

INFORME 29/10/2008
Joan Molinas Daví
Carles Fernández

MOVIMIENTO DE LADERA EN LA VERTIENTE ESTE DEL PICACHO, FINCA SANTA MARÍA (MEJICANOS)

Programa IPGARAMSS
Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgos en los Planes de
Ordenamiento Territorial del AMSS
-Geólogos del Mundo-

Introducción

Enmarcado dentro del proyecto IPGARAMSS en el cual se pretende realizar una mayor incidencia de la temática de los riesgos geológicos a las municipalidades y entes reguladores del ordenamiento territorial como OPAMSS, se ha realizado una visita de campo el día 21 de octubre para ver las características del movimiento de ladera¹ producido en la Finca Santa María, en la vertiente este del Picacho, en el municipio de Mejicanos. Con el acompañamiento de José Mauricio Leonardo Quintanilla y Juan Francisco Castro de la Finca Santa María, María Delia Ramírez y Santiago Galdámez de la Alcaldía de Mejicanos y Karla Miranda de la OPAMSS, se localizó y visitó la zona donde se produjo el movimiento de ladera con el objetivo de evaluar el riesgo de este evento u otros futuros para la colonia de Montebello, de Mejicanos.

Ubicación

El sector donde se ha identificado la inestabilidad se encuentra en el la vertiente este del Picacho, en la cuenca de la Quebrada las Lajas, en la finca Santa María, del municipio Mejicanos, Departamento de San Salvador. La zona de salida del movimiento de ladera presenta las coordenadas 13°44'45.4"N / 89°15'14.8"W y una altura aproximada de 1800 m sobre el nivel de mar. A partir de este punto el movimiento se desencadenó aguas abajo siguiendo la quebrada.

Antecedentes

En el año **1934** se desencadenó un flujo de escombros² después de un temporal que dejó lluvias por periodo de siete días. El flujo se condujo por la Quebradona, afluente de la quebrada El Nispero, hasta el área que ahora ocupa el Reparto de Montebello. La superficie ocupada por los materiales removidos fue cinco veces mayor que la del episodio de 1982, aunque entonces el área no estaba habitada (Rubio Martínez, J. s.f.).

En **septiembre de 1982** se produjo otro flujo de escombros desencadenado a partir del temporal entro los días 17 y 20. En el observatorio del Boquerón se registraron las intensidades mayores del siglo, especialmente entre la noche del 18 y la mañana de 19. El flujo se inició a la cota 1925 m y descendió a través de la quebrada el Nispero hasta las zonas urbanizadas que se encontraban sobre la cota 790 m en el Reparto Montebello. El área ocupada por la zona del flujo alcanzó entre las 10 y las 15 ha, pudiéndose extender el área afectada hasta las 60 ha. La cabecera del flujo se encontraba entre los 1925 m y los 1600 m sobre el nivel del mar, implicando un área de 700 m de largo por 65 m de ancho y un aproximado de 7 m de profundidad. El volumen estimado de material removido fue de 425.000 m³ según Kiernan y Ledru (1996). Según estos autores a ambos lados de la cicatriz de 1982, se podían producirse, en cualquier momento, nuevo movimientos en una superficie de 6.5 ha, debido al estado de degradación e inestabilidad del suelo. El flujo dejó, a lo largo

¹ **Movimiento de ladera:** son desplazamientos de masas de material con determinadas características (roca, detritos o tierra) a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la fuerza de la gravedad.

² **Flujo de escombros:** movimiento de material (fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas con arenas limos y arcillas) en los que la superficie de rotura no está definida y no conservan la estructura original del material.

de la quebrada el Níspero, un estimado de 150.000 m³ de material removido, susceptible de entrar en movimiento. El flujo de lodo, vegetación y agua se estimó en su parte baja en 200.000 m³ y afectó principalmente al Reparto Montebello Poniente, pero también a la Colonia Lorena, Colonia San Mauricio, residencial Montebello, Colonia San Ramón y Colonia Santa Margarita (Rubio Martínez, J. s.f.).

En las fotografías de la figura 1 se pueden observar los flujos de escombros producidos en 1934 y 1982.

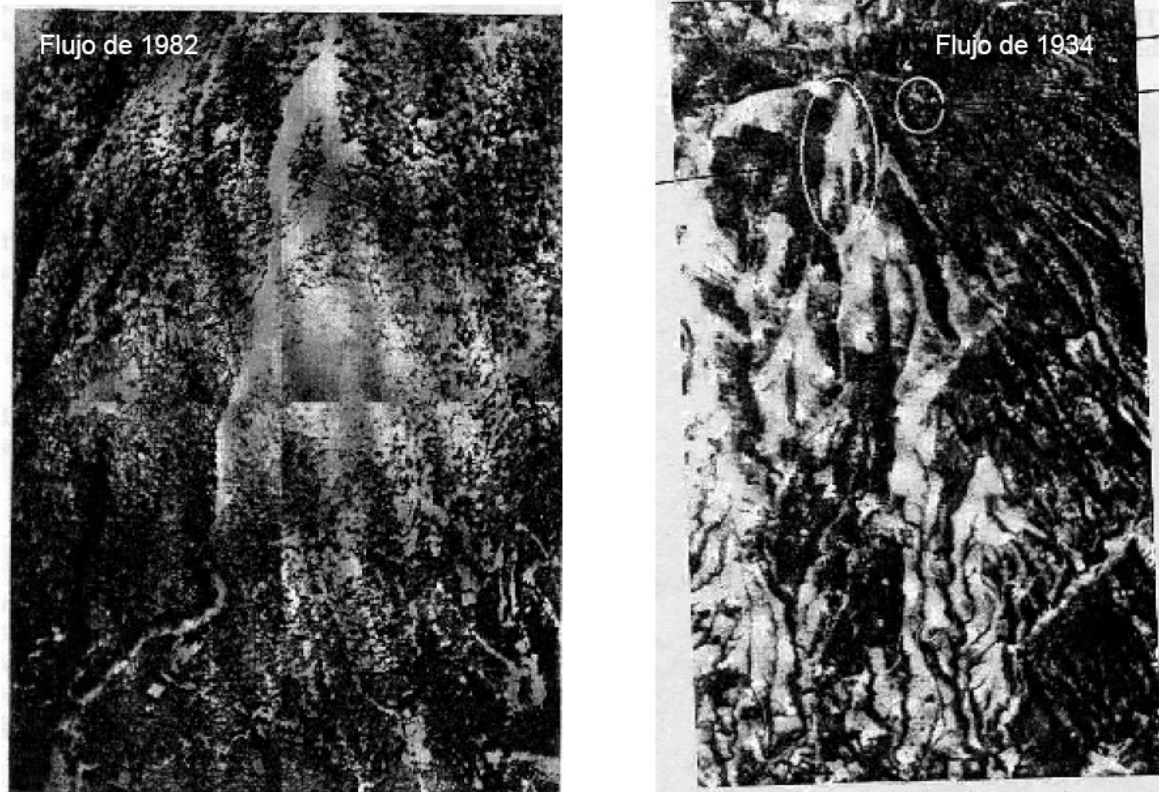


Figura 1. Vista aérea de los flujos de 1934 y 1982. (Rubio Martínez, J. s.f.)

Por otro lado, durante el recorrido de campo se ha identificado otro sector con indicios de una posible inestabilidad pasada, como es la ausencia de vegetación adulta y árboles caídos. La situación de este sector es 13°44'41.4"N / 89°15'16.5"W y una altura aproximada similar a la de la presente inestabilidad. (Ver fotografía 1).

Descripción de la problemática

El movimiento de ladera se desencadenó la madrugada del sábado 18 de octubre, según la información facilitada por la alcaldía.

Se trata de un movimiento complejo que comenzó como un deslizamiento rotacional³ pero que rápidamente se convirtió en flujo de escombros debido a la elevada humedad del material movilizado.

La zona de cabecera presenta una pendiente media original de 48° y sus alrededores se encuentran densamente vegetados. Se sitúa a 1800 msnm, aproximadamente, en el sector más elevado de la cuenca de la quebrada Las Lajas. El área de la cabecera abarca unos 30 a 40 m de largo por 30 m de ancho y una profundidad aproximada de 2.5 m. La zona visible de circulación del mismo es de unos 250 m desde el punto de observación, no habiéndose podido observar la zona de depósito (figura 2). La estimación preliminar del volumen de material movilizado es de unos 3,000 m³, sobre la base de los datos disponibles y acorde a las observaciones realizadas. (Ver fotografía 2).



Fotografía 1: antigua zona de inestabilidad.



Fotografía 2: vista general de la zona de circulación.

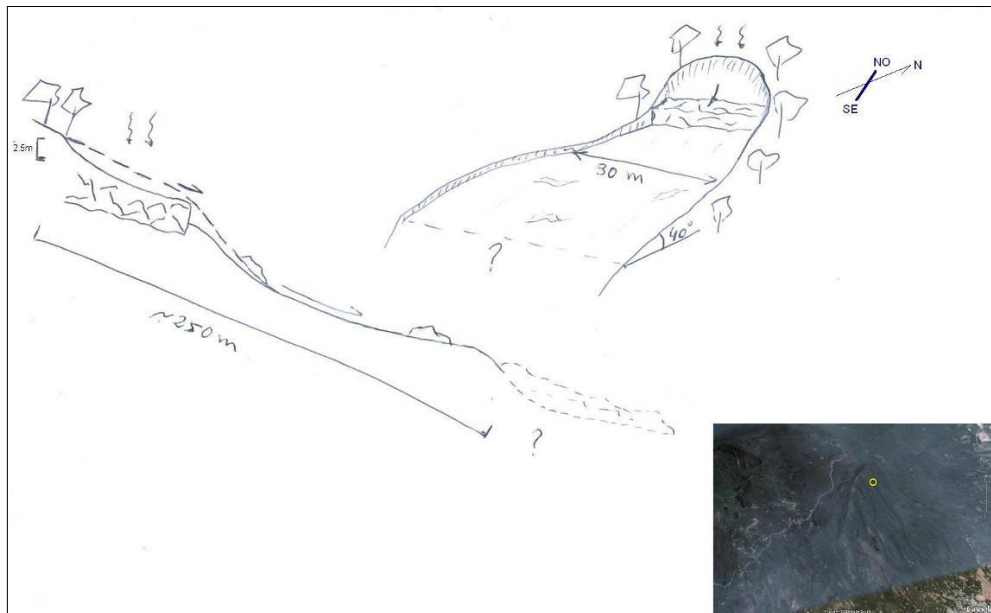


Figura 2. Esquema del movimiento de ladera y su posición en la imagen del Google Earth.

³ **Deslizamiento rotacional:** movimiento de masas de terreno ladera abajo siguiendo una superficie de rotura curva o cóncava.

El material movilizado está formado por la formación superficial de suelo orgánico, arcillas rojizas y bloques de basalto. También se han observado algunos árboles adultos (de unos 20 cm de diámetro) arrastrados por el flujo y depositados en los laterales del mismo.

Factores desencadenantes:

El factor desencadenante de esta inestabilidad ha sido la lluvia acumulada durante el mes de octubre. El acumulado de los 15 días previos a la fecha de ocurrencia del evento fue de 622 mm, siendo el acumulado de los 3 días anteriores, de 193 mm. Estos valores superan ampliamente los umbrales de lluvia establecidos por el SNET para el desencadenamiento de inestabilidades a nivel nacional y los establecidos por el programa a nivel del AMSS. Más adelante en este documento se analiza detalladamente este aspecto.

Factores condicionantes:

Los factores condicionantes (propios del terreno) que se han identificado son:

- La elevada pendiente de la ladera. Se ha medido una inclinación media original en la zona de la cabecera de 48°.
- La fracturación de un nivel de basalto situado en la zona de cabecera (fotografía 3).
- La meteorización de los materiales rocosos existentes. Fruto de este proceso continuo se desarrolla la formación superficial formada por suelos orgánicos, arcillas rojizas y fragmentos de basalto.
- La presencia de un contacto entre materiales de distinta competencia que pudo funcionar como superficie de despegue. Este contacto corresponde con el techo del nivel de basalto antes mencionado.



Fotografía 3: nivel de basalto.



Fotografía 4: zona de la corona.

Análisis de la precipitación

Al tratarse de un deslizamiento desencadenado por lluvias, es posible realizar el análisis pluviométrico y ver la relación de lluvias acumuladas y su vinculación con la generación del movimiento. Se obtuvieron los datos de precipitación de la Finca Santa María. Dicho pluviómetro, el más cercano al punto de salida del deslizamiento, se ubica en las coordenadas 13°45'5.5"N y 89°14'34.2"W y su registro es recopilado por personal de la finca.

En el gráfico de la figura 3 se observa la ubicación del deslizamiento en función de los acumulados de lluvia de 15 días vs. 3 días. Dicho movimiento sobrepasa de manera holgada el umbral de lluvia propuesto, el cual se refleja en el gráfico por la recta que une las precipitaciones de 90 mm para 3 días, y 230 mm para 15 días. En adición se observa que el movimiento se ubica en la región D, donde encontramos eventos extraordinarios que superan los 360 mm de acumulación de lluvia de 15 días.

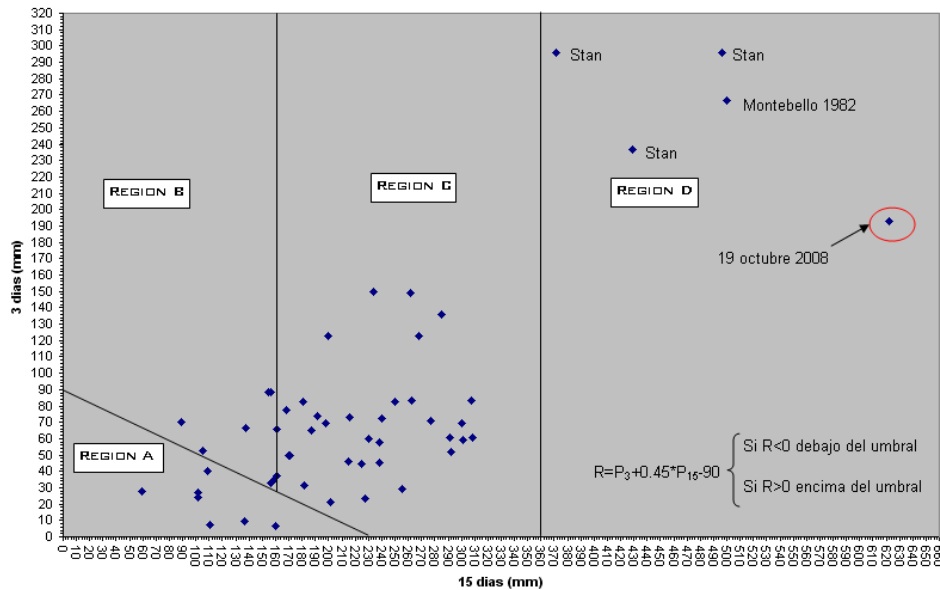


Figura 3. Acumulado de lluvia de 15 días vs. 3 días. En círculo rojo el deslizamiento del 18 de octubre de 2008.

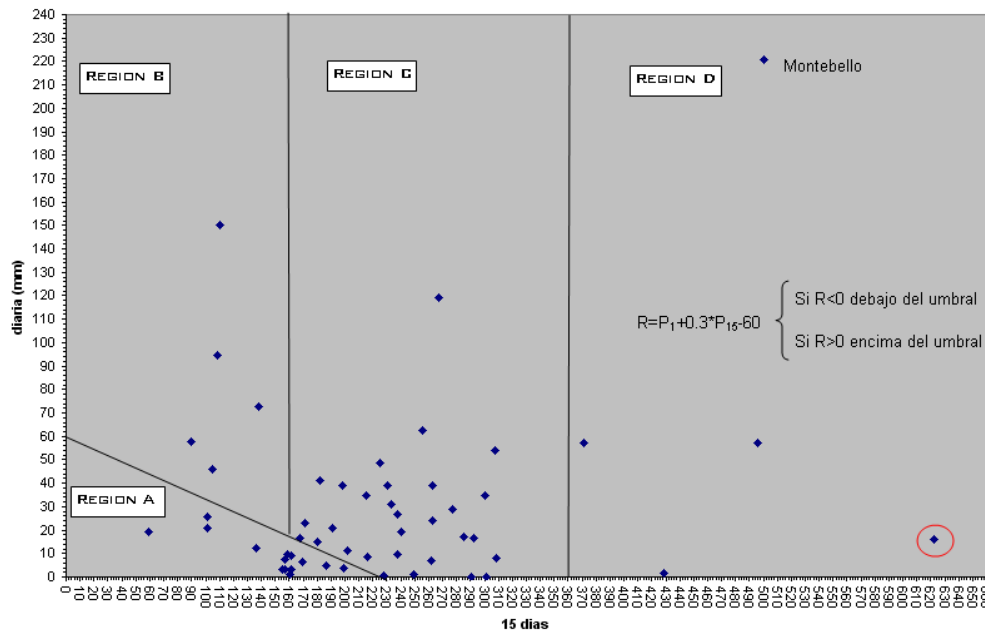


Figura 4. Acumulado de lluvia de 15 días vs. 1 día. En círculo rojo el deslizamiento del 18 de octubre de 2008

En el gráfico de la figura 4 se analiza la lluvia acumulada de los 15 días previos al movimiento, vs. la lluvia diaria. Igualmente en este caso, el deslizamiento se ubica en la región D y por encima del umbral de lluvia definido.

Es importante mencionar que el monitoreo y el análisis de de los acumulados de lluvia pueden usarse como Sistema de Alerta Temprana (SAT). En ese sentido pueden usarse las fórmulas siguientes para tener un conocimiento acerca de si se está sobrepasando el umbral o no:

En relación a la lluvia acumulada de 15 días vs. 3 días	$R = P3 + 0.45 \times P15 - 90$	Si $R > 0$, los acumulados se sitúan sobre el umbral. Si $R < 0$, los acumulados se sitúan bajo el umbral.
En relación a la lluvia acumulada de 15 días vs. 1 día	$R = P1 + 0.3 \times P15 - 60$	Si $R > 0$, los acumulados se sitúan sobre el umbral. Si $R < 0$, los acumulados se sitúan bajo el umbral.
<p><i>R= Indicador</i> <i>P1=Precipitación de lluvia acumulada del mismo día del evento</i> <i>P3=Precipitación de lluvia acumulada de 3 días</i> <i>P15=Precipitación de lluvia acumulada de 15 días</i></p>		

Estudios de utilidad de la zona

Existen varios estudios y mapas que pueden ser de utilidad para evaluar la susceptibilidad de la zona a ser afectada por movimientos de ladera:

- Mapa Integrado de Amenaza por Movimientos de Ladera inducidos por lluvia en el Área Metropolitana de San Salvador (IPGARAMSS, 2008). Este mapa cataloga una parte importante de la ladera este del Picacho, incluida la zona de la cabecera de este movimiento, como zona de alta y muy alta amenaza por movimientos de ladera. Esto significa que en toda esta zona hay una probabilidad alta o muy alta a que se desencadenen inestabilidades debido a lluvias si se supera los umbrales antes citados.
- El estudio Amenazas Volcánicas en la región de San Salvador, elaborado por la USGS (Major, J.J. et al, 2001). El resultado de dicho estudio es el Mapa de Amenazas Volcánicas del Volcán de San Salvador, en el que se incluye la amenaza por lahar⁴. Establece el alcance de posibles lahares en función de su volumen (figuras 5 y 6). Como se puede observar en el mapa y para la vertiente del Picacho donde se sitúa en moviendo de ladera, volúmenes de 100.000 m³ de material movilizado ya podrían afectar zonas pobladas. La quebrada donde se inició el presente flujo es uno de los sectores identificados en el mapa como de generación y circulación de lahares.
- La tesis “Estudio de Amenazas por lahar en El Salvador: revisión de casos históricos y calibración de herramientas para la Evaluación de Amenaza” (Blanco Urrutia, F.A. et al, 2002). Este estudio también analiza los alcances de posibles lahares en las laderas de los volcanes de San Salvador y Usulután. Para el sector del Picacho el estudio muestra unas áreas de alcance de lahares para distintos volúmenes de material movilizado. Aunque la

⁴ **Lahar:** flujo de lodo y flujo de escombros en la ladera de un volcán. Se producen cuando el agua mueve grandes volúmenes de lodo, roca y escombros volcánicos flojos.

zonificación presentada en este estudio muestra unas áreas menores que el de la USGS, para volúmenes de 100.000 m³, también prevé que podría alcanzar zonas habitadas.

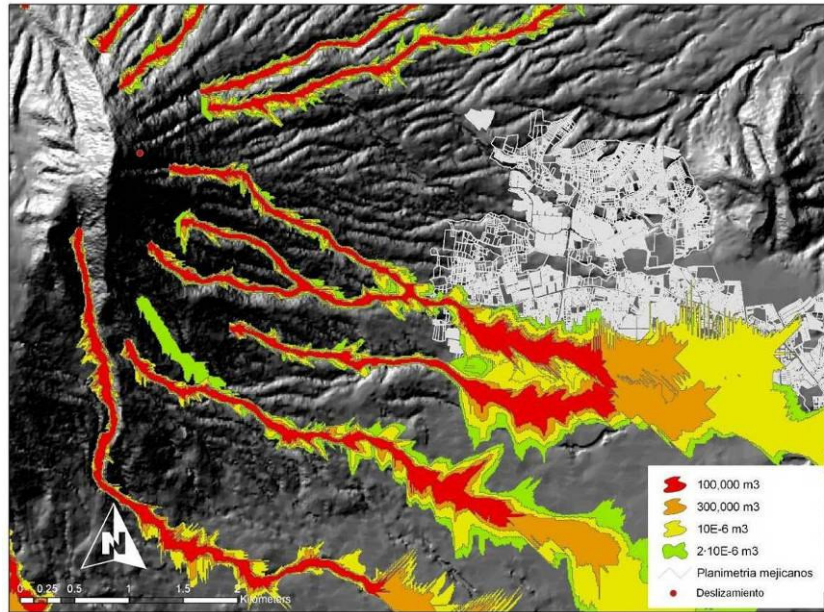


Figura 5: mapa de amenaza por lahar en función del volumen movilizado. Con punto rojo se indica la localización de la cabecera del movimiento del día 18 de octubre de 2008.



Figura 6: Superposición de las superficies del lahar para los 100.000 m³ en la imagen tridimensional del Google Earth. (J.J. Major et al. 2001, USGS).

- El Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos de tierra en El Salvador (SNET). Este mapa es el resultado de un estudio a nivel nacional y zonifica el territorio de manera similar al primer mapa comentado. Los resultados para la zona del Picacho son similares a los establecidos en el mapa de IPGARAMSS para el AMSS, siendo la mayor parte de la ladera este del Picacho identificada como muy alta susceptibilidad a deslizamientos.

Conclusiones

Este informe es el resultado de la visita de campo realizada el día 21 de octubre de 2008 con el objetivo de evaluar las condiciones en las que se produjo el movimiento de ladera en la ladera este del Picacho.

El flujo se produjo la madrugada del sábado 18, según las observaciones de la alcaldía.

La zona de cabecera se sitúa en las coordenadas 13°44'45.4"N / 89°15'14.8"W con una altura aproximada de 1800m.

Las medidas de la zona de cabecera son de entre 30 y 40 m de longitud, por 30 m de ancho y una profundidad de 2.5 m. La longitud del flujo visible desde el punto de observación, es de unos 250 m, sin observarse el depósito de materiales movilizado.

Los materiales implicados en el movimiento de ladera son el suelo superficial, arcillas y bloques de basalto, junto con la vegetación de árboles y arbustos que crecían en el sector.

Los factores condicionantes del terreno son la elevada pendiente de la ladera, la litología del subsuelo, una superficie de discontinuidad formada por el techo de un nivel de basalto y la fracturación de este nivel de roca.

Por otro lado el factor desencadenante preponderante para este evento es la lluvia acumulada en los días previos al evento.

En el sector donde se ha desencadenado este movimiento de ladera hay antecedente registrados de flujos de escombros que movilizaron importantes volúmenes de material. El evento de 1982, llegó a afectar zonas pobladas provocando una cantidad importante de muertes.

Hay varios estudios que zonifican la amenaza por movimientos de ladera y lahares en las laderas del volcán de San Salvador y que consideran un nivel de amenaza elevado.

Recomendaciones

Según las observaciones de campo realizadas, el flujo generado en este caso no supondría una amenaza para la población. Sin embargo, debido a la alta susceptibilidad de todo el sector a sufrir lahares y movimientos de ladera en general, pueden producirse nuevas inestabilidades con volúmenes mayores, los cuales sí representarían una amenaza para las comunidades de la zona baja del volcán. Los estudios mencionados establecen el alcance de posibles lahares en función del volumen movilizado.

Con un escenario de elevada acumulación de lluvia, la ocurrencia de un sismo incrementaría la probabilidad de desencadenamiento de lahares y el consecuente impacto a la población. Incluso un sismo en la época seca también podría llegar a desencadenar un flujo de escombros.

Se trata por tanto de una zona en la que cada invierno es importante mantener un monitoreo diario de acumulados de lluvias, que permita determinar si se sobrepasa el umbral establecido, y disponer de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), que pueda activarse en caso de ser necesario.

Por otro lado también se podrían realizar obras de mitigación en la zona baja para reducir el impacto de un posible lahar. Se trataría de obras de reducción de la velocidad del flujo, contención o desviación del mismo. Estas obras de mitigación deberían servir únicamente para reducir el grado de amenaza, pero bajo ningún concepto se pueden usar para permitir el desarrollo urbanístico de los lugares amenazados. Para el diseño de dichas obras es necesario considerar todos los escenarios analizados en los estudios mencionados.

Bibliografía

Blanco Urrutia, F.A. et al. (2002). *Estudio de Amenazas por lahar en El Salvador: revisión de casos históricos y calibración de herramientas para la Evaluación de Amenaza*. Trabajo de para optar al grado de ingeniero civil. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). San Salvador.

IPGARAMSS (2008). *Mapa Integrado de Amenaza por Movimientos de Ladera inducidos por lluvia en el Área Metropolitana de San Salvador*. Geólogos del Mundo-OPAMSS-Alcaldías del AMSS.

Major, J.J. et al. (2001). *Volcano Hazards in the San Salvador Región, El Salvador*. USGS.

Rubio Martínez, J. (s.f.). *Levantamiento de Deslizamiento de tierra en el Volcán de San Salvador. Apoyo al proyecto mitigación de los efectos multiamenazas en zonas de riesgo del Volcán de San Salvador*. Publicado en:
<http://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Documentos/levantamiento-deslizamientos-vss/informe%20final.pdf>

SNET (2004). *Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador*. SNET.