

Primera Versión
Informe Preliminar de Investigación referente a (1) Desastres de Flujo de Escombros en el Volcán de San Vicente Nov. 2009, y (2) Riesgo a Flujo de Escombros en el Volcán de San Salvador, El Picacho.

Enero 25, 2010

Por

Hiroshi FUKUOKA

Profesor Asociado
Centro de Investigación sobre Deslizamientos
Instituto de Investigación para la Prevención de Desastres
Universidad de Kyoto

Contenido

1. Programación de Actividades
2. San Vicente
3. El Picacho
4. Otros Deslizamientos

1. Programación de Actividades

- Enero 15: discusión con Protección Civil y demás instituciones
- Enero 16: investigación desde helicóptero
- Enero 18: investigación de campo del flujo de escombros proveniente del deslizamiento del volcán de San Vicente
- Enero 19: investigación de campo del deslizamiento del 2008 en El Picacho

2. Volcán San Vicente

(1) Ciudad Guadalupe

Se pudo observar gran cantidad de escombros depositados a través de la observación por helicóptero. Los bordes de las quebradas fueron devastados al paso del flujo de escombros, provocando su erosión y ensanchamiento. Es visible que muchos de los escombros aún se encuentran depositados a lo largo de las quebradas.

La parte media y baja de la ciudad fue severamente afectada; puentes y otras rutas de acceso importantes fueron destruidas. Especialmente la parte baja de las quebradas puede ser nuevamente afectada por flujos de escombros y torrentes de lodo recurrentes en la próxima temporada lluviosa.

En la parte alta del caudal del flujo de escombros se observaron numerosos deslizamientos. En el flanco oeste, el cual fue nombrado Zona de Deslizamientos #1, se pudo observar tres grandes deslizamientos. Estos recientes deslizamientos fueron inducidos por la lluvia torrencial de Noviembre 2009, y por ello no son visibles a través de Google Earth Imagery. Estos deslizamientos se unieron con el caudal de las quebradas y se convirtieron en flujos de escombros. Este es un tipo de fenómeno recurrente y ese tipo de transición es conocido como "deslizamiento de escombros a flujo de escombros". Se encontraron depósitos de escombros no sólo en la cabeza de los deslizamientos, sino también en las áreas de origen y a lo largo de las quebradas. Estos depósitos se encuentran en condiciones altamente inestables y pueden ser movilizados por futuras precipitaciones hasta convertirse en otra serie de flujos de escombros o en menor escala, de flujos de lodo. A pesar de que a través de Google Earth no se encuentran señales evidentes, especialmente a la altura media del deslizamiento B, se pudo encontrar pruebas de dos valles o surcos subterráneos y la existencia abundante agua subterránea, mediante la presencia de tierra de café rojizo en el área de investigación.

Es probable que los residentes locales que trabajan en esta área en las plantaciones de café, sean capaces de localizar señales tempranas de posibles deslizamientos, como grietas, árboles inclinados, cambios bruscos en el apareamiento de nacimientos de agua subterránea, entre otros. Recomiendo que se lleve a cabo un proceso de entrevista con los residentes locales para identificar posibles señales previas a que ocurrieran los deslizamientos A, B Y C de la zona de deslizamiento #1.

El área de origen del deslizamiento A muestra claramente como los escombros se deslizaron sobre una superficie de lava lisa e inclinada. También se observó superficie de lava en el deslizamiento B, junto con gran cantidad de restos de escombros en las áreas de origen de los deslizamientos B y C. Se pudo observar numerosas grietas ya en desarrollo entre los escombros remanentes, y pequeñas porciones de estos remanentes han comenzado a degradarse. Por lo tanto aumenta la posibilidad de que en la próxima temporada lluviosa esta masa de material sea movilizada hasta llegar a calidad de fluidos.

Se tomaron muestras de suelo a la altura media del deslizamiento B donde en mi opinión se inició el movimiento de deslizamiento. Al momento de tomar las muestras de suelo se observó que la tierra presentaba humedad a pesar de estar actualmente en temporada seca. Esto significa que el agua sigue abasteciendo esta área debido a la estructura geológica subterránea.

Las muestras de suelo tomadas serán sometidas a pruebas de corte de anillo en el Laboratorio de la Universidad de Kyoto en Japón, bajo condiciones de control de presión de agua, las cuales pueden reproducir las condiciones experimentadas por el proceso de origen del deslizamiento inducido por las lluvias torrenciales. Es común en Japón que se originen lluvias torrenciales focalizadas en áreas específicas al final de la temporada de lluvias (Bai-U, Junio - Julio). El caso de las lluvias de noviembre 2009 en El Salvador fue igual. El suelo superficial había retenido abundante agua subterránea y presentaba alta susceptibilidad a ser movilizada en calidad de fluido para convertirse en deslizamiento de escombros y flujos de escombros.

Las quebrada en las cuales se encausaron los deslizamientos de la zona de deslizamiento #2, ya estaban erosionadas antes de las lluvias torrenciales de noviembre 2009. Durante la investigación de campo se pudo observar que el área de origen había sufrido expansión y numerosos escombros ya estaba depositados. En el lecho de la quebrada se pudo observar superficie de lava plana, lisa e inclinada, que está expuesta a plena vista. Esta es la misma condición encontrada en deslizamiento A de la zona de

deslizamientos #1. Así también se observaron numerosos restos de escombros inestables.

Se contó con la importante participación de residentes locales quienes guiaron la visita de campo en la zona de deslizamiento #2. El guía manifestó que la cara rocosa vertical que está localizada en la parte superior del punto de origen del deslizamiento apareció después del terremoto de enero de 2001. A pesar de que no se pudo llegar hasta ese punto debido a la dificultad de acceso para escalar, se pudo observar varias grietas verticales. Según las declaraciones de este residente hay una fuerte tendencia a pensar que el flanco superior del volcán ya estaba fracturado por el terremoto y esa fractura comenzó a alimentar la acumulación de escombros que fueron arrastrados en la quebrada. Posiblemente en la pasada lluvia de noviembre, esas grietas en el talud provocaron varios deslizamientos y depositaron muchos escombros en el lecho de las quebradas donde se dieron los deslizamientos de la zona #2.

En la ciudad de Verapaz, donde 25 personas perdieron la vida, se pudo entrevistar a algunos sobrevivientes locales:

- Testigos mencionaron que hubo un corte de energía eléctrica a medianoche.
- Primero se dieron pequeños deslizamientos rápidos arrastrando ramas de árboles.
- Después llegaron flujos de lodo y finalmente el flujo de escombros del deslizamiento impactó la ciudad.
- Entre las 25 víctimas, 24 eran mujeres y 1 era un adulto mayor.
- Los residentes sintieron un fuerte temblor antes de la llegada del flujo.

Desafortunadamente el periodo más pronunciado de la lluvia ocurrió a medianoche, y el corte de electricidad retrasó la comprensión de los pobladores de la situación de riesgo, así como retrasó la evacuación. En Japón, la mayoría de los habitantes de zonas propensas a flujos y deslizamientos saben que ***"la disminución repentina del nivel del agua de un río o quebrada, aún cuando está lloviendo fuertemente, es señal de que se ha formado una bloqueo en la parte alta y por eso existe un gran riesgo de un flujo de escombros"***.

Los temblores producidos por deslizamientos pueden ser sentidos por la población antes del impacto, y en ocasiones, también se puede sentir ráfagas de viento fuertes y repentinas, sobretodo en el caso de deslizamientos que arrastran una masa densa de material. En Japón, usualmente se colocan en las quebradas cables sensores de flujos de escombros, equipados con sismómetros en algunos casos, con el propósito de emitir alertas, combinando estos sensores con sirenas que avisan a la población la necesidad de evacuación.

Mi recomendación para los residentes y para los expertos de esta área en El Salvador, en relación a los futuros riesgos que pueden producirse por la próxima temporada de lluvia, son los siguientes:

Recomendaciones para las ciudades afectadas y sus residentes (a corto plazo)

- La ciudad debe preparar una red de pluviómetros locales, preferentemente colocados en las partes altas del volcán también.
- La ciudad debe preparar fuentes alternas de energía eléctrica.
- Debe realizarse monitoreo de lluvia con frecuencia por hora.
- Para el año 2010, el criterio de umbrales de lluvia para la alerta temprana debe ser menor al Standard a nivel nacional.
- Debe proveerse a los pobladores la mayor cantidad posible de información.
- Deben ejecutarse varios simulacros, variando según escenarios de diferentes momentos del día y diferente magnitud de los flujos de escombros.
- Debe promoverse el trabajo voluntario. Algunas acciones a promoverse son la elaboración de pluviómetros artesanales usando botellas de plástico, promovidos por proyecto BOSAI/JICA, así como también patrullaje de las laderas, con el propósito de mantener e incrementar la atención prestada a futuros flujos de escombros. Esto contribuye a aumentar la concienciación y preparación local.

Recomendaciones para las ciudades afectadas y sus residentes (de corto a mediano plazo)

- Más Urgentes: interpretación de fotos aéreas pasadas y actuales para el estudio y análisis de posibles deslizamientos futuros
- Más Urgentes: evaluación de los depósitos de escombros en las quebradas
- Patrullaje para monitorear el avance de las grietas y de cualquier otra deformación en los alrededores del punto de origen de los deslizamientos, y en la parte baja de las quebradas
- Instalación de instrumentos como extensómetros y otros para monitoreo de grietas activas
- Investigaciones geotécnicas y geofísicas

Recomendaciones (a largo plazo)

- Obras de mitigación como la construcción de represas o muros de contención
- Reubicación de las ciudades afectadas hacia zonas cercanas NO es recomendado. En caso de ser posible la reubicación, las ciudades deben ser trasladadas a otra zona no cercana a los flancos afectados del volcán ni en la trayectoria de los flujos anteriores. Después del deslizamiento de Guinsaigon, en la isla Leyte de Filipinas, en Febrero 2004 cuando murieron más de 1,100 pobladores, el gobierno nacional decidió reubicar la ciudad completa en otra zona lejana. Sin embargo, después de su traslado, se ha reportado que su condición económica está en deterioro.
- Debe introducirse criterios tanto numéricos como cuantitativos para la alerta temprana, tales como el Índice de Agua Lluvia y las Líneas Críticas/de Serpiente. Los costos de estas medidas son mucho menores a la construcción de represas. Para introducir estos criterios se necesita un sistema interconectado de pluviómetros que abarque el territorio nacional y pueda monitorear la precipitación con frecuencia por hora. Con estos preparativos será posible para Protección Civil calcular y emitir alertas gracias a mediciones específicas de la precipitación.
- El índice Agua Lluvia ha tenido gran éxito en Japón. Es simple y efectivo, aunque se basa en repetidos intentos y cálculos empíricos. Después de pruebas de ensayo durante unos años para obtener parámetros efectivos, puede irse adaptando al territorio del país según sus diferentes condiciones

3. El Picacho

Se sobrevoló el flanco este del Volcán de San Salvador en el helicóptero de la Fuerza Armada Salvadoreña, y se realizó una investigación de campo en el área del deslizamiento de octubre de 2008 y la cima del volcán. El deslizamiento del 2008 en el rea de del deslizamiento de escombros de 1982, el cual cobró la vida de más de 200 habitantes de la parte baja del volcán.

Afortunadamente el deslizamiento de 2008 no alcanzó la parte residencial en el área baja del volcán. Pero debido a que la trayectoria de esta ladera apunta directamente al centro de la ciudad capital San Salvador, el deslizamiento de 2008 despertó la atención de muchos residentes de la capital, especialmente de aquellos que habitan las nuevas urbanizaciones en las faldas del volcán.

El punto de origen del deslizamiento de 2008 todavía tiene depósitos de escombros. Se observó que el dueño de la propiedad privada ha sembrado plantas cuyas raíces penetran con cierta profundidad y no tienen un crecimiento muy alto, lo cual contribuye a no

incrementar el stress de corte en el suelo de la superficie.

Se observó tefra altamente degradada en la cabeza del deslizamiento. Se tomaron muestras de este suelo para ser transportadas a Japón. Capas de tierra suelta y poco profunda nuevamente se encontraron sobre superficie lisa de roca de lava, la cual actúa como la superficie deslizante, y que está inclinada en dirección de la pendiente hacia la ciudad en la parte baja.

Por lo que se pudo observar tanto en el Volcán de San Vicente como en El Picacho, la mayor parte de los deslizamientos catastróficos (de ocurrencia rápida y de larga trayectoria) son inducidos sobre la superficie lisa e inclinada de lava que se encuentra bajo tierra, sobre la cual se desliza suelo altamente degradado, conformado por tefra volcánica que ha caído de los volcanes.

En mis presentaciones en El Salvador, expuse tres casos de deslizamientos que ocurrieron en áreas con geología volcánica in otros países, y los cuales variaban en el volumen del material deslizado, yendo en escala desde pequeños hasta gigantescos deslizamientos. Ese tipo de escenarios se convierten en referencias útiles y lecciones aprendidas del pasado para el diseño de contramedidas.

El escenario más probable en El Salvador es la reactivación del deslizamiento de 1982, en la cual se produce un flujo de escombros inducido por la expansión de la cabeza del antiguo deslizamiento, que continua erosionándose en dirección hacia la parte superior del talud.

Deslizamientos profundos y de proporciones gigantescas como el ocurrido en 1792 en el monte Mayuyama, Japón, tiene una muy mínima posibilidad de ocurrir, como ha señalado el informe del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS. Sin embargo, ninguna persona puede decir con certeza que la posibilidad es de cero absoluto.

Basado en estas observaciones, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Examen e interpretación de fotografías aéreas pasadas y actuales será muy informativa
- Un scanner laser aéreo puede penetrar la capa de vegetación de los bosques y obtener información de la topografía del terreno. Estas imágenes contribuyen a entender la distribución de pasados deslizamientos y estimar el sitio de ocurrencia de futuros deslizamientos. Su costo es de aproximadamente menos de US\$100,000.
- Investigaciones de campo constantes deben conducirse urgentemente, para detectar señales de deformación de tierra como apertura de grietas, apareamiento de nacimientos de agua y grupos de árboles inclinados.

- Cuando se descubre una grieta se debe instalar instrumentos para monitorear su comportamiento de manera inmediata.
- Para la medición de deslizamientos a larga escala, es necesario hacer trabajo de georeferencia y monitoreo con distancio metros láser tanto en la cima del volcán como en el flanco este.
- Se recomienda realizar exploraciones geofísicas como a) exploraciones sísmicas para estudiar la estructura subterránea, b) exploraciones de resistividad para determinar la condición del agua subterránea, las cuales pueden ser realizadas por compañías de estudios geológicos. c) Exploración electromagnética aérea o NMR puede proporcionar información más detallada (-100m) de la distribución del agua subterránea.
- Pruebas de penetración simple para la medición de la profundidad y la distribución del suelo suave sobre las laderas, son medidas menos onerosas y muy efectivas para la predicción de deslizamientos poco profundos. Debido a que la roca volcánica se degrada de manera relativamente rápida y produce suelo suave y superficial, es común que ocurran deslizamientos poco profundos cada cierto grupo de años/décadas.
- Pruebas de suelo y de humedad proveerán mayor base numérica para la elaboración de mapas de riesgo.
- Simulaciones numéricas de deslizamientos de escombros para la elaboración de mapas se ha vuelto una práctica popular. Existen varios modelos que usan diferentes parámetros y por ende los resultados son diferentes. Debe recordarse que cualquier variación en la recreación de las simulaciones provocará resultados altamente diferentes, l grado de diferencia en el ángulo de fricción puede alterar por cientos de metros la predicción del alcance del deslizamiento.
- Instalación de una red nacional de pluviómetros con transferencia en tiempo real de la información recolectada, con un sistema que provea medición de la precipitación con frecuencia entre 10 minutos y l hora.
- Introducción de metodología para sistemas de alerta temprana como el Índice de Agua Lluvia. Se necesita aproximadamente 10 años para lograr su adaptación efectiva.
- Algunos investigadores prefieren métodos como el de la Línea Crítica. En El Salvador ha funcionado la medición de lluvia con frecuencia diaria por parte de las instituciones centrales, se debe analizar transferir estas prácticas directamente a los gobiernos locales.
- Se necesita construcción de protección para los residentes de la parte baja de los volcanes, pero definir las áreas específicas que serán afectadas resulta difícil.
- Deslizamientos de larga escala (107 m3 o más): no hay soluciones excepto si se trabajan obras de drenaje subterráneo
- Escala media (106 m3) : es posible construir obras pero son onerosas (más de 100 M USD)

- Pequeña escala (105 m3) : se debe ejecutar una combinación de represas y canaletas (costo menos de 100 M USD)
- Obras de mitigación como represas sabo, represas de chequeo y represas para escombros deben ser construidas. Sin embargo debe recordarse que ningún tipo de construcción es cien por ciento perfecta.
- Es necesario plantar vegetación específica para la protección de la superficie de la parte superior, que puede resultar efectiva solamente para deslizamientos poco profundos de pequeña escala. Históricamente en Japón se ha usado bambú para que sus raíces actúen como redes preventivas.

Para los responsables de las políticas nacionales y municipales, la siguiente información puede resultar útil para elaborar un plan contra futuros desastres de este tipo:

- Resiliencia es la palabra clave en la actualidad en el ámbito de manejo de desastres. Se necesita planificación práctica por parte de los gobiernos para cada situación de desastre:
- 1- fase de gestión: establecer un centro de operaciones en el gobierno.
- 2- fase de respuesta: salvar vidas
- 3-fase de asistencia: recuperación del flujo social
- 4- fase de recuperación: recuperación de los bienes sociales
- Utilización de tecnología de la información, con la cual se logran operaciones exitosas y efectivas a través de la cooperación interinstitucional
- Las 4 R (en inglés Redundancy, Robustness, Resourcefulness y Rapidity) que equivalen a Repetición, Robustez, Ingenio en uso de recursos y Rapidez, son las nociones claves para los encargados del establecimiento de políticas públicas en el manejo de riesgo a desastres.

Materiales de Referencia Recomendados:

- El manual en prevención para desastres por deslizamientos para Centro América de NGI-IGC (2008) "IGC-RECLAIMM-Reporte Final".
- Los reportes del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS 01-366 "Volcano Hazards in the San Salvador Region, El Salvador", y 01-367 "Volcano-Hazard Zonation for San Vicente Volcano, El Salvador" (2001)
- Los manuales sobre Obras Sabo del Ministerio de LIT del gobierno de Japón Japan (disponibles diferentes ediciones, en Inglés y Español)
- El Diario Internacional "Landslides", de Springer Verlag, Alemania (editados por el Consorcio Internacional de Deslizamientos, al cual es recomendado adherirse)

4. Deslizamientos

Se pudo observar numerosos deslizamientos y flujos de escombros en una extensa región desde San Salvador hasta el volcán de San Vicente. Algunos de ellos aparentan ser depósitos de escombros sobre taludes, los cuales pueden convertirse en flujos bajo condiciones de lluvia torrencial y causar daños a los pobladores en la parte inferior de las laderas.

San Salvador es una ciudad altamente populosa y debe concentrar más atención y recursos en investigar y gestionar el manejo de estas amenazas.

Por otra parte, El Salvador tiene muchos puntos de concentración turística como hoteles y resorts en las orillas de cráteres y lagos volcánicos. En la mayoría de los casos la orilla de estas laderas es muy inclinada y propensa a deslizamientos y flujos de escombros. Las autoridades pertinentes deben invertir esfuerzos en incrementar la concienciación de los visitantes, residentes y dueños de este tipo de comercios.