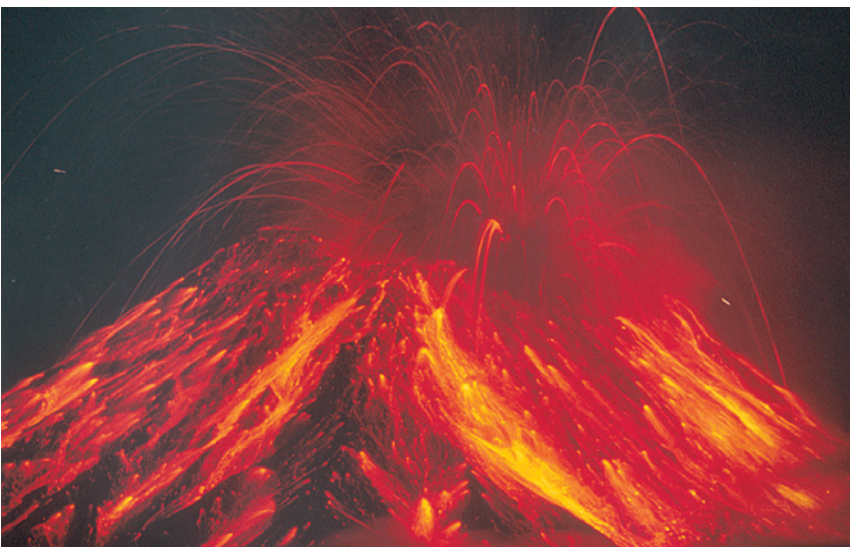


Secuencia de una explosión freática en el cráter del Cotopaxi el 15 de marzo de 2002. El fenómeno empieza con la expulsión de una nube de vapor, cargada de partículas sólidas provenientes de las rocas hidrotermalizadas de un acuífero superficial, que comienza a dispersarse paulatinamente, impulsada por el viento. Al agotarse la carga sólida, el vapor recupera su color blanco característico. Fotos A. S.



Arriba: **Columna de erupción del V. Guagua Pichincha el 7 de octubre de 1999.** Foto A. S.

Abajo: **Actividad estromboliana durante la erupción del V. Tungurahua que se inició en noviembre de 1999.** Foto A. S.



que suministran principalmente los pequeños y medianos agricultores.

La noche del 4 de octubre de 1999, en vista que había descendido el número de sismos y que *los estudios técnicos determinan que el proceso eruptivo del Guagua Pichincha será lento y podría durar meses o años*, el alcalde de Quito, responsable directo del manejo de la emergencia, comunicó a la población el retorno a la **"alerta amarilla"**.

Alrededor de las 14h00 del siguiente día, 5 de octubre de 1999, el volcán erupcionó provocando una lluvia de cenizas que afectó principalmente al centro y norte de la ciudad de Quito, causó algunas molestias en el tránsito y el cierre del aeropuerto internacional, con las consiguientes pérdidas económicas. Afortunadamente, las condiciones meteorológicas impidieron que la población de Quito observe la columna de esa erupción y, por consiguiente, no se alarmó por la lluvia de cenizas que presenciaba, aún más considerando que la noche anterior se había retornado a la "alerta amarilla" y, supuestamente, la erupción destructiva podía ocurrir solo después de que se hubiese declarado la alerta roja. El 7 de octubre de 1999,

mientras continuaba la alerta amarilla, se produjo una segunda erupción que fue observada por toda la población de Quito y sus alrededores. La actividad volcánica continuó manifestándose con nuevas explosiones que produjeron caída de cenizas y los consecuentes problemas para el tráfico aéreo y la operación del aeropuerto de Quito, los días 26 de noviembre y 10 de diciembre de 1999, sin que hayan sido advertidas por la vigilancia volcánica.

Durante la **crisis volcánica del Tungurahua**, la ciudad de Baños de Agua Santa, fue declarada varias veces en alerta naranja y en alerta roja, con la consecuente evacuación forzosa. Tras más de tres meses en los cuales la ciudad no llegó a ser afectada por fenómeno volcánico alguno, la población impuso por la fuerza el retorno a su ciudad, aún a costa de incrementar su grado de exposición.

El 3 de noviembre de 2002, la población de Quito despertó con la

noticia -originada en la versión del piloto de una aerolínea comercial en aproximación al aeropuerto de Quito-, que se avistaba una columna eruptiva en el **volcán El Reventador**, con la que había culminado un proceso que, según el responsable del sistema de vigilancia volcánica, se había iniciado y concluido en no más de cinco (5) horas. Las autoridades responsables del manejo de la emergencia se enteraron del problema después de cinco horas y media de haberse iniciado y, por consiguiente, no hubo posibilidad de advertir del fenómeno a la población que iba a ser afectada.

No obstante, tal como se ha mencionado, la situación de incertidumbre en las predicciones volcánicas también ocurre en los países desarrollados, con lo cual se anula el argumento respecto a que la asignación de más recursos económicos y materiales para la vigilancia volcánica puede mejorar la precisión. En efecto, hacia finales de septiembre de 2004, el **volcán St. Helens**, en los Estados Unidos de Norteamérica, comenzó a manifestar un incremento de la actividad sísmica, evidenciada por varios enjambres sísmicos y otros eventos superficiales que sugerían el ascenso de fluidos presurizados (agua, vapor o magma). En esas condiciones, el 26 de septiembre de 2004, los científicos responsables de la vigilancia volcánica anunciaron oficialmente una **reactivación volcánica**.

Ante la presencia de un significativo incremento en la actividad sísmica concentrada muy cerca de la superficie, bajo el domo volcánico de 1980, con una frecuencia de acaecimiento de hasta 4 eventos por minuto, el 29 de septiembre de 2004 se declaró la **alerta naranja** (Nivel II). El proceso de reactivación volcánica continuó con emisiones de vapor, ceniza y con la presencia de eventos sísmicos que reflejaban ruptura de rocas (sismos VT). Ante tales síntomas premonitores, el 2 de octubre de 2004, el volcán entró en **alerta roja**, que se la mantuvo durante cinco días, hasta el 6 de octubre, cuando el decaimiento de los síntomas justificó el retorno a la alerta naranja (Nivel II).

Hasta el 30 de mayo de 2005, habían transcurrido doscientos catorce (214) días desde cuando se declaró la **alerta naranja**, cinco



Arriba: **Columna de erupción del Volcán El Reventador, en noviembre de 2002.** Foto A. S.

Abajo: **Columna de vapor y ceniza originada por la explosión del 8 de marzo de 2005 en el V. St. Helens (USA), Matt Logun de USGS**



Imagen captada por una "web cam", instalada en el interior del cráter, de la explosión del 8 de marzo de 2005 en el V. St. Helens (USA). USGS



de los cuales correspondieron a un nivel superior, alerta roja, y la erupción todavía no se presentaba (USGS, 2005).

Sin embargo, el 8 de marzo de 2005, mientras permanecía en vigencia la alerta naranja, el volcán presentó una explosión, calificada por los científicos como "*pequeña pero significativa*", que estuvo precedida, durante algunas horas, por un ligero incremento de la sismicidad, que fue advertido por ellos, pero sin que se lo interprete como una actividad premonitoria. No hubo ninguna otra indicación sobre un inminente cambio de la actividad en curso. La explosión en referencia originó una pluma de vapor y ceniza que se elevó rápidamente hasta una altura de 12 km y, posteriormente, una lluvia de cenizas, de dos horas de duración, en tres ciudades ubicadas en el entorno del volcán.

No hace falta remarcar que el sistema de vigilancia volcánica del Mt. St. Helens es, sin lugar a dudas, el mejor dotado en recursos humanos, materiales y científicos de todo el mundo y, por consiguiente, queda, de hecho, descartada la posibilidad de atribuir a una carencia de recursos humanos, materiales o económicos el grado de imprecisión demostrado en la previsión de las erupciones durante la actual crisis.

El caso antes descrito puede resultar muy aleccionador si es que se intenta visualizar lo que ocurriría en un eventual proceso de reactivación volcánica del Cotopaxi, en el que habría que admitir, sin dilaciones, que una **alerta naranja** que se extienda por el lapso de varias semanas, tendría, por sí misma, un efecto devastador sobre la economía regional, antes de que ocurra cualquier evento volcánico.

A manera de ilustración, convendría imaginar las pérdidas diarias que originaría una obligada suspensión o, por lo menos, una inevitable restricción para el tránsito de pasajeros y carga por la Carretera Panamericana, entre Ambato y Quito; la interrupción de las actividades de producción de bienes exportables que la realizan cientos de empresas agrícolas y otras ubicadas entre Callo y Latacunga; la suspensión de las actividades industriales, comerciales, educativas y administrativas en Latacunga, Salcedo, Sangolquí y San Rafael.

Vista del poliducto Quito-Ambato-Riobamba y de cultivos intensivos, para exportación, ubicados dentro de la zona de máximo riesgo, cerca del Río Cutuchi.



El 70% de los alimentos que consume la ciudad de Quito llega por la Carretera Panamericana Sur, que, como se ha mencionado, tendría algunos puntos de interrupción o tráfico restringido, una vez que se adopten las medidas de seguridad anteriores a una erupción volcánica, congruentemente con los actuales niveles de alerta. El poliducto Quito-Ambato, que abastece de combustibles a la región central del País, tiene tramos que transcurren muy cerca de la ribera del Río Cutuchi y, por lo tanto, tendría que someterse a restricciones operativas durante el desarrollo de una eventual crisis volcánica del Cotopaxi, acarreado las previsibles consecuencias en el desabastecimiento de combustibles para la región central del País. Bajo las circunstancias antes descritas, se puede prever, con un buen grado de certeza, que **las comunidades afectadas por el riesgo volcánico del Cotopaxi, tendrían que afrontar una grave crisis social y económica, desde varios meses antes de que se presente la erupción volcánica con todos sus efectos destructivos.**

Resulta importante prever el impacto negativo que acarrearía, para el manejo de una eventual crisis volcánica, la incertidumbre que conlleva la previsión del desenlace de un evento eruptivo sobre la confianza de la población afectada, que tendría que estar sujeta a abandonar su lugar de habitación, cada vez que se incrementen los síntomas premonitores de la actividad. La UNDRP (1995), advierte la necesidad de *considerar el número de falsas alarmas que la población está dispuesta a tolerar.*

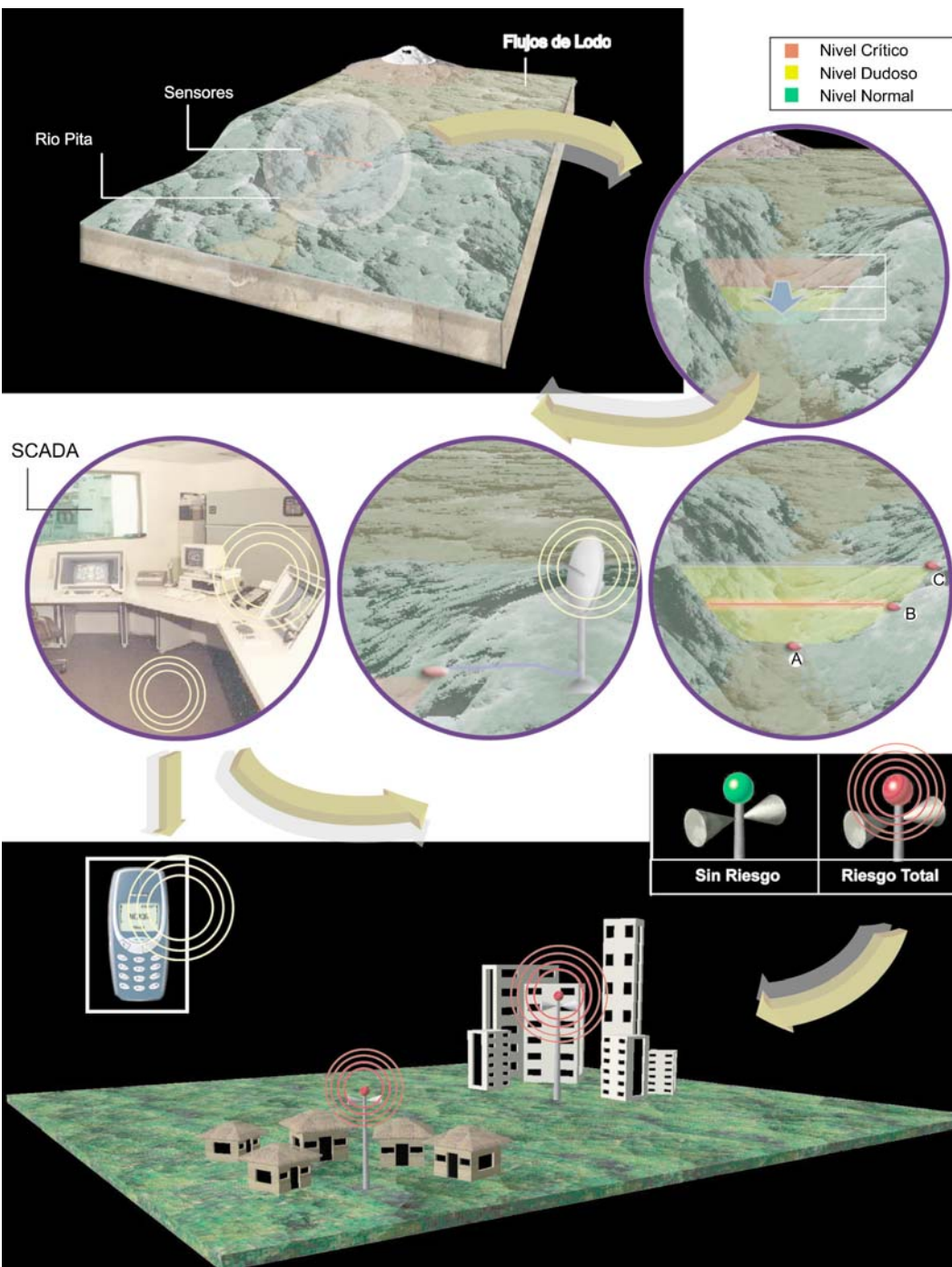
Las condiciones económicas y sociales imperantes, junto con las influencias culturales y la propia idiosincrasia popular, hacen suponer que sería muy difícil mantener una evacuación, espontánea o forzosa, de las miles de familias que habitan en las zonas de riesgo, durante los extensos períodos que puede durar el desarrollo de una crisis volcánica, dentro de los cuales, las manifestaciones visibles de la actividad pueden ser leves o inexistentes. Ante estos eventos se desarrolla automáticamente una presión social para regresar a los hogares y retomar las actividades productivas, aún cuando esta decisión resulte en franca contraposición con el código de alerta sustentado en las manifestaciones, no visibles, detectadas por los instrumentos de vigilancia volcánica. La experiencia reciente en los eventos que han afectado al País confirma tal suposición y, por lo tanto, habría que admitir que los planes de contingencia deben contemplar la posibilidad, de que la próxima erupción del Cotopaxi ocurra cuando toda la población esté dedicada a atender sus actividades cotidianas y no tranquilamente evacuada en los refugios.

Por todo lo anterior, el manejo de una emergencia volcánica constituye un verdadero reto para los responsables de salvaguardar la seguridad de la población, incluidos los líderes comunitarios, en vista de la complejidad del problema relacionado con las erupciones, que se manifiestan en muy diferentes formas y en situaciones

El sistema de alerta temprana, (SAT), debe garantizar un 100% de certeza en la identificación de un evento, de carácter irreversible, en el momento que cruza el lugar en el que se inicia el modelo numérico que simula el tránsito de los flujos de lodo. Solo así se podrían evitar las falsas alarmas, que causan un efecto devastador sobre la moral de la población.

imprevistas, para afectar, de muy distintas maneras, a un gran número de personas.

Tal como se ha explicado con anterioridad, las características del fenómeno lahárítico del Cotopaxi y la distancia que separa al volcán de los principales asentamientos humanos de las zonas de Latacunga y el Valle de Los Chillos, hacen que el tiempo de recorrido sea bastante corto; por consiguiente, se considera que la mejor y posiblemente la única alternativa, para salvaguardar la seguridad de la población, consistiría en la instalación y adecuado empleo de un **sistema de alerta temprana (SAT)**, independiente del sistema de vigilancia volcánica.



El mencionado sistema consta básicamente de una serie de componentes concatenados y redundantes para medir en tiempo real -en el perfil N°1 (PT1) del modelo numérico-, los niveles del Río Pita junto con otros parámetros necesarios para garantizar un 100% de confiabilidad. Al detectarse un nivel peligroso, que confirmaría la presencia de un lahár en movimiento, se activará automáticamente un sistema sonoro perfectamente audible, para alertar a toda la población sobre el mismo instante en el que un fenómeno irreversible ha cruzado el sitio en el que se marca el tiempo cero del modelo numérico que simula el tránsito del flujo hacia el Valle.

En vista de lo anterior, surge la necesidad de que a la gestión del riesgo se la conciba como un auténtico proceso de desarrollo comunitario, dentro del cual la población tiene que asumir el papel más importante, porque es ella la que resultará directamente afectada por cualquier evento o deci-

sión que se tome; en consecuencia, su participación debería considerarse indispensable dentro de la planificación para afrontar un posible desastre, porque será la que defina el éxito o fracaso de las acciones que se emprendan. Es también preciso que la planificación se encuentre siempre adaptada a las características culturales y sociales de cada población. La actual normativa prescinde en absoluto, de esta importante consideración.

La gestión del riesgo **G** se la puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$G = T \times V \times P$$

En la cual **T** es el trabajo técnico científico al que se le ha venido asignando una importancia preponderante; **V** la voluntad política de afrontar un posible desastre, y **P** la participación comunitaria.

Al tratarse de un producto si uno de los factores es igual a cero, se anula el resultado. **La participación comunitaria, hasta ahora muy débil o ausente, constituye la única opción para promover una voluntad política, con el respaldo de su propia capacidad de autogestión para desarrollar las acciones de mitigación y preparación, lo que podría lograrse mediante la diversificación y fortalecimiento de la estructura social de cada comunidad afectada por el riesgo.** Para lograr este objetivo, se hace necesario desarrollar un amplio y sostenido programa de capacitación comunitaria, específicamente orientado a fortalecer las capacidades locales y contrarrestar las influencias culturales y políticas que inducen a que la población mantenga una actitud pasiva o a lo sumo reactiva, frente a un problema que, en las actuales condiciones de vulnerabilidad global, exige la proactividad como la única alternativa posible para sustentar una verdadera y efectiva gestión del riesgo.

La planificación para enfrentar un desastre volcánico en el Cotopaxi se la debería articular en cuatro fases bien identificadas:

- a) Mitigación (reducción del riesgo);
- b) Preparación (elaboración y actualización de los planes para reducir los impactos);
- c) Respuesta (evacuación, ayuda de emergencia, rescate, etc.); y
- d) Recuperación en el corto, mediano y largo plazo.

"Si la gente dispone de la información necesaria, oportuna y pertinente sobre los procesos que le atañen, cuenta con un elemento indispensable para poder intervenir a favor de sus intereses".

Calendario COSUDE, 2005.

CONCLUSIONES

- Por tratarse de un volcán activo y de edad geológica muy reciente, se debe admitir, sin dilaciones, que una próxima erupción del Cotopaxi es un hecho indefectible, que ocurrirá en una fecha imposible precisarla.
- La previsión de las erupciones volcánicas puede determinar solamente probabilidades de que ocurra el evento. De esta forma, con base en una reconstrucción de la historia eruptiva de los últimos 2.000 años, se ha determinado que el tiempo que transcurre entre dos erupciones sucesivas del Cotopaxi es igual a 117 ± 70 años; por consiguiente, a partir de ahora y en el lapso de los próximos 50 años, es muy alta y siempre creciente la probabilidad de que el volcán se reactive.
- La previsión de corto plazo, que se realiza a través de las redes de monitoreo, está afectada por grandes incertidumbres derivadas de las características intrínsecas de los sistemas volcánicos, lo que hace verdaderamente imposible predecir el momento y las características de una próxima erupción, aún en volcanes muy bien vigilados, con todas las tecnologías disponibles. Así se explica el fracaso estrepitoso de las técnicas de predicción de las erupciones que, en los últimos años, ha constatado la comunidad científica internacional.
- La reactivación volcánica es un proceso de duración y culminación incierta y, por ello, los períodos de alerta naranja y alerta roja, en los cuales se debe evacuar a los habitantes de las zonas de riesgo, pueden llegar a extenderse durante varios meses, lo que originaría una grave crisis social y económica, antes de que ocurra la erupción volcánica con todos sus efectos destructivos.
- Los peligros relacionados con una erupción del Cotopaxi son, básicamente, los siguientes:
 - caída de cenizas; flujos piroclásticos, y lahares.
- La caída de cenizas ha sido, hasta ahora, un peligro que se lo ha subestimado, toda vez que no se ha tomado en cuenta sus probables impactos sobre el tráfico aéreo y la eventual necesidad de suspender, por un lapso indeterminado, la operación de los aeropuertos de Quito, Guayaquil y Manta, además del colapso de techos inestables y destrucción de floricultivos.
- A lo largo de la historia eruptiva del Cotopaxi, los lahares han sido los fenómenos más destructivos y recurrentes, derivados de la actividad volcánica.
- Todos los drenajes naturales que se originan en el cono volcánico, constituyen rutas preferenciales para el tránsito de los lahares y, por consiguiente, el escenario de afectación por este fenómeno se extiende a las cuencas hidrográficas del Esmeraldas (Sangolquí, San Rafael, Cumbayá, Guayllabamba), por el norte; del Pastaza (Lasso, Latacunga, Salcedo y Patate), por el sur; y, del Napo (La Serena, Puerto Napo, Misahuallí, El Ahuano), por el este.
- En los últimos 471 años, que cubre el período histórico, la actividad volcánica del Cotopaxi ha generado, por lo menos, diez (10) eventos destructivos de lahar. Por consiguiente, es preciso reconocer que no se trata de eventos puntuales, sino, por el contrario, extensibles a un lapso de varios años que normalmente duran los episodios volcánicos.
- Los lahares del Cotopaxi necesitan un tiempo muy corto (alrededor de media hora) para recorrer la distancia que separa al cono volcánico de los primeros asentamientos humanos consolidados en las cuencas norte y sur; Sangolquí, Selva Alegre, San Rafael y Mulaló.

RECOMENDACIONES

- En un lapso temporal tan estrecho, la única alternativa posible para alertar a la población en procura de salvaguardar sus vidas, es un sistema de alerta temprana infalible, independiente del sistema de monitoreo volcánico y fuertemente apoyado en un plan comunitario de gestión del riesgo, que incorpore las obras de mitigación.
- Algunas obras de infraestructura de importancia estratégica para la vida de la población, como los sistemas de aprovisionamiento de agua potable para el sur de Quito (Pita-Tambo, Mica-Quito Sur) y de Mulaló, están completamente expuestos al peligro de los lahares y, por consiguiente, quedarían destruidas en el lapso de pocos minutos y, con ellas, la posibilidad de abastecer del líquido vital, durante varias semanas o meses, a cientos de miles de personas, lo que hace imprescindible la oportuna planificación y construcción de obras de protección, que no pueden esperar hasta cuando se presenten síntomas visibles de la actividad volcánica.
- La gestión del riesgo debe ser concebida como un auténtico proceso de desarrollo comunitario, dentro del cual la población tiene que asumir un papel protagónico.
- La planificación de la emergencia debería adaptarse específicamente a las características culturales, sociales y económicas de la población afectada, bajo un sistema organizativo capaz de garantizar el cumplimiento de tres atributos indispensables: especialización, coordinación y sinergia.
- Las organizaciones involucradas (científicas, técnicas, protección civil, organismos de socorro, comunidad, agencias internacionales) deberían identificar su propio campo de acción, sin pretender extenderse a cubrir otros que no son de su responsabilidad y, mucho menos, de su especialidad.
- La mejor alternativa para promover el cumplimiento de esta importante aspiración, indispensable para conducir eficientemente la gestión del riesgo volcánico del Cotopaxi, consistiría en organizar una “Fuerza de Tarea” (Task Force) de carácter nacional, multidisciplinario e interinstitucional, para que aborde, con eficacia, las tareas inherentes a las fases de mitigación y preparación.
En este grupo deberían involucrarse directamente: la Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES), los gobiernos locales de las zonas afectadas, la Defensa Civil, el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, las organizaciones comunitarias, los gremios profesionales, las Fuerzas Armadas y, las universidades y escuelas politécnicas.

ERUPCIONES HISTÓRICAS DEL VOLCÁN COTOPAXI

AÑO	DESCRIPCIÓN
1532	Las crónicas históricas se contradicen en cuanto a la fecha de la primera erupción histórica del volcán que pudo haber ocurrido en 1533 (Ref: 3-12).
1534	En junio o julio de aquel año, el Cotopaxi reinició su actividad, interrumpida durante un tiempo indeterminado, con violentas explosiones, la formación de una columna de humo y la caída de cenizas y piedras. También se reporta, por primera vez, la destrucción de un poblado por la acción de un lahar (...) "En aquel tiempo se derritió la nieve de una de aquellas sierras que hundió y anegó a un pueblo que se llamaba La Contiega" (Ref: 3-9-11).
1742	El 15 de junio se inició un nuevo período de actividad del volcán, que duraría 26 años y causaría "la devastación y el empobrecimiento de la provincia de Latacunga". (Ref: 12) La erupción del 15 de junio de 1742 fue observada, desde la cima del Guagua Pichincha, por La Condamine; produjo frecuentes detonaciones audibles en Quito y un oscuro penacho de humo y cenizas sobre la cima del Cotopaxi. (Ref: 6). El 9 de diciembre del mismo año, ocurrió una segunda erupción, más fuerte que la primera. La actividad produjo "avenidas de agua y lodo", por efecto de la fusión de los glaciares, que se encañalaron, hacia el sur, por el río Cutuchi y causaron graves daños a la ciudad de Latacunga (Ref: 3-12).
1743	Entre septiembre y octubre, continúa manifestándose la actividad explosiva del volcán, con caída de cenizas y actividades efusiva, aunque en realidad, bien pudo tratarse de flujos piroclásticos (Ref: 3).
1744	El 30 de noviembre, el volcán volvió a emitir flujos de "lava", en varias direcciones, que originaron lahares que inundaron: el Valle de Chillo; el Río Cutuchi, y el el río Napo, al este. Oscuridad en la Provincia de León. (Ref: 3 -12).
1766	El 10 de febrero, se produjo una actividad con la emisión de flujos piroclásticos que originaron lahares. Abundantes piroclastos, según se desprende de la caída de lapilli grueso en Tanicuchí (Ref. 15).
1768	El 2 de abril comenzó la erupción con una fortísima explosión seguida del lanzamiento de piedras y material incandescente. También abundantes cenizas que "cambiaron en noche al día recién iniciado". La lava emergió del cráter originando lahares que volvieron a devastar los valles de Chillo y Latacunga causando víctimas e ingentes daños materiales. La ciudad de Latacunga fue, otra vez, gravemente afectada. En Tumbaco se destruyó un puente por efecto de lahar, que tomó una hora y media en llegar hasta ese sitio (Ref: 1-12).
1803	En enero de 1803 ocurrió una nueva erupción, bastante intensa, caracterizada por coladas de "lava" y lahares. Se escucharon detonaciones en Guayaquil (Ref: 4-9-11).
1845	Es poco conocida la actividad de este año, salvo una referencia aislada de Humboldt (Ref: 4).

AÑO	DESCRIPCIÓN
1851	Idem (Ref: 13)
1853	Esta erupción, mas fuerte que las anteriores, produjo, además de la caída de cenizas y formación de lahares, una colada de lava a lo largo de la pendiente oriental del cono, que se bifurcó en la parte inferior. Dicha colada la utilizó Reiss, como camino, para su ascensión al cráter en 1874, y es la única de edad histórica y gran tamaño (Ref: 5-8).
1855	La información es bastante imprecisa (Ref: 3 - 11).
1856	En octubre, noviembre y diciembre se produjo caída de cenizas (Ref: 3 -11).
1863	Pequeños flujos de lava que habría observado el Dr. Stubel (Ref: 11).
1866	Idem
1877	Es la mayor erupción del período histórico del Cotopaxi. Existe una información muy detallada, que permite reconstruir con precisión su fenomenología eruptiva. La actividad empezó a manifestarse desde inicios de aquel año, con varias explosiones y la emisión de cenizas, hasta el 26 de junio, a las 10 de la mañana, cuando se produjo la erupción paroxismal con la emisión de flujos piroclásticos que fundieron el hielo glacial y originaron grandes lahares que transitaron por todas las vertientes naturales, causando cuantiosas pérdidas económicas y, alrededor, de 1.000 víctimas (Ref: 9 - 11).
1880	Emisiones de ceniza, efusión de pequeñas coladas de lava y formación de lahares de pequeño volumen. (Ref: 3) A las 5:40h del 3 de julio comenzó la erupción observada por Whympner E., desde el Chimborazo. "... a las 5:45 principió a levantarse una columna negra como de tinta, que subió derecho en el aire, con una velocidad tan prodigiosa, que en menos de un minuto se había levantado a más de 20.000 pies sobre el borde del cráter".
1883	Idem (Ref: 3).
1885	Idem. Según Pedro Pino, escribano de Latacunga, el 7 de junio se produjo un "aluvión de tierras" (Ref: 1 - 3).
1903	Pequeña erupción con emisiones de "lavas" y lahares de escaso volumen (Ref: 3).
1904	Idem (Ref: 3).
1906	Actividad explosiva en el cráter, emisión de bombas, lapilli y ceniza gruesa con la formación de una "inmensa columna". Lluvia de ceniza en Callo (Ref. 3-7).
1912	En febrero y marzo, pequeñas pero muy frecuentes explosiones y en mayo, una columna de humo y gases (Ref: 3 - 7).
1942	Aunque se admite que la última erupción corresponde a la de 1904, hay noticias sobre un evento eruptivo que se habría presentado en febrero de 1942, con la emisión de lava desde el cráter, después de esporádicas explosiones que se manifestaron entre 1922 y 1940 (Ref: 2-3).

Referencias sobre las erupciones históricas

1. ALMEIDA, E., (1994): Flujos de Lodo del Volcán Cotopaxi. Revista Geográfica (I.G.M.) No. 34, Quito, pp 153-162.
2. HANTKE G., (1951): Uebersicht ueber die vulkanische Taetigkeit 1941 1947. Bull volc. II/IX 1951, pp 173.
3. HANTKE G. y PARODI I., (1966): Catalogue of the active volcanoes and solfatara fields of Colombia, Ecuador and Peru, IAVCEI, Roma, pp 40-46.
4. HUMBOLDT A.V., (1858): Kosmos IV, Berlín
5. KARSTEN H., (1873): Ueber lavastroeme des Tunguragua and Cotopaxi. Zeitschr. d.Dt. Geol. Ges. 25, pp 568-572.
6. LA CONDAMINE, Ch., (1751): Diario del Viaje al Ecuador, pp 132-133.
7. MARTINEZ N.G., MENA E.L., (1931): Exploraciones y estudios efectuados en el Cotopaxi y en el Pichincha. Imprenta Nacional. Quito.
8. REISS W., (1874): Ueber Lavastroeme des Tunguragua and Cotopaxi. Zeitschr. d.Dt. Geol. Ges. 26, pp 907-927.
9. SODIRO L., (1877): Relación sobre la erupción del Cotopaxi acaecida el día 26 de junio de 1877. Quito pp.41.
10. STUBEL A., (1903): Karte der vulkanberge Antisana, Chacana, Sincholagua, Quilindaña, Cotopaxi, Rumiñahui und Pasochoa. Leipzig.
11. WOLF T., (1878): Memoria sobre el Cotopaxi y su última erupción. Imprenta El Comercio, Guayaquil, pp.48.
12. WOLF T., (1904): Crónica de los fenómenos volcánicos y terremotos en el Ecuador, pp 120.
13. VILLAVICENCIO M., (1858): Geografía de la República del Ecuador, New York.
14. WHYMPER E., (1994): Viajes a través de los Majestuosos Andes del Ecuador. Ediciones Abya-Yala. Quito, pp. 321.
15. CEDULARIO DE LATACUNGA. Sin fecha, autor anónimo.

REFERENCIAS:

- Aguilera E.; El Riesgo Volcánico del Cotopaxi. EDIESPE, Sangolquí, Ecuador, 2004. pp.12
- Aguilera E., Pareschi M.T., Rosi M., Zanchetta G.; Risk from Lahars in the Northern Valleys of Cotopaxi Volcano (Ecuador). Natural Hazards 33: 161-189, 2004. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Almeida E., Flujos de lodo del Volcán Cotopaxi, Revista Geográfica No. 34. Instituto Geográfico Militar, Quito 1995.
- Araña V. y Ortiz R.; El Riesgo Volcánico. [www. icodelosvinos.com/volcan](http://www.icodelosvinos.com/volcan)
- Barberi F., Macedonio G., Pareschi M.T.; Numerical Simulation of past lahars implication for hazard assesment. Internacionl Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation, Napoli - Italia, 1991.
- Bagnold R.A.; Experiments on gravity-free dispersion of large solid sphere in a Newtonian fluid under shear. Proc. Royal Society of London, 225A, 1954.
- Castro M. et al.; Uso del Modelo HEC-1 para el estudio de los lahares del volcán Cotopaxi. Politécnica Revista de Información Cient. No. 3 Quito. 1992.
- Cummins J.; Mudflows resulting from the may 18, 1980 eruption of Mt. St. Helens, Washington. U.S. Geological Survey Profesional Paper 1250, 479, 486, 1981.
- Hantke G. y Parodi I.; Catalogue of the Active Volcanoes and Solfatara Fields of Colombia, Ecuador and Peru. International Association of Volcanology, 1966.
- INECEL, Asociación de Cías, Consultoras del Proyecto Coca Codo Sinclair, Estudio Vulcanológico de El Reventador, 1988.
- INECEL, Proyecto Hidroeléctrico San Francisco; Estudio Complementario de Vulcanología, Quito, 1992.
- Martinez N.; Exploraciones y Estudios Efectuados en el Cotopaxi y en el Pichincha. Observatorio Astronómico de Quito. Imprenta Nacional. Quito, 1932.
- Pareschi M.T.; Física de los lahares y simulación numérica. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, 1994.
- Pierson T.C.; Initiation and flow behavior of the 1980 Pine Creek and Mudy River lahars. Mount St. Helen, Washington. Geol Soc. Am. Bull., 96, 1985.
- Sodiro; Relación sobre la erupción del Cotopaxi acaecido el día 26 de junio de 1877. Imprenta Nacional, Quito, 1877.
- Sparks R.S.J.; Forecasting Volcanic Eruptions. Earth and Planetary Science Letters 210 (2003) 1-15.
- Swanson, D.A. et al.; Forecast and prediction of eruptive activity at Mount St. Helens, Washington (USA), 1975-1984: Jour. Geodynamics 3:397-423 (1985)
- Toulkeridis y Aguilera, 2004, Chile.
- USGS; <http://vulcan.wr.usgs.gov/home.html>
- Wilches-Chaux G.; La Vulnerabilidad Global. "La Red", Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 29 pp.
- Wolf T., Memoria sobre el Cotopaxi y su última erupción acaecida el 26 de junio de 1877. Imprenta del Comercio, Guayaquil, 1878.
- Wolf T., Crónica de los Fenómenos volcánicos y terremotos en el Ecuador, Quito, 1873.

Anexo 1

ACTIVIDAD HISTÓRICA DEL COTOPAXI

El Cotopaxi es uno de los volcanes más activos del Ecuador y, por lo tanto, existe un apreciable número de crónicas históricas que datan del tiempo de la conquista española. La mayoría de ellas fueron recopiladas por Hantke y Parodi (1966), Hradecka et al. (1974), Hall (1977), Simkin et al., (1981), Barberi et al., (1995). Las crónicas confirman que en los últimos 471 años han ocurrido 4 episodios laharíticos de grandes dimensiones; 1534, 1742-1744, 1768 y 1877-1885.

Las crónicas de Sodiro (1877) y Wolf (1878) presentan datos sobre algunos lahares históricos del Cotopaxi. Adicionalmente, existen testimonios de eventos laharíticos anteriores a la conquista española, que habrían causado muerte y destrucción entre la población indígena (Cieza de León, Agustín de Zárate, citados en Wolf, 1878). Agustín de Zárate menciona a un pequeño pueblo, denominado "La Contiega", que fue alcanzado por la onda de crecida de un flujo de lodo. Desafortunadamente, hasta ahora no ha sido posible determinar su ubicación pero, no obstante, éste sería el primer asentamiento humano destruido por un lahar del Cotopaxi, del que se tiene referencias en la historia del Ecuador.

A pesar de que se conoce poco sobre el lahar de 1534, las crónicas mencionan una "lluvia de cenizas" que afectó al pequeño ejército de Pedro de Alvarado, que se encontraba movilizándose por el pie de la Cordillera Occidental (Wolf, 1878). Según el mismo autor, la población indígena que resistía a los conquistadores interpretó este fenómeno natural como una señal contraria a esa causa. Agustín de Zárate describió la actividad como "*una corriente de agua y piedras*".

En 1742 ocurrieron dos eventos laharíticos, descritos por Pedro Muñoz de Chamorro, escribano de Latacunga, quien advirtió la enorme fuerza destructiva, cuando menciona puentes destruidos y molinos invadidos por los torrentes de lodo y piedras.

Wolf (1878) describe a estos episodios como "una enorme lluvia de arena y ceniza", a la cual siguieron "grandes avenidas de agua y lodo" que, dirigiéndose a lo largo de los valles que nacen en el volcán, devastaron todo lo que encontraban a su paso. El mismo autor sostiene que a partir de 1742 y por la actividad del Cotopaxi, comenzó la decadencia de la provincia de León, o Latacunga, antes muy rica y fértil.

En 1744 ocurrió una erupción explosiva, tipo 1877, con fusión del glaciar y la formación de lahares

destruyeron que afectaron a las tres principales cuencas hidrográficas que drenan al cono del Cotopaxi (Pita, Cutuchi y Napo). Existen crónicas que reseñan los daños causados por dichos flujos de lodo; el pueblo de Napo fue alcanzado y destruido después de seis horas del inicio de la erupción. En la ciudad de Latacunga se afectó el Colegio de la Compañía de Jesús (actualmente Vicente León) y la Plaza Mayor de la ciudad.

En 1766, los flujos de lodo desencadenados por una erupción inundaron la planicie de Latacunga y acumularon tal cantidad de materiales, que el Río Aláquez fue obligado a cambiar el curso, a pesar de que no sobrepasó los niveles máximos de 1744 (Almeida, 1994).

La erupción explosiva del 4 de abril de 1768 estuvo caracterizada por una lluvia inicial de bombas que provocó algunas víctimas en Mula-ló. Después continuó manifestándose con una lluvia de cenizas y lapilli. La lava emergió del cráter originando lahares que volvieron a devastar los valles de Chillo y Latacunga, causando ingentes daños materiales y víctimas. La ciudad de Latacunga fue, otra vez, gravemente afectada. En Tumbaco se destruyó un puente, por efecto del lahar que se tardó una hora y media en llegar hasta ese sitio. En la cuenca del Cutuchi, nuevamente cambió el curso del Río Aláquez.

La erupción de 1853 produjo, aparte de la caída de cenizas y la formación de lahares, una colada de lava que se desplazó sobre la pendiente oriental del cono y se bifurcó en la parte inferior. Esta colada es la que utilizó Reiss como ruta para su ascensión al cráter, en 1874. Un viajero alemán, H. Karsten, que se encontraba de paso, también describió esta erupción (Wolf, 1878). Según Sodiro (1877), se tienen noticias sobre tres lahares desencadenados por ella en el mes de septiembre; uno de ellos, el del día 13, está descrito por el Gobernador de la Provincia en un informe remitido al Gobierno Central, en el que reporta la inundación de la planicie de Latacunga.

Entre 1855 y 1866 se habrían verificado, por lo menos, cuatro erupciones pequeñas que no están muy bien descritas en las crónicas.

Después de la gran erupción de 1877, en el período 1878-1885, ocurrieron varias pequeñas erupciones explosivas con flujos piroclásticos, flujos de lava y pequeños flujos de lodo.

Anexo 2

LA ERUPCIÓN Y FLUJO DE LODO DE 1877

En consecuencia, parecería que después de 1885, aparte de la erupción no verificada de 1942, el Cotopaxi ha permanecido inactivo hasta el presente. El 26 de junio de 1877 ocurrió la erupción histórica más importante y mejor conocida, de las que ha presentado el volcán. Si se toma en cuenta que una erupción de características similares es la que se puede esperar, como máximo, para una próxima reactivación, es interesante analizar, a la luz de la información histórica, la forma como se desarrolló el evento y los escenarios comprometidos.

Desde el inicio de aquel año se manifestaron varias señales precursoras, como la aparición de una densa columna de humo y explosiones profundas que causaron gran sobresalto. El 21 de abril, entre las 7 de la mañana y 10 de la noche, ocurrió el primer episodio eruptivo que no causó daños, en vista que sus efectos estuvieron solamente restringidos a la periferia inmediata del cono. La actividad explosiva continuó intermitentemente hasta el 25 de junio, cuando después de una fuerte explosión, se levantó del cráter una columna de humo negro y cenizas que se expandió por la atmósfera. Al día siguiente, al las 6:30 de la mañana, se reinició una fuerte actividad explosiva con la formación de una columna de cenizas.

A partir de las 10 de la mañana del mismo día, el volcán entró en la fase paroxismal de la erupción; *"...la lava ígnea del cráter del volcán entró en eferescencia y ebullición lanzándose con una rapidez extraordinaria sobre los flancos del cono"*.

Los habitantes de la zona describieron la actividad en la siguiente forma, recogida por T. Wolf, (1878):

".. una masa negra (la lava) brotaba humeante y con gran turbulencia simultáneamente sobre todo el rededor del cráter como la espuma que, de una olla de arroz colocada sobre el fuego, comienza de un imprevisto a hervir y rebosar...".

Esta descripción, tremendamente gráfica, corresponde a la formación de flujos piroclásticos densos, que vierten por los bordes del cráter, sin que exista un colapso de columna, a los que se les denomina "boiling over". En la actualidad, la literatura vulcanológica mundial los ha tomado como

un ejemplo clásico de este tipo particular de actividad volcánica (Cass y Wright, 1987).

Sodiro (1877) y Wolf (1878) realizaron una prolija descripción del evento en sí, al igual que de los daños causados. Por la cuenca sur, el flujo llegó a Latacunga en menos de una hora y, por la cuenca norte, en el mismo tiempo, a Alangasí, Guanguopolo y Conocoto, que quedaron cubiertos por arena y piedras.

".. Eran inmensos raudales de agua con enormes masas de hielo, lodo, piedras y peñascos que con ímpetu inconcebible se precipitaban del cerro. A poco rato brotaban ya de las grandes quebradas del austro-occidental arrancando árboles, destruyendo casas y arrebatando consigo ganados, personas y cuanto encontraban en su curso..." (Sodiro, 1877).

Al describir el movimiento de los flujos de lodo, Wolf (1878) indica que: *"(...) las aguas duplicaron su volumen y fuerza por las sustancias sólidas que recibieron cuales son peñascos y trozos de hielo, pedazos de lava nueva, piedra pómez, escorias menores, etc. (...)"*.

" (...) Al lado derecho del río Cutuchi, pocos minutos al norte del puente de Latacunga, se halló el establecimiento y obraje del señor Villagómez, uno de los mejores que había en el país y provisto de una maquinaria magnífica; de todo ello no quedó vestigio y se calcula el daño de esta propiedad en 300.000 pesos. Solo en la parroquia de Mulaló fueron devastadas ocho haciendas grandes y hermosas tan completamente, que de algunas apenas se reconocen los sitios en donde estuvieron, muchas otras han sufrido perjuicios tan graves, sobretudo por la destrucción de las acequias, que han perdido la mitad de su valor. La hermosa carretera fue destruida en gran parte desde Callo hasta Latacunga y aún algunas leguas más debajo de la ciudad; todos los puentes han desaparecido".

"La circunstancia de que la terrible catástrofe sucedió de día y antes que ocurriera la oscuridad total, fue de provecho a muchas personas, pues pudieron salvarse y refugiarse en las alturas circunvecinas, sin embargo a muchas otras cedió en desgracia, porque precisamente en aquella hora la carretera y el camino viejo de Latacunga a Callo estaban lle-

nos de traficantes, sobretudo de arrieros con sus recuas" (...). Esta descripción ilustra la actitud natural de una comunidad que, al cabo de varios meses de haber contemplado las manifestaciones visibles del desarrollo de la crisis volcánica, sin que se produzca el desenlace, pierde completamente la percepción del peligro, lo ignora, y concentra su atención en el trabajo cotidiano.

Los daños entre el Cotopaxi y Latacunga fueron descritos por Sodiro (1878), en la siguiente forma: (...) *"Todo este trecho cuya extensión se puede valorar en casi cinco leguas de longitud y una de ancho, se halla reducido a una vasta pampa llena de cubierta de barro, de cascajo y de piedras. Los caseríos que se hallaban diseminados en esta grande planicie, en gran parte destruidos; mucho número de personas y casi todo el numeroso ganado, arrebatado por la corriente; las sementeras, parte recientes y parte ya en estado de ser cosechadas, han sido todas ó arrasadas ó sepultadas" (...).*

Al referirse, en particular, a la cuenca norte, la descripción continúa como sigue:

"...Verdad es que por las quebradas del lado norte y noreste bajaron cantidades de agua, lodo y piedras tan considerables y aún más grandes que por las del lado de Latacunga, pero la mayor parte de los materiales y los más gruesos se depositaron en la altura de los páramos, en las llanuras de Limpiopungo, de Saltopamba y del Mutadero..."

"... El Río Pita corre desde su reunión con el río Pedregal encajonado en una quebrada profunda hacia el Valle del Chillo. Pero al entrar en las llanuras espaciales se dividió en algunos brazos y devastó horriblemente ese ameno valle, que bien podría llamársele el vergel de Quito..."

"...Después de haber bajado del volcán y recorrido la grande planicie que media entre éste y el punto llamado Llavepungo, la avenida se hallaba encajonada en el profundo cauce del Río Pita, entre los dos cerros Pasochoa y Sincholagua, y habría debido seguir en él, en cuyo caso los daños habrían sido mucho menores; pero llegando al sitio llamado La Caldera, a donde el cauce forma un recodo, por el ímpetu con que venía, una gran parte de ella saltó la orilla izquierda, que en aquel punto es bastante baja tomando la dirección de Pilloco y Sangolquí, encañalada en el río Cunungyacu (o de San Rafael) ...". (Sodiro, 1877).

Refiriéndose a los daños en el Valle de Los Chillos, Wolf dice que: *"...El daño principal que hizo por este lado consiste sin duda en la completa destrucción de dos máquinas para hilados y tejidos pertenecientes a los señores Aguirre y situadas en su hacienda Chillo. Los perjuicios de los propietarios se calculan en 200.000 pesos. Los valles de Tumbaco y de Guayllabamba participaron de las devastaciones del de Chillo. A las 4 de la mañana siguiente, es decir, 18 horas después del principio de la catástrofe, llegó la avenida en forma de una creciente del río Esmeraldas al Océano Pacífico. El nivel del anchuroso río se levantó en algunos pies y los cadáveres, pedazos de casas, muebles de toda clase, palos, árboles etc. que flotaban en el agua turbia, anunciaron a los habitantes del Litoral la desgracia que había sucedido a sus hermanos del interior..."*

El impacto que causó el flujo de lodo sobre el Valle de Los Chillos fue tan intenso que, aparte de los graves estragos económicos derivados de la destrucción de los molinos, sembríos, puentes, caminos, acequias, etc., apareció un problema inédito, atribuible a la intensa modificación de la red de drenaje; una epidemia de paludismo que afectó a los habitantes de Alangasí, a partir de septiembre de 1877. En abril de 1878 se continuaban presentando *"...estragos de una mortandad, más de 100 enfermos que sufren fiebre y fríos."* (Archivo Nacional, Gobernación de Pichincha 1877- 1878).

En la vertiente oriental, cuenca del Río Napo, también se produjeron estragos, que los refiere el Gobernador de la Provincia de Oriente, en un Informe fechado el 20 de julio de 1877:

"... El día martes 26 de Junio a la una de la tarde, poco mas o menos, se oyó un bramido de volcán; media hora después un ruido como de carruaje, y hora y media después se presentó la creciente, la que era puro lodo, y vino asolando cuanto encontró.

Como desde el momento en que se oyó el ruido con que bajaba, oscureció la atmósfera, no se pudo distinguir lo que llevaba sobre las palizadas.

Finalmente dejó de crecer a las cinco de la tarde, y se aclaró como media hora, y después volvió a oscurecer de manera aterrante, resultando una lluvia de tierra, que duró hasta el amanecer del día siguiente.

Así que calmó un poco la creciente, pude descubrir que los indios que poblaban las cabeceras del río, han sido arrebatados con sus casas y sembríos de los cuales han salvado dos hombres y una mujer entre las palizadas; el uno bajó como una milla, y el otro dos, y la mujer con su criatura. Hasta hoy solo se nota la falta de veinte y siete personas entre hombres, mujeres y niños. Del puerto del pueblo se ha llevado doce casas, con muy pocos trastos. Así que rebajó un poco más, se ha encontrado una mula, cuatro caballos y seis cabezas de ganado.

Este particular da a conocer que hay alguna hacienda inmediata al río Napo. Con este motivo he resuel-

to hacer una explicación, así que entre el verano, que será el mes de Septiembre; pues ofrece mucha facilidad, porque la creciente ha pasado desmontado las playas, y pocos seran los obstaculos que haya que vencer; de suerte que no es difícil encontrar el sitio de donde arrebató las bestias y el ganado.

De los pueblos de abajo no he podido saber nada por falta de canoas, de indios y principalmente porque se conserva crecido el río. En este momento llegó un indio que estaba en las Zaparías del Sarayacu, y da razon que el río Pastaza creció más que el Napo, y que sus playas se encontraron cuerpos despedazados de gente blanca, bestias y ganado en abundancia." (Quesada, 1877).

