

EN TORNO A LA PREVENCIÓN



Revista No. 12, Jun. 2014

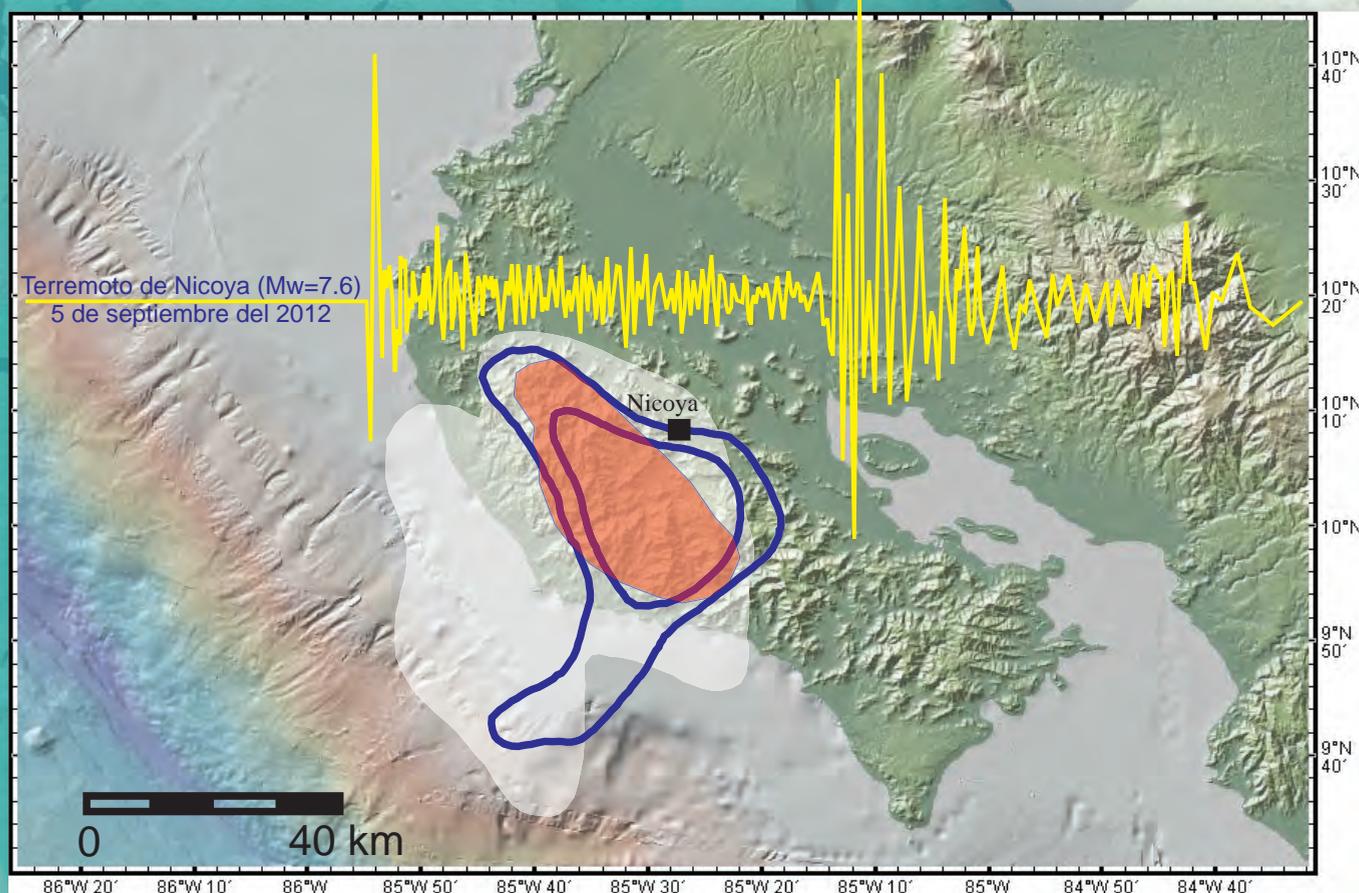
ISSN: 1659-3057

ISSN: 2215-3845

NÚMERO ESPECIAL

TERREMOTO DE NICOYA

5 de setiembre de 2012



San José, Costa Rica

2. EFECTOS MORFOLÓGICOS GENERADOS EN EL CANTÓN DE VALVERDE VEGA POR EL TERREMOTO DE SÁMARA DEL 5 DE SEPTIEMBRE DE 2012 (MW = 7,6)

M.Sc. Giovanni Peraldo Huertas ¹

M.Sc. Elena Badilla ²

Universidad de Costa Rica

M.Sc. Olman Arias ³

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

Resumen

El impacto del terremoto del 5 de septiembre de 2012 en varias comunidades del cantón de Valverde Vega generó daños de importancia en algunas viviendas que fueron parcial o totalmente destruidas. Características ambientales, tales como la morfología y la constitución litológica amplificaron los efectos destructivos del sismo. Los efectos experimentados en el cantón de Valverde Vega deben llamar a la meditación respecto al control de los gobiernos locales en el proceso de desarrollo socioeconómico de su cantón con el fin de disminuir el riesgo ante eventos sísmicos futuros similares al ocurrido el 5 de septiembre de 2012.

Palabras clave: Terremotos, Terremoto de Sámara, Geomorfología, Deslizamientos, Gestión del riesgo, Ordenamiento territorial.

Abstract

The September 5, 2012 earthquake's impact in several communities of the Valverde Vega region caused significant damage to some houses that were partially or completely destroyed. Environmental features, such as morphology and litological constitution, allowed amplify the destructive effects of the earthquake. This negative effects experienced in the Valverde Vega canton should call

meditation relative to the control of local governments in the process of socio-economic development of the region, in order to reduce the risk from future seismic events similar to the September 5, 2012.

Keywords: Earthquakes, Sámara earthquake, Geomorphology, Landslides, Risk management, Land use.

1. Introducción

El miércoles 5 de septiembre de 2012 ocurrió un sismo de Mw = 7,6 ubicado en la Península de Nicoya (coordenadas 9,690° N y 85,626° W), cuyos efectos fueron percibidos, incluso, lejos del área mesosísmica, tal como se observó en el cantón de Valverde Vega donde se registraron varios daños, especialmente, en viviendas ubicadas en laderas de fuerte pendiente, específicamente en los barrios Rincón de Alpízar, Calle Colegio Agropecuario y Calle Cooperativa. Los daños se relacionan con reactivación de deslizamientos y la respuesta de la morfología y la litología a las sollicitaciones sísmicas. Se estima la intensidad máxima en Sarchí fue de VII (MM) (Vargas, Linkimer, Barquero, Rojas, y Boschini, 2012).

2. Metodología

La metodología usada para analizar el impacto del sismo en el cantón de Valverde Vega, fue la visita al lugar días después de ocurrido el terremoto de Sámara, con el fin de observar los daños in situ. Estos se relacionaron en la medida de lo posible, con la litología y la morfología del sitio.

Luego de la recolección de la información de daños en el campo, se analizaron las fotos aéreas del área, con

¹ Pertenece a la Escuela Centroamericana de Geología y al Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas.
Correo electrónico: marino.peraldo@ucr.ac.cr

² Pertenece a la Escuela Centroamericana de Geología y al Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas.
Correo electrónico: elena.badillacoto@ucr.ac.cr

³ Pertenece a la Escuela Centroamericana de Geología y al Instituto Costarricense de Electricidad.
Correo electrónico: olman.arias@ucr.ac.cr

el fin de analizar la geomorfología e identificar formas relacionadas con antiguos deslizamientos que pudieron ser reactivados por el Terremoto de Sámara. Se confeccionó un mapa fotointerpretado de la morfología de toda el área compartida por los cantones de Valverde Vega, Grecia y Naranjo.

Finalmente, se realizaron algunas giras del proyecto 830-B0-055, con el fin de identificar las características de la geología del área de estudio.

3. Geología del Área

La geología local se basó en Campos, Castro, Gazel, et al. (2005) y Abarca, Acosta, Durán, et al., (2006) que corresponden a los informes de Campaña Geológica de 2004 y 2005 respectivamente, cuyas áreas de estudio están en las proximidades de Sarchí y Grecia. Además, se realizó la comprobación de campo en giras no consecutivas al área de estudio.

En el trabajo de Campos, et al. (2005) se identificaron y describieron litologías de origen volcánico relacionadas con materiales de caída, lahares y coladas de lava. Se identificaron dos unidades informales ampliamente distribuidas en el sector NE próximo a Sarchí. Una de esas unidades fue denominada Unidad Santa Gertrudis Sur, formada por potentes depósitos volcánicos que en su mayoría son transformados en suelos, debido al proceso de la meteorización. La otra unidad se conoce como Unidad Doka y consiste de depósitos volcánicos que por sus características se conocen en la gerga geológica como depósitos piroclásticos de caída con espesores de 4 metros como mínimo hasta 15 metros como máximo. Recubre parte de la unidad Santa Gertrudis Sur y en algunos sectores está parcialmente destruida por el intemperismo (proceso de meteorización).

Debido que este trabajo tiene como propósito estudiar las laderas que conforman la mayor parte del terreno del área, se decide observar la tefrostratigrafía en varios puntos escogidos al azar. Por ejemplo, en las coordenadas 497,401–229,890 se localiza una roca volcánica denominada ignimbrita decolorgris con estructuras alargadas denominadas fiames de vidrio volcánico (obsidiana) bien definidos. Esta roca aflora a nivel del cauce del río Trojas. Sobre esta roca existe un material blocoso tipo brecha con bloques centimétricos redondeados a subredondeados de materiales volcánicos tales como escorias que son rocas oscuras sumamente porosas y restos de materiales que no

podieron ser definidos debido al estado de meteorización del depósito. El soporte es por matriz de tipo limo arenosa y presenta granos de rocas flotantes centimétricos a decimétricos.

Sobre el nivel anterior y en contacto de erosión se depositó un material volcánico granular grueso, muy homogéneo en cuanto al tamaño de los granos, posiblemente generado por materiales de caída tales como cenizas gruesas. Este depósito es fácilmente disgregable. Aparece en bolsones y lentes, lo que se atribuye a un contacto erosivo con la litología subyacente. Sobre esa capa y en contacto erosivo se reconoce una potente capa de ceniza negra a café oscuro (mayor de 3 m espesor) también fácilmente disgregable. Es difícil calcular los espesores de estas capas volcánicas (piroclásticas) debido a los contactos erosivos que hacen que las capas sean más potentes en un sitio y delgadas en otros, incluso no son continuas, sin embargo, a nivel puntual se observaron capas métricas y taludes de hasta 10 metros compuesto por estas litologías.

Capas similares fueron reconocidas en las coordenadas 495,547 – 231,264 con un espesor ± 4 m y en las coordenadas 495,974 – 233,246 y 498,943 – 229,399 en donde el depósito piroclástico tiene un espesor de $\pm 2,5$ m. En todos esos puntos el material es fácilmente disgregable. Las observaciones efectuadas en el área de estudio se resumen el Cuadro 1 y en la Figura 1.

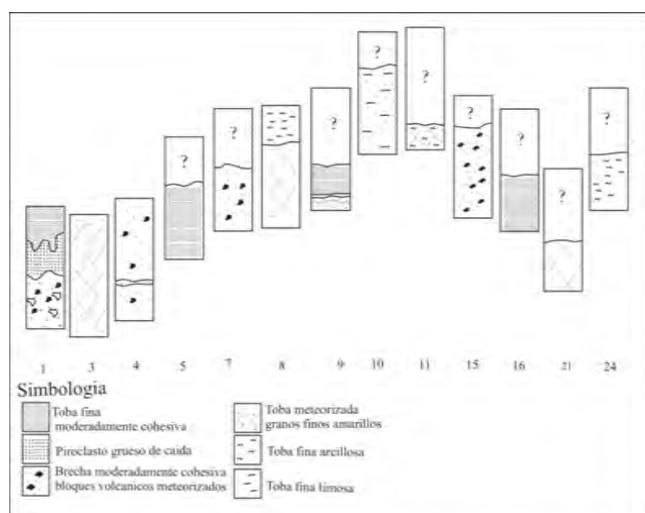


Figura 1: Columnas tefroestratigráficas que muestran los tipos de depósitos piroclásticos localizadas en los taludes de las filas⁵ estudiadas en el área de Sarchí y Naranjo.5 Elaboración propia.

⁵Los números al pie de las columnas corresponden a la numeración de la primera columna del cuadro 1

P	Coordenadas	Observaciones
1	497,401-229,890	Material brechoso con bloques centímetros redondeados a subredondeados de escorias y restos de materiales no definidos debido a la meteorización. El soporte es por matriz limo arenoso y son bloques flotantes. Sobre el nivel anterior y en contacto erosivo se depositó una toba gruesa posiblemente de caída, debido a la homogeneidad en su distribución y granoselección; es fácilmente disgregable. No aparece de manera continua sino como en bolsones y lentes, lo que se atribuye a erosión diferencial del depósito.
2	497,247-229,549	Gaviones sosteniendo el espaldón de la carretera que conforma la ladera hacia el río Trojas, evidencia de inestabilidad de la ladera.
3	495, 476-231, 186	Toba meteorizada. Se observan pequeños fragmentos amarillentos (¿pómez?). Esta toba da la mala impresión de que permite taludes verticales. Sin embargo, en el área se observa el talud vertical afectado por cicatrices de deslizamientos.
4	495, 547-231,264	Capa de 10 a 20 cm de toba de caída, granulometría gruesa, inconsolidado.
5	495, 974-233,246	Capa métrica ($\pm 2,5$ m) de toba de caída, similar a punto 2. Terremoto del 5 de septiembre deslizó parte del talud, destruyendo el tendido eléctrico.
7	496,161-234,568	Toba brechosa con bloques centímetros redondeados a subredondeados de escorias y restos de materiales no definidos debido a la meteorización. El soporte es por matriz limo arenoso y son bloques flotantes. Espesor observable 3,5 m. Es similar a la descrita en punto 1.
8	496,166-234,686	Toba café con puntos amarillos (similar a punto 3) espesor 4 m. Sobre este material se depositó una toba muy compacta completamente fina su apariencia es una masa de color café pardo, espesor 3 m.
9	495,778-235,084	Secuencia tefroestratigráfica. En la base se observa una toba meteorizada, donde se reconocen clastos de una tonalidad parda amarillenta a blanca, espesor visible 30 cm. Sobreyaciendo existe una capa de suelo de 2 cm de espesor. Sobre este suelo aparece la toba gruesa de caída, similar a 1,4 y 5, en este punto 9 el espesor es de 15 cm. Sobre esta toba de caída aparece un suelo café cordobán. En la base existen bloques subredondeados esporádicos de lavas andesíticas de tamaños centimétricos a decimétricos. Sobre esta unidad, se depositó una toba fina con puntos amarillos.
10	496,098-237,088	Depósito piroclástico limo-arenoso, no se puede moldear, espesor visible de 4m.
11	496,479-237,453	Aflora un material blanco a pardo amarillento de espesor aproximado de 1,8 m, similar al que aflora en el punto 9.
12	496,337-237,248	Deslizamiento margen río Zapote. Del punto de coordenadas 400 al NW.
13	495,847-235,469	Calle La Isla, aflora la toba con pintas amarillas, espesor aproximado 4 m.
14	495,836-235,577	Fracturas 60° N 60° E, 60° N 88° E, fracturas abiertas entre 2 a 4 cm, no se observa emanación de agua. En este lugar es cortada la toba punteada más sana, forma un talud vertical.
15	496,027-235,883	Puente sobre el río Isla. Material similar al del punto 4. Acá presenta una textura gruesa, como una brecha, con bloques semiredondeados centimétricos inmersos en una matriz pardo amarillento. Algunos clastos están afectados por meteorización.
16	496,154-235,639	Suelo conformado por ceniza fina oscura, con un espesor visible de 3 m.
17	497,096-236,547	Es posible que en este punto aflore la parte superior de la secuencia piroclástica descrita en el punto 15.
18	496,579-235,892	Se observan cerros aislados dentro de uno de los valles (evidencias tectónicas).
20	496,427-233,427	Bloques subredondeados de andesita basálticas con piroxenos bien conservados. No hay claridad sobre el origen del depósito, podría ser más un coluvio
21	496,444-233,084	Toba brechosa similar a la detallada en punto 7.
24	497,315-235,119	Toba café compacta, similar a la detallada en punto 8.

Cuadro 1. Observaciones geológicas realizadas en Sarchí en los depósitos piroclásticos del área de estudio.⁴

⁴ P significa punto de descripción de tefras. Estos números se basan en los datos en la gira correspondiente, por tanto los últimos 4 puntos no son consecutivos, pues los números faltantes corresponden a observaciones de otra naturaleza. El punto 6 corresponde con observaciones realizadas en Cirrú Centro, a daños en el Salón Comunal, por lo tanto no se refiere en este cuadro.

Estos depósitos piroclásticos serán asociados en este trabajo a la Unidad Informal Santa Gertrudis Sur definida en Abarca et al. (2006).

4. Geomorfología

Desde el estudio de las formas de la superficie de la Tierra, cuya ciencia se denomina Geomorfología, los conjuntos de ríos asociados a un relieve particular generan formas en la superficie que se denominan patrones de drenaje. Este en el área de estudio los ríos son paralelos y discurren entre filas de colinas que muestran pendientes escarpadas (las que conforman los valles de los ríos) y cuyas laderas asociadas muestran evidencias de intensos procesos de erosión a nivel de cicatrices de deslizamientos y cárcavas. Los valles así formados presentan un perfil en V. Las filas presentan cimas angostas (divisoria angosta) y en algunos casos amplias (divisoria difusa). Estas filas y ríos forman un conjunto de relieve de orientaciones preferenciales NNE-SSW.

El patrón de drenaje observado es paralelo en el sector NE del área de estudio, formado por erosión de los depósitos volcánicos piroclásticos del cuaternario. El patrón existente en la esquina SE del mapa (ver Fig. 2) es más irregular, siendo un patrón dendrítico (similar a las raíces de las plantas), que sugiere erosión diferencial en materiales muy heterogéneos.

La Figura. 2 muestra el mapa geomorfológico del área de estudio. Muestra varias unidades geomorfológicas que corresponden generalmente con laderas de moderada a fuerte pendiente cuyas litologías asociadas muestran diferentes grados de erosión debido, entre otros aspectos, a que las unidades volcánicas piroclásticas informales son fácilmente disgregables, por lo tanto de fácil erosión, tal como se discutió en el apartado de geología. El área de estudio tiene un historial de eventos históricos a nivel de sismos y fuertes lluvias que han disparado deslizamientos en diversos sectores de ella, tal y como se muestra en el listado de deslizamientos históricos (siguiente columna). La Figura 2 muestra con estrellas los daños observados que corresponden a activación de sectores fotointerpretados como deslizamientos antiguos. Estos sectores corresponden con los barrios Rincón de Alpizar, Calle Cooperativa y Calle del Colegio Agropecuario.

Se observan sectores del terreno que muestra formas

planas onduladas de baja pendiente, tal como el sector donde se desarrolla la ciudad de Grecia. Estos relieves podrían estar apenas desarrollando patrones de drenaje similares a los que dominan el territorio estudiado.

Deslizamientos históricos y su relación con sismicidad y lluvias en la cercanía a Sarchí. Tomado de Peraldo y Rojas, 2000.

- 1911/08/28. Bajos del Toro: sobre cauce río Segundo, disparados por el terremoto de ese día, cuyo epicentro estuvo en Bajos del Toro.
- 1912/06/06. Cabecera y parte media del Río Sarchí sitio conocido como Las Chorreras: debido al Terremoto de Sarchí, en las cabeceras del Río Sarchí aproximadamente se deslizaron 300 manzanas de terreno. Hubo seis muertos por flujo de lodo en el río Sarchí. También se activan deslizamientos que afectan caminos, tales como el que comunica Sarchí y Grecia, y Grecia y Toro Amarillo.
- 1913/03/20. Cabecera río Sarchí: generaron flujos de lodo por el Río Sarchí.
- 1924/03/04. Bajos del Toro: causados por el sismo de San Casimiro del 4 de marzo de 1924, se reportan deslizamientos en Bajos del Toro.
- 1930/12/20. Carretera Grecia – Sarchí: producto de lluvias, se reportan como pequeños.
- 1933/10/04. Carretera Grecia – Sarchí: Producto de lluvias, se reportan como grande.
- 1955/01/03. Sarchí norte: la ladera de un cerro se deslizó sobre una casa de habitación, dejando 2 muertos, no se indican las causas del deslizamiento.
- 1955/09/01. Bajos del Toro: producto de terremoto, causando flujos de lodo en el río Segundo.
- 1955/10/17: Entre Sarchí y Toro Amarillo y entre los ríos Colorado y Sarchí: al huracán de la época.

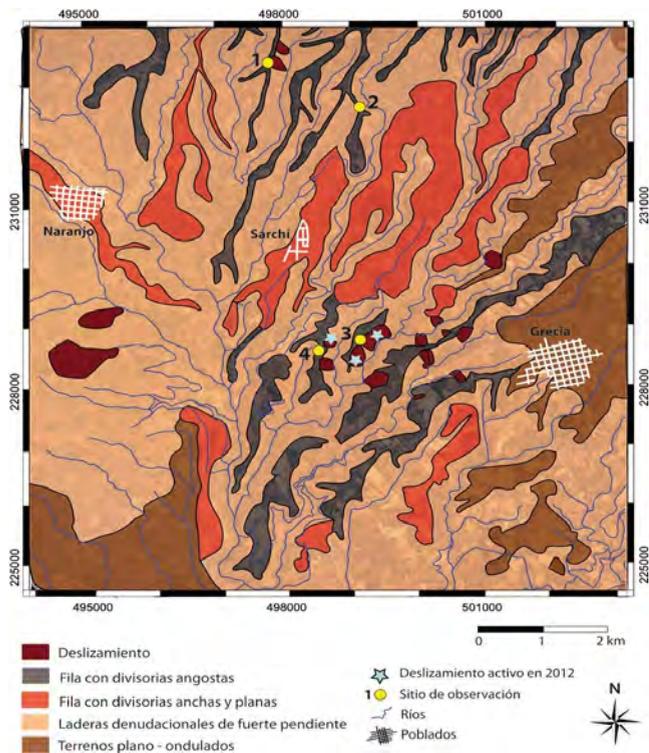


Figura 2: Mapa geomorfológico del área de estudio. Las estrellas señalan los sitios con presencia de daños en viviendas y ruptura en suelo, por reactivación de deslizamientos. Elaboración propia

5. El Impacto Del Sismo Del 5 De Septiembre En Sarchí

El impacto del sismo del 5 de septiembre en Sarchí fue particularmente importante en estructuras ubicadas en filas angostas y con laderas de fuerte pendiente.

Fue posible observar daños severos en estructuras asentadas sobre megarellenos mal diseñados y en las coronas de antiguos sectores con antiguos movimientos en masa.

La primera fuente de riesgo estudiada es la construcción de rellenos. En el cantón de Valverde Vega en las coordenadas 499,022 – 231,890 se observó un caso de un área afectada por inestabilidad de un megarelleno que altera la morfología original del terreno. Tiene aproximadamente 11 metros de espesor en algunos sitios (Figura 3). El relleno fallado se convierte en una amenaza para los alrededores por la posible producción de movimientos de importantes volúmenes de materiales hacia sectores con alturas menores.

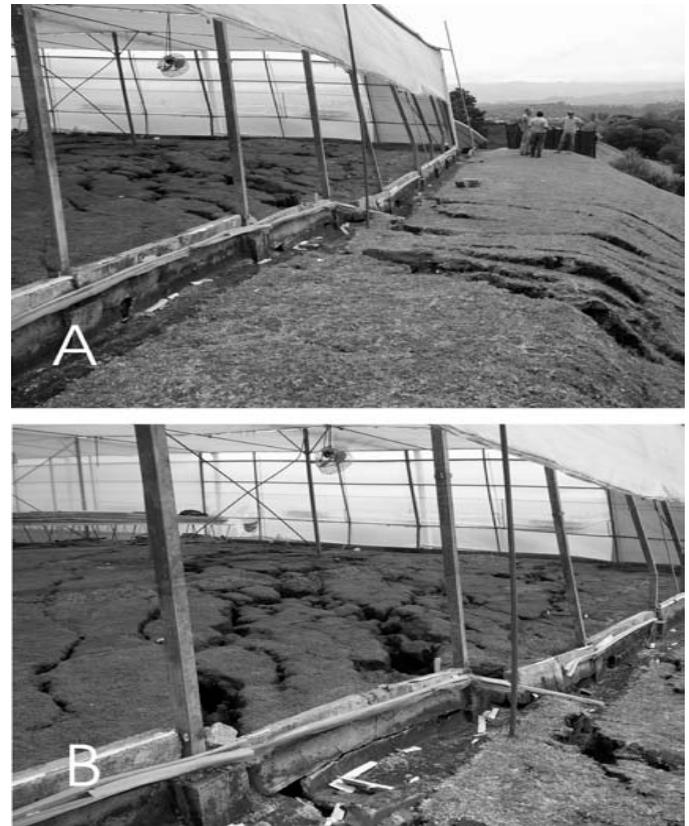


Figura 3: Rellenos de terrazas artificiales fallados. A) Obsérvese la amenaza sobre estructuras de viveros donde trabajan personas a niveles inferiores del sector fallado. B) Aspecto de las estructuras de metal afectadas por la falla en el relleno (coordenadas 499,022 – 231,890). Fotos G. Peraldo, 2012.

Otro efecto observado en el área de estudio, fue la reactivación de deslizamientos ubicados en laderas de fuerte pendiente. Tal es el caso de un sector de Calle Sinaí (coordenadas 499127 -232607) (Figura 4A) y en la carretera a Sabanilla (coordenadas 497,770 – 233,313) (Figura 4B). Ambos sitios presentan divisorias angostas que son ocupadas por las carreteras y algunas viviendas construidas en la parte alta de laderas que presentan pendientes superiores a los 30°. Los desplazamientos verticales de las áreas deslizadas estuvieron en el orden de los 2 cm, desplazamiento suficiente para producir una falla de importancia en la vía. La morfología de ambos sitios sugiere la existencia de coronas de antiguos deslizamientos.



Figura 4: A) Afectación en una vía de Sarchí (Calle Sinaí) por activación de un pequeño deslizamiento. Se observa la corona frontal y un leve desplazamiento vertical en el asfalto. B) Hundimiento a un lado de la vía a Sabanilla en su carril de ascenso. Fotos G. Peraldo.

También se vieron afectadas viviendas ubicadas en el Barrio Rincón Alpizar. En el centro de la población se observa una morfología que corresponde con una depresión y se interpreta como un deslizamiento antiguo cuya dirección aproximada es al NNW, pero el tamaño de esta forma, impide incorporarlo en la Figura 4. Presenta un escarpe pronunciado ocupado por dos viviendas destruidas en su totalidad y la vía principal del barrio cuyo espaldón muestra una ruptura por falla del terreno (Figura 5). No obstante, el centro de la depresión, que corresponde a las coordenadas 498,470-228,591, no parece haberse activado, pues una vivienda ubicada en ese sector no presentó daños. Esto permite suponer un movimiento restringido al sector del escarpe. En el sector oeste de la depresión (coordenadas 498,433-228,541) fue medida una fisura recta de una continuidad decamétrica y abierta cerca de 1,5 cm, de rumbo NE-SW parece confirmar la inestabilidad del escarpe correspondiente a su corona frontal.



Figura 5: Rincón Alpizar: A) Detalle de colapso de muro en vivienda. B) Grado de destrucción de vivienda y detalle de problemas relacionados con el suelo. C) El suelo falló por lo que las estructuras cimentadas en él se destruyeron D) detalle de destrucción en vivienda. En este punto es muy probable que el factor topográfico y de amplificación generara el problema. Esto porque el terreno circundante no se encuentra fallado. Fotos C. Matamoras, 2012.

En las coordenadas 498,571-228,622 en Rincón Alpizar fueron severamente afectadas tres viviendas. En una de ellas el terreno no muestra agrietamientos ni otras características que sugieran problemas geotécnicos, sin embargo, la vivienda presentó daños totales, que en apariencia pudieron corresponder a problemas estructurales (Figura 6A). La otra vivienda quedó inhabitable y presentó problemas relacionados con fracturas en el suelo (Figura 6B). Contiguo a la vivienda existe otra, que no presentó daños severos, sin embargo el terreno quedó completamente fisurado con fracturas abiertas de rumbo aproximado N-S, paralelas a la pendiente (Figura 6C y 6D). Se fotointerpreta en el sitio una morfología asociada a un antiguo deslizamiento.

Un entrevistado indicó que observó cuando se empezaron a formar las grietas, y a tres familiares que cayeron producto del movimiento y la fuerza del sismo los levantaba del suelo todo lo cual duró varios segundos. Señaló que observó las grietas abriese y cerrarse y de ellas salía polvo y un ruido similar a un fuelle, (Ricardo Garro, com. pers., 2012). Esta información sugiere aceleraciones importantes.



Figura 6) Daños en viviendas en la localidad de Rincón de Alpizar.

En el Barrio Calle Cooperativa se observó una fila de 100 m de viviendas afectadas por fisuras continuas de rumbo N-S que afectaron varias viviendas ubicadas en las coordenadas 499,109-228,803. El rumbo de las fisuras cambia a E-W en las coordenadas 499,108-228,751 y generó daños en otras viviendas. La Figura 7 muestra diferentes imágenes relacionadas con los daños observados.

En el barrio de Calle Colegio Técnico (coordenadas 498,305-229,747) se reactivó un deslizamiento en la corona lateral sur. Afectó parcialmente una vivienda (Figura 8).

Otras viviendas ubicadas en el sector, se vieron afectadas, algunas por mala construcción y antigüedad de las estructuras y por estar en las cercanías del deslizamiento y se convierte en un elemento de amenaza directa para la vivienda y secundaria por obstrucción de la salida que tienen las personas que habitan en el lugar.



Figura 7: Diferentes escenas de daños en la Calle Cooperativa. Muchos de ellos presentan daños por mala construcción, sin embargo, se observan fisuras en el suelo, tal como se observa en I) y en J). Fotos de Cristian Matamoras.



Figura 8: Dos visitas del área afectada por corrimiento de la corona lateral de deslizamiento ubicado en coordenadas 498,305 - 229,747 en Calle Colegio Técnico.

En las coordenadas 498,375-229,692 fueron observadas fisuras en pisos de mosaico y que presentan desplazamientos horizontales centimétricos (Figura 9). Las fisuras ya existían antes del sismo, lo que sugiere que la vivienda esté sobre un relleno que falló o una ladera inestable.



Figura 9: Pisos con fisuras importantes. Vivienda ubicada en las coordenadas 498,375-229,692, caserío en Calle Colegio Técnico.

Otro factor de riesgo es la litología correspondiente con depósitos piroclásticos poco cohesivos, tal como se observó en diferentes taludes de carretera, donde hubo desplazamientos del material. En las coordenadas 498,943-229,399, se produjo un deslizamiento en el talud que afectó el tendido eléctrico del sector y obstaculizó la carretera.

6. Discusión

Es posible que los daños observados en el Cantón de Valverde Vega obedezcan a varios aspectos que pudieron actuar de manera conjunta: 1. Aceleraciones importantes, 2. Efectos de sitio, tales como amplificación de onda, que puede ser un efecto conjunto entre las morfologías y la litología descritas en este trabajo, 3. Reactivación de áreas inestables tal y como se ha observado y fotointerpretado y 4. Problemas constructivos.

En cuanto a aceleraciones importantes, la sugerencia se basa en la información aportada por la persona entrevistada, anotada líneas arriba. La forma en que los cuerpos se movieron, en brincos separándose del suelo, podría confirmar esta posibilidad. En cuanto a este aspecto Rojas (2012) señala que debido a la geometría de la ruptura ocurrió direccionalidad de las ondas P y S hacia el NE, concretamente sugiere que en Sarchí ocurrió amplificación que disparó deslizamientos y generó los daños observados.

Los efectos de sitio lo pueden confirmar algunos de los daños generados y su naturaleza podría proceder

de las características morfológicas de las áreas en que se ubican las estructuras dañadas, así como las características litológicas de los materiales que forman las áreas estudiadas.

En cuanto a los efectos de sitio tales como la amplificación de onda, Tsige y García (2006) ofrecen una tabla con información de Vs y amplificación estimada para diferentes tipos de materiales. En el caso que nos ocupa, la litología es volcánica relacionada a depósitos piroclásticos de caída, gruesos y finos, que originan suelos arenosos, y algunos limosos.

Se considera, por lo observado en campo, que los suelos y litología existente en Sarchí y alrededores, podría ser equiparada con lo que Tsige y García (2006) denominan suelos cohesivos blandos que muestran una $V_s = 150 - 180$ m/s y una amplificación relativa / numérica de 2,5. Estos valores podrían corresponder con los niveles tefroestratigráficos de brechas y tobas moderadamente cohesivas localizadas en varios sitios del área de estudio. Pero se tienen niveles potentes métricos de piroclastos de caída sin cohesión, al tacto corresponden con arenas medias a gruesas, por lo que para estas litologías se puede comparar con los suelos que los autores referidos denominan suelos no cohesivos inestables cuyos valores serían, según Tsige y García (2006) $V_s = 180 - 250$ m/s y la amplificación relativa / numérica de 2,0.

La reactivación de áreas inestables es una fuerte posibilidad para explicar algunos de los daños, más cuando los efectos vistos en suelo y viviendas en Rincón Alpízar y Calle Cooperativa, coinciden con las formas de remoción en masa fotointerpretadas. La Figura 2 muestra la ubicación de los posibles deslizamientos y de las estructuras afectadas. Incluso, dichas reactivaciones de las áreas inestables fotointerpretadas pueden haber sido disparadas por aceleraciones y amplificación sísmica.

La fotointerpretación efectuada aportó información relacionada con pequeñas áreas que muestran morfologías asociadas a movimientos de remoción en masa, coincidentes con los sectores donde hubo formación de fisuras abiertas en el suelo, sobre todo en Rincón Alpízar y en Calle Cooperativa y que afectaron viviendas. Los tres barrios visitados, muestran efectos por reactivación de laderas inestables.

Del cuadro 2 se desprende que la morfología conformada por serranías alargadas y angostas y una litología de origen volcánico, meteorizada y sumamente potente, da problemas de inestabilidad de laderas en respuesta a sismicidad originada en el área del cantón y en zonas sísmicas distantes, como se observó recientemente con el sismo de Sámara del 5 de septiembre de este año. Pero también llama poderosamente la atención el hecho de que

en 1913 se reportó actividad sísmica local, que es un dato de sumo interés para estudiar el área desde un enfoque de neotectónica, pues de existir fallamiento activo, este puede reactivarse como respuesta a grandes sismos.

7. Conclusiones

Los sectores que mostraron daños se ubican sobre filas angostas separadas por gargantas y cañones de laderas de fuerte pendiente.

Los daños observados en el cantón de Valverde Vega se relacionan con la reactivación de deslizamientos y la respuesta de la morfología y la litología a las sollicitaciones sísmicas.

8. Recomendaciones

El gobierno local de Valverde Vega debe considerar la experiencia generada por el sismo del 5 de septiembre de 2012, con el fin de reducir el riesgo ante eventos similares en un futuro. Se debe propiciar un estudio científico que integre geología, geomorfología, sismología y geotecnia con el fin de conocer posibles comportamientos que los suelos y las morfologías puedan presentar durante sismos similares al ocurrido el 5 de septiembre de 2012 y realizar con esto una zonificación que coadyuve la construcción segura.

También, es tiempo de considerar las características geomorfológicas como un factor importante en el desarrollo urbano. La ubicación de viviendas aún no cuenta con una legislación adecuada y queda al criterio del profesional encargado. Debe considerarse una legislación que sienta las reglas del juego respecto a la ubicación segura de infraestructura urbana y que dicha legislación se integre a la ya existente para fines de seguridad. Además, queda claro que los escenarios de riesgo a considerar para un terremoto ubicado en una zona sísmica de subducción producirá efectos importantes a distancia y esto debe tomarse en consideración para poblaciones ubicadas en áreas que generarán efectos de sitio perniciosos para

el desarrollo urbano y productivo. MIDEPLAN que ha estado fomentando la discusión sobre el desarrollo futuro de la GAM no puede dejar pasar esta experiencia del terremoto en Sámara y formar un foro de discusión al respecto.

Tomar en cuenta la geomorfología general, necesariamente, un mayor conocimiento sobre las laderas inestables, lo que es vital para redireccionar el crecimiento urbano en el país.

Pero, también debe realizarse un profuso estudio de sismicidad y neotectónica con el fin de estudiar las zonas sísmicas fuente de los sismos de Bajos del Toro, y la sismicidad de 1913 en las cabeceras del río Sarchí.

La enseñanza reciente señala que viviendas sobre rellenos, o en las cimas de filas angostas llegaron a tener muchos daños por efectos de la radiación de la energía del terremoto.

9. Referencias bibliográficas

- Abarca, S., Acosta, P., Durán, M., González, C., Lucké, O., Marín, C., Matamoros, R., Padilla, A., Quintanilla, E., Ramírez, C., Sandoval, M., Vargas, A. y Vindas, A. (2006). Tefrostratigrafía y peligro volcánico de los sectores sur y suroeste de los volcanes Barva y Poás, Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, informe inédito.
- Campos, A., Castro, L., Gazel, E., Jara, D., Montes, N., Murillo, S., Ramírez, S., Ruíz, P. y Sequira M. (2005). Informe de campaña geológica, 2004: geología, geomorfología, amenazas naturales del cantón de Poás, Alajuela. Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, informe inédito.
- Peraldo, G. y Rojas, E. (2000). Catálogo de deslizamientos históricos de Costa Rica, 1772-1960. Informe Semestral Instituto Geográfico Nacional (IGN), (36), 123-171.
- Peraldo, G. y Arias, O. (2012) Efectos del terremoto en los cantones de Grecia y Sarchí. En: Linkimer, L. y Soto, G. eds. El Terremoto de Sámara del 5 de septiembre de 2012. San José, C.R. : Red Sismológica Nacional, 88-91.
- Rojas, W. (2012). Interpretación preliminar de la zona de ruptura y directividad de la energía. En: Linkimer, L. y Soto, G. eds. El Terremoto de Sámara del 5 de septiembre de 2012. San José, C.R. : Red Sismológica Nacional, 41-42.
- Tsigé, M. y García, I. (2006). Propuesta de clasificación geotécnica del "efecto sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la región de Murcia. Geogaceta, 40: 39-42.
- Vargas, A., Linkimer, L., Barquero, R., Rojas, W. y Boschini, I. (2012). Intensidades y principales efectos. En: Linkimer, L. y Soto, G. eds. El Terremoto de Sámara del 5 de septiembre de 2012. San José, C.R. : Red Sismológica Nacional, 30-32.