

DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN LA VERTIENTE SUR DE LA SIERRA LAS VIGAS-TECUÁN, SAN JUAN COSALÁ, JOCOTEPEC, JALISCO

Carlos Suárez Plascencia, Gustavo Saavedra de la Cruz y Lourdes Sánchez Vázquez
 Depto. de Geografía y Ordenación Territorial, Universidad de Guadalajara
 E-mail: csuarez@udgserv.cencar.udg.mx

RESUMEN

El 8 de septiembre de 1997 la localidad de San Juan Cosalá y la Sierra Las Vigas, ubicadas en la margen norte del Lago de Chapala, fueron afectadas por una intensa precipitación de tipo local, estimada en 50 mm en 20 minutos. Esta lluvia generó siete flujos de lodo y roca, que se desplazaron por barrancas cuyas cabeceras se ubican en la parte alta de la Sierra Las Vigas-Tecuán. Los flujos de detritos finos y rocosos se emplazaron en forma de abanico sobre la zona de piedemonte y la planicie en (por lo menos) tres eventos sucesivos con separación de algunos minutos. El proceso dejó un depósito compuesto de lodo, rocas y materia vegetal que alcanzó un espesor entre 0.60 y 3.50 m, afectando el sector poniente de San Juan Cosalá, los fraccionamientos residenciales de tipo campestre Tempisque y Villas El Limón, además de varias hectáreas de cultivos de hortalizas.

Palabras clave: Flujo de lodo y rocas, Sierra Las Vigas, San Juan Cosalá.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra en el Graben de Chapala. Este se define como una depresión alargada y angosta de origen tectónico de 90 km de longitud y 10 km en anchura en su parte más estrecha, y de 25 a 30 km en sus partes más amplias (Delgado, 1992). La localidad de San Juan Cosalá se ubica en el extremo noroeste del sector norte del graben, entre las coordenadas extremas 20°17'30" y 20°18'30" N y 103°20'30" y 103°21'45" (Figura 1), que comprenden la zona norponiente y poniente de la localidad. Esta incluye parte de la Sierra El Tecuán y el piedemonte formado por depósitos coluviales del Cuaternario y la planicie lacustre del Lago de Chapala. La localidad está a una altura relativa de 760 metros con respecto a la cima de la montaña. El conjunto tiene una pendiente promedio de 40°, pero se observan varios escarpes con pendientes de 90°. Esta localidad está habitada por una población indígena que vive en la mayor parte del pueblo y una por extranjeros, predominantemente ancianos de nacionalidad americana y canadiense. Los últimos viven en una serie de fraccionamientos de tipo residencial campestre construidos a partir de la década de los ochenta en la zona de piedemonte de la Sierra Las Vigas y El Tecuán.

METODOLOGÍA

Después del deslizamiento de tierras ocurrido el 8 de septiembre de 1997, se realizaron dos sobrevuelos en helicóptero que sirvieron para cartografiar las áreas afectadas por los flujos de lodo, rocas y materia vegetal provenientes de las laderas altas y medias de la montaña. Se realizó la fotointerpretación de fotografías aéreas verticales escala 1:37,000 del INEGI y de las fotos oblicuas tomadas durante los vuelos de observación. Posteriormente se efectuaron visitas



Figura 1. Localización geográfica de la localidad de San Juan Cosalá, en el municipio de Jocotepec, Jalisco

de campo con tres objetivos: a) verificar la interpretación fotogeológica, b) recopilar información de daños y c) cartografiar a detalle las áreas afectadas, así como las trayectorias de los flujos y zonas de origen. Finalmente, se elaboró la cartografía a escala 1:25,000 y se cuantificaron los daños sobre la mancha urbana y los cultivos agrícolas.

ANTECEDENTES METEOROLÓGICOS

De acuerdo con los datos de la Estación Meteorológica Chapala (20°18'N, 103°12'W y 1560 m.s.n.m.), el clima del lugar es (A)C(M)(w₀)a, (clasificación de Köppen modificada),

es decir, semicálido, con un porcentaje de lluvia invernal de 2.3 % con relación a la precipitación anual; el cociente P/T (precipitación media anual sobre la temperatura media anual) es de 40.7, el más seco de esta clase de climas. El verano es cálido, con temperaturas en el mes más caliente de alrededor de 22.8°C.

De acuerdo con el Segundo Sistema de Thornthwaite, el clima es $C_2w_2B'_3a'$, es decir, ligeramente húmedo, con gran deficiencia de agua invernal y templado cálido de acuerdo a su categoría de temperatura.

De acuerdo con los datos del clima de la Estación Chapala, la precipitación media anual de la región es de 810.9 mm (en 1941 se midieron 1281.0 mm y en 1954 sólo 486.1 mm). El período húmedo, lapso en el cual la precipitación es mayor que la evapotranspiración, es más o menos de 19 semanas y se extiende desde la tercera semana de mayo hasta la primera de octubre. En esta época la precipitación es de aproximadamente 717.6 mm, que equivale al 88 % del total anual.

El área de estudio presenta dos períodos con exceso de humedad; el primero desde principios de junio hasta finales de julio y el segundo, desde la primera semana de agosto hasta finales de septiembre. Por otro lado, hay humedad almacenada en el suelo desde mediados de mayo hasta la última semana de noviembre.

La precipitación histórica máxima media en 24 horas fue de 74.4 mm y se registró el 2 de agosto de 1948; en promedio, la lluvia máxima en un día es de 17.1 mm en mayo, 33.6 mm en junio, 41.4 mm en julio, 36.4 mm en agosto y 34.3 mm en septiembre. Estos datos reflejan la magnitud relativa de la precipitación de 50 mm en 20 minutos, ocurrida el 8 de septiembre de 1997 a las 7:20 A.M. (comunicación personal de la CNA e investigadores del Instituto de Meteorología de la Universidad de Guadalajara).

Durante el temporal de lluvias, en la región de Chapala es común que se presenten zonas de baja presión que generan lluvias intensas y de corta duración sobre las laderas de las sierras que circundan al lago. Este tipo de fenómenos es conocido por los pobladores del área como "culebras" o "trombas".

El fenómeno meteorológico que provocó los flujos de lodo y rocas que afectaron al sector central y poniente de la localidad de San Juan Cosalá, inició el 7 de septiembre con una lluvia de baja intensidad que duró varias horas en la región de Chapala-Jocotepec. Esta lluvia cesó durante algunas horas de la madrugada del 8 de septiembre. A las primeras horas de ese día se formó una zona de baja presión sobre la cima y vertiente sur de la Sierra Las Vigas-Tecuán. Esta anomalía barométrica formó un cumulus nimbo de gran altura que generó a las 7:20 A.M. (12:20 GMT), la precipitación extraordinaria. La cantidad de agua precipitada ese día representa el 37.9% del total mensual. Un fenómeno similar

ocurrió el 10 de septiembre de 1935, cuando se registraron 58 mm en 24 horas, sin reportes de efecto alguno sobre la ladera.

MARCO GEOLÓGICO

El área afectada se encuentra en el Graben de Chapala orientado E-W. Está delimitado por los bloques levantados de la Sierra Las Vigas-Tecuán al norte y la Sierra La Difunta al sur.

Litológicamente, la Sierra Las Vigas y El Tecuán están formadas por una secuencia de rocas denominadas Vulcanitas Indiferenciadas del Mioceno-Plioceno (Delgado, 1994) que incluyen rocas andesíticas, basálticas, brechas basálticas y algunos depósitos de tobas cuya edad varía entre 6.3 y 4.5 Ma. Estas rocas fueron extrudidas por una actividad de tipo monogénico y fisural. Este grupo subyace a rocas volcánicas silíceas del Grupo Chapala, formadas por derrames de lava y depósitos de caída y de flujo, mezclados con sedimentos lacustres del Lago de Chapala.

El piedemonte de la Sierra Las Vigas está formado por una sucesión de depósitos de abanicos de depósitos aluviales y coluviales, en donde predominan los bloques angulosos y semiangulosos con matriz arcillosa de color café. En la parte baja de esta unidad, depósitos coluviales están interdigitados con depósitos lacustres recientes del Lago de Chapala.

Estructuralmente la Sierra Las Vigas está afectada por una serie de fallas normales y lístricas, con orientación general N50-60°E que están bien expuestas en los cauces de las laderas de la montaña. Las fallas han provocado el desprendimiento de rocas, que se han acumulado en los cauces y fueron removidas durante la tormenta del 8 de septiembre de 1997.

GEOMORFOLOGÍA

Atendiendo a indicadores de pendiente, litología y grado de incisión, la ladera sur de la Sierra Las Vigas-Tecuán se divide en cuatro principales geoformas: a) Escarpes de la cima de la sierra. b) Interfluvios con pendiente mayor de 25°, localizados en la ladera sur de la sierra. Los interfluvios forman la principal unidad geomorfológica de la zona de estudio. Son alargados de forma convexa con orientación norte-sur. Las crestas tienen una anchura que alcanza hasta 200 metros y sus pendientes en general son mayores al 36%, incrementándose en las proximidades de la cresta de la montaña, donde se ubican varios escarpes verticales y disminuyen a menos del 15% en la zona de contacto con el piedemonte. c) Cauces que inciden sobre la ladera sur de la sierra y que drenan hacia la localidad de San Juan Cosalá. Morfológicamente, estos cauces son angostos, su profundidad de disección varía entre los 10 y 50 m y las pendientes oscilan entre 10° y 32° (Figuras 2 y 3); las cabeceras activas se ubican en el escarpe que caracteriza la cima de la Sierra. En la Figura

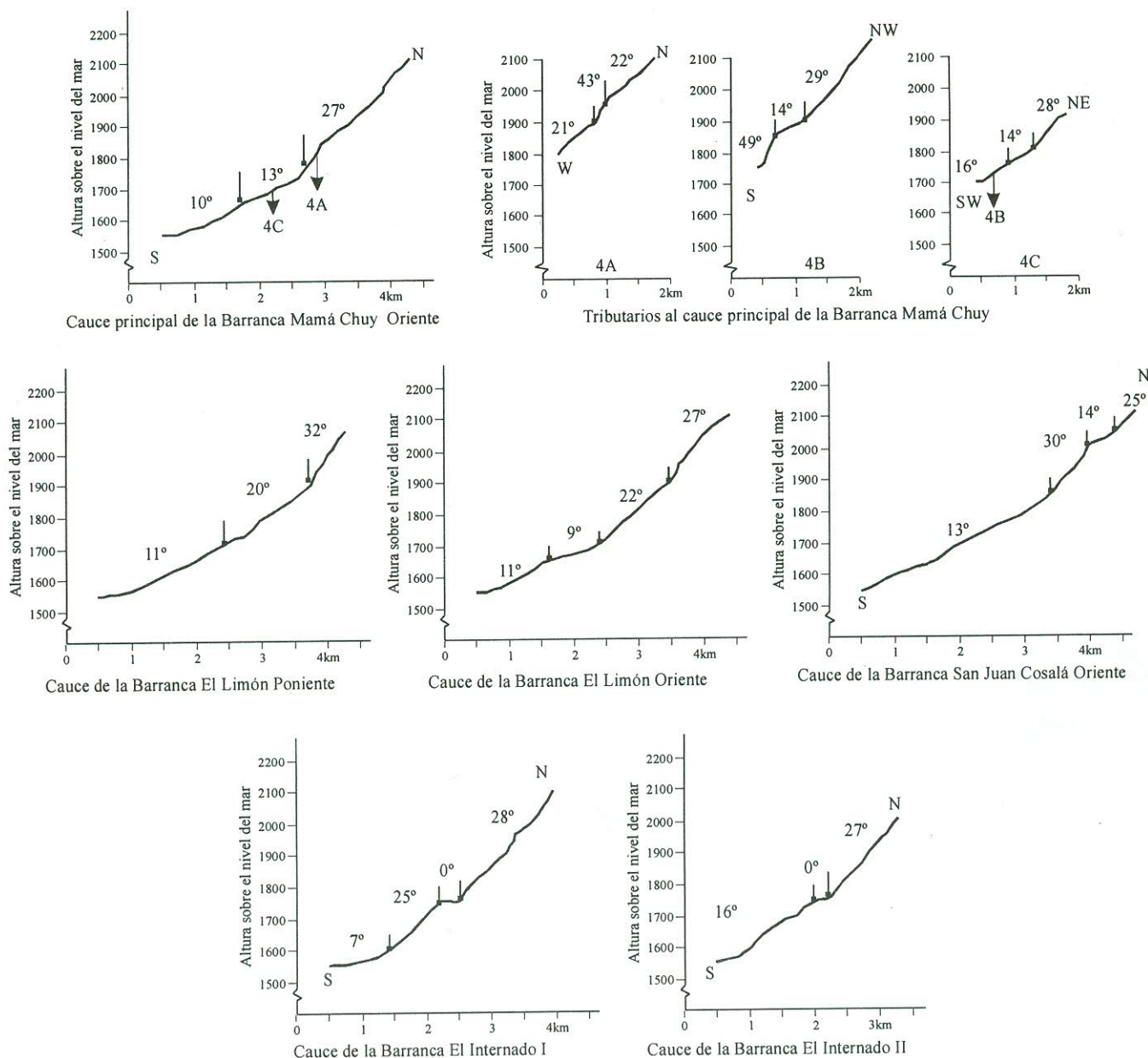


Figura 2. Perfiles topográficos y pendientes de los cauces principales y tributarios de la barrancas que canalizaron los flujos de lodo y rocas del 8 de septiembre de 1997

4 se muestran las siete microcuencas, cuyas características morfométricas se presentan en la Tabla 1. d) La unidad piedemonte acumulativo se ubica a partir de la cota 1650 m aproximadamente y termina en la cota 1550 m, zona donde entra en contacto con la planicie lacustre del Lago de Chapala. El piedemonte tiene una pendiente promedio de 7°, que ha favorecido la creación de fraccionamientos de tipo residencial. Hacia el oriente de San Juan Cosalá, el piedemonte está más extendido y en él inciden cuatro arroyos que drenan hacia el área urbana de la localidad. Cabe mencionar que estos arroyos no transportaron detritos durante el evento de 8 de septiembre de 1997 y, al realizar el recorrido de campo, se observó abundante material detrítico en los cauces. e) La planicie lacustre forma la parte más baja de la localidad de San Juan

Cosalá y se ubica a una altura promedio de 1520 msnm; tiene una pendiente menor al 5% y limita al sur con el Lago de Chapala.

GENESIS DEL FENOMENO

Con base en las observaciones realizadas durante el vuelo en helicóptero el 12 de septiembre de 1997, las visitas de campo a la zona afectada y a los cauces e interfluvios de la ladera sur de la Sierra Las Vigas-Tecúan, así como de las pláticas con los afectados en la zona poniente de San Juan Cosalá, se supo que desde la 9:00 de la noche del 7 de septiembre se inició una precipitación moderada sobre la región

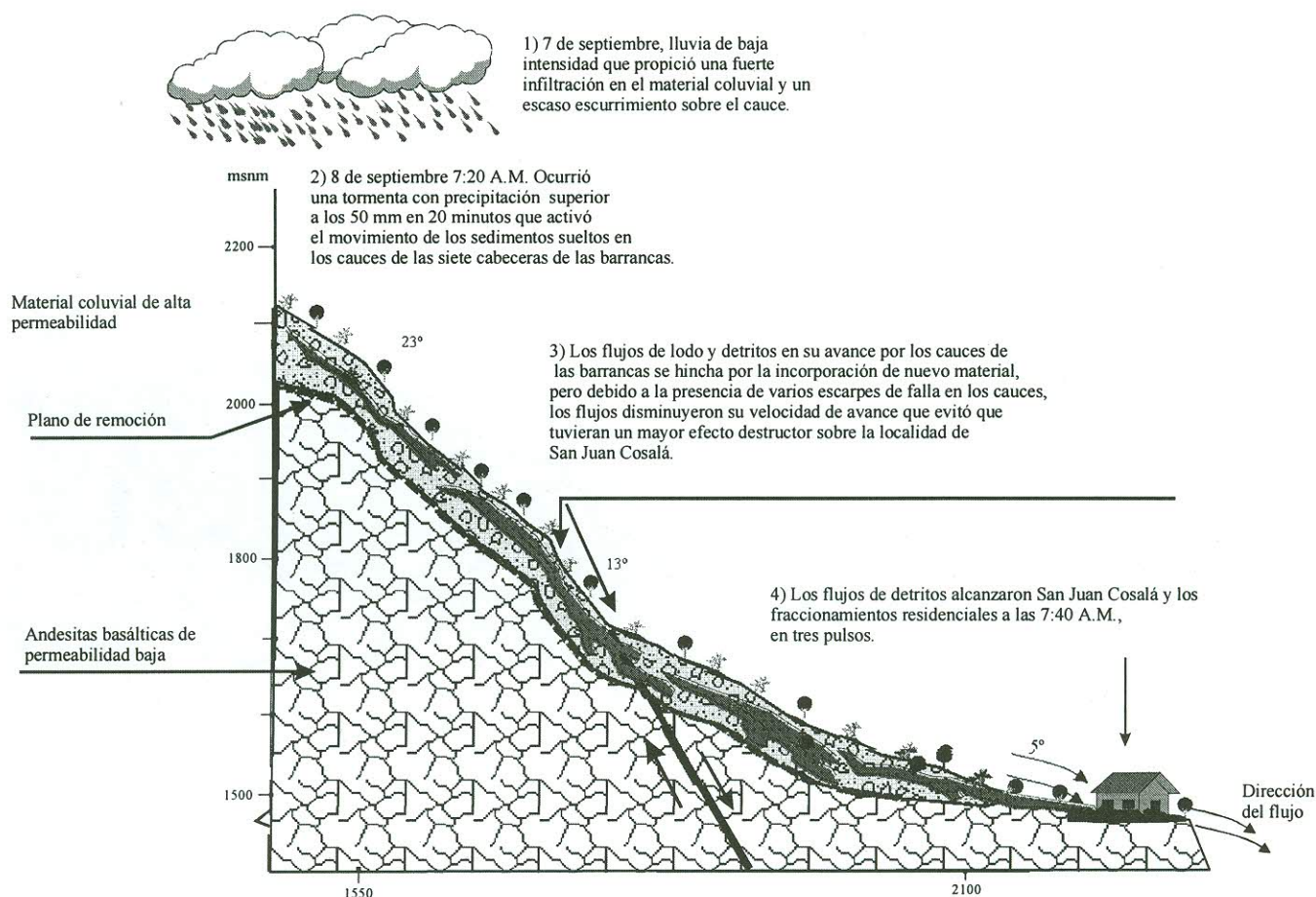


Figura 3. Perfil esquemático de una de las barrancas que inciden en la ladera sur de la Sierra Las Vigas-El Tecuán. En este diagrama se indica el mecanismo de los flujos de lodo y rocas que afectaron a la zona urbana y periurbana de San Juan Cosalá el 8 de septiembre de 1997.

norte del Lago de Chapala, la cual continuó toda la noche hasta el amanecer. A las 7:20 A.M del 8 de septiembre se presentó una intensa lluvia que no fue registrada por ninguna estación meteorológica de la zona pues fue de tipo puntual que afectó con gran intensidad a la zona inmediata a San Juan Cosalá. La precipitación fue de aproximadamente 50 mm en tan sólo 20 minutos, equivalente a 230, 830 m³ de agua en las siete microcuencas. La Tabla 2 muestra una estimación del agua precipitada en cada microcuenca afectada.

FACTORES Y MECANISMOS DE GENERACIÓN DE LOS FLUJOS

Las propiedades físicas de los flujos de lodo y rocas en zonas de altas pendientes están controlados por el tamaño del grano, de los bloques y del contenido de agua (Fisher, 1971), y típicamente incluyen tres aspectos: a) una alta resistencia a punto cedente, b) una densidad total alta (puede alcanzar los 2000 kg/m³) y c) viscosidades altas (Neill, 1976; Costa, 1984). Durante el avance del flujo desde el sector superior de la cuenca hasta alcanzar el valle, se presentaron los siguientes procesos:

Tabla 1. Características morfométricas de las microcuencas que transportaron los flujos de lodo y rocas

MICROCUENCA	SUPERFICIE (hectáreas)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (metros)	DIFERENCIA DE ALTURA	PENDIENTE %
San Juan Cosalá Oriente	74.62	2,355	750 m	31.84
Internado	90.59	2,201	640 m	29.07
Mamá Chuy Oriente	100.51	1,337	590 m	44.12
Mamá Chuy Poniente	25.44	1,987	570 m	28.68
El Limón Oriente	67.88	1,917	680 m	35.47
Tempisque	83.83	1,937	500 m	25.81
Limón Poniente	18.79	1,928	350 m	18.15

Tabla 2. Estimación del agua recibida en cada microcuenca

Microcuenca	Superficie (m ²)	Agua precipitada (m ³)
San Juan Cosalá Oriente	746,200	37,310
Internado	905,900	45,295
Mama Chuy Oriente	1'005,100	50,255
Mama Chuy Poniente	254,400	12,720
El Limón Oriente	678,800	33,940
El Limón Poniente	187,900	9,395
Tempisque	838,300	41,915

1. El flujo de agua incorporó progresivamente más sedimentos del piso y de las paredes del cauce en un proceso conocido como hinchamiento.
2. Conforme el flujo llegó a zona de baja pendiente bajó su densidad, debido al incremento de agua o a la pérdida de sedimentos depositados en la zona inmediata a la boca de la barranca, transformándose en flujos con sedimentos finos, denominados flujos de creciente hiperconcentrados, que presentan entre el 20 y el 60% de sedimentos por volumen.

Con base en lo anterior y el trabajo de campo efectuado, se interpreta que el flujo de lodo y rocas que afectó a San Juan Cosalá se originó a partir de la repentina precipitación y ocasionó que los materiales sedimentarios de las microcuencas, ya saturados de agua desde la noche anterior, sobrepasaran su capacidad normal de infiltración, lo que provocó la remoción de rocas, grava y arena de las cabeceras de los arroyos principales y de sus cauces tributarios. El material acarreado por los flujos de lodo consistió en bloques de andesita y brechas volcánicas de tamaños que variaron de pocos centímetros hasta de 3.5 m aproximadamente, aumentando la capacidad de abrasión sobre el fondo y paredes de los cauces. El flujo también incorporó troncos y maleza. Transcurrieron 25 minutos para que el primer flujo de material compuesto por lodo y grava alcanzara las primeras casas ubicadas en las desembocaduras de los arroyos, según se indica en la Figura 3.

Poco después llegó un segundo pulso de alta densidad formado fragmentos de roca gruesos, bloques, troncos y lodo, que destruyó el suelo de las zonas con cultivos de ladera (coamiles). Varias construcciones ubicadas en las cercanías de los cauces y en lomas bajas fueron afectadas (casas de los suizos) y el flujo alcanzó a las localidades de Villas El Limón, Tempisque y el sector poniente de San Juan Cosalá.

Finalmente, se emplazó un flujo hiperconcentrado de lodo fino de baja viscosidad que alcanzó la carretera Chapala-Jocotepec y a algunos pequeños sectores de la ribera del Lago de Chapala.

El espesor de los depósitos de los flujos en algunos puntos anteriores a la desembocadura de las barrancas fue de cinco a seis metros, mientras que en las desembocaduras fue de tres metros, sepultando automóviles, casas, calles y cultivos. En

la fase distante del depósito el espesor fue de 0.30 m, cerca de la carretera Chapala-Jocotepec

CARACTERISTICAS DE LOS FLUJOS DE DETRITOS Y LODO

El volumen de lodo y rocas depositado en el piedemonte y la planicie fue de 0.0452 km³. Este depósito se dividió en tres secciones:

- a) Sección proximal: Se ubica en la zona del ápice de los arroyos. El depósito se caracteriza por estar formado por bloques, los cuales disminuyen hacia la parte superior de los cauces que quedaron totalmente limpios de material sedimentario.
- b) Sección intermedia: Se ubica entre el ápice de los arroyos y la cota 1550. Los depósitos se caracterizan por la abundancia de bloques con tamaños que varían desde pocos centímetros, a bloques de aproximadamente 1.20 m de diámetro. La cantidad de matriz en los depósitos depende de la cuenca en que se transportó el material. Las cuencas El Internado y El Limón Oriente mostraron una gran cantidad de matriz de limo-arcilla en el depósito, alcanzando una altura en la parte norte de la Villa El Limón de 2.4 m, y en la cuenca El Internado de 0.50 m. En el resto de las cuencas los depósitos se caracterizaron por la abundancia de rocas y se ubicación dentro del cauce.
- c) Sección distal: Se forma por depósitos finos de arcillas y limos que se depositaron aproximadamente a partir de la cota 1550 m, cubriendo el oriente del Internado de Niños con una capa de 0.40 m. En la cuenca El Limón Oriente el flujo de lodo alcanzó la carretera Jocotepec-Chapala y en algunas zonas llegó hasta el Lago de Chapala. El espesor del depósito fue de 0.50 cm en el sector sur del Fraccionamiento Villas el Limón. El Fraccionamiento Mamá Chuy, ubicado en la cuenca del mismo nombre, el depósito distal de lodo se quedó atrapado en la zona urbana, donde su espesor promedio fue de 0.60 cm. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los daños a las casas y zonas de cultivo en el piedemonte de la Sierra Las Vigas-Tecuan.

EFFECTOS SOBRE LA SOCIEDAD

El fenómeno destruyó cinco casas construidas con materiales de baja calidad, afectó las estructuras de otras cinco y catorce casas más resultaron azolvadas. El área de afectación incluye los fraccionamientos Tempisque, Villas El Limón y sector poniente de San Juan Cosalá (Figura 4).

Con respecto a las áreas agrícolas, 28 hectáreas con cultivos de chayote, maíz de temporal y algunos huertos fueron dañados. De éstos, aproximadamente el 30% fue por flujos de bloques y el resto por flujos de lodo. En estas últimas, la

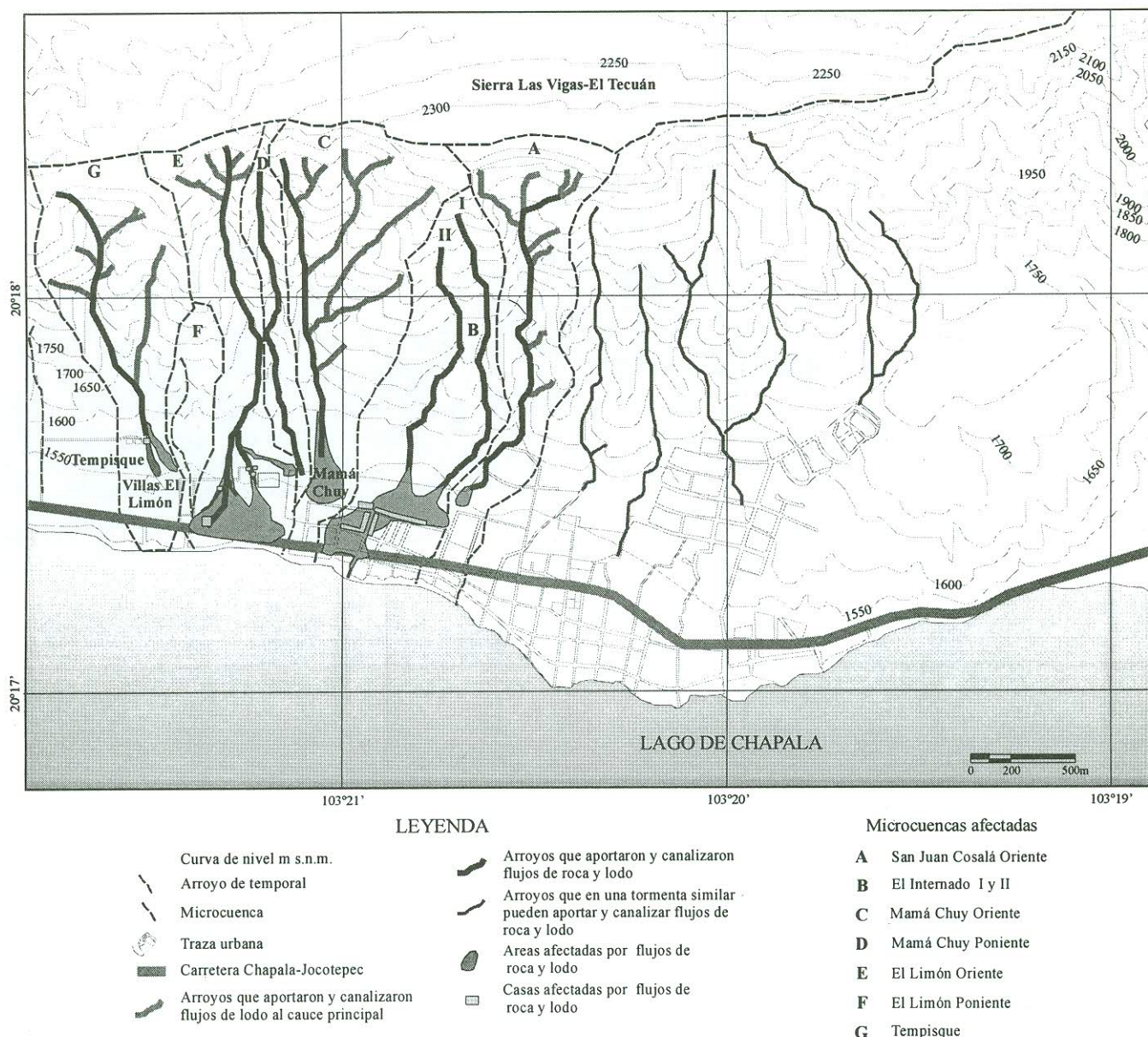


Figura 4. Mapa de las áreas de afectación por flujos de roca y lodo, en la localidad de San Juan Cosalá del 8 de septiembre de 1997

recuperación será rápida ya que el lodo está formado principalmente por arcillas, limos y abundante materia orgánica.

CONCLUSIÓN

El siniestro que afectó a San Juan Cosalá invita a reflexionar sobre los procesos de urbanización en localidades ubicadas al pie de relieves con una alta pendiente, como las localidades situadas en la ladera norte y sur del Lago de Chapala (Chapala, Ajijic, San Antonio Tlayacapan, San Juan Cosalá, San Luis Soyatlán) y otras localidades importantes como son: Ciudad Guzmán, Sayula, Amacueca y Atenquique.

San Juan Cosalá y su periferia han sido urbanizados durante los últimos veinte años y este desarrollo ha obstaculizado los cauces provenientes de la montaña y que drenan al Lago de Chapala.

La conjunción de factores antrópicos y fenómenos naturales extraordinarios (tormentas, sismicidad, etc.) han generado la remoción y transporte de grandes cantidades de roca y lodo y afectan de manera temporal las actividades agrícolas, turísticas y urbanas de la población. De aquí surge la necesidad de hacer estudios de planeación urbana en localidades que se ubiquen en las partes bajas de cuencas de alta pendiente que incluyan el conocimiento de las dinámicas geológico-geomorfológica e hídricas para estimar donde se pueden generar deslizamientos de tierras y flujos de roca y

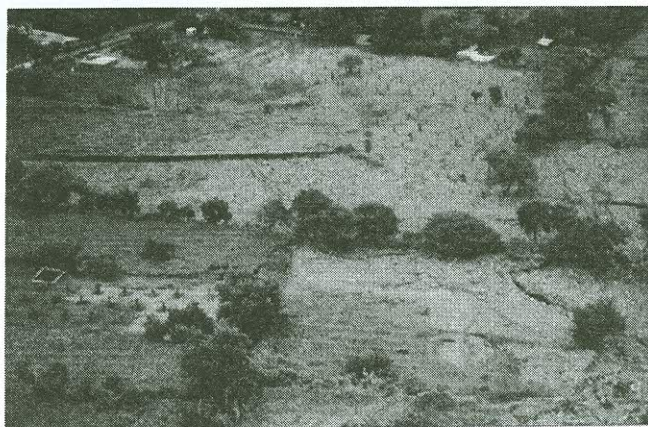


Figura 5. Área afectada en la zona poniente de San Juan Cosalá en donde el flujo de lodo penetró a varias casas y afectó los cultivos de hortalizas y maíz, alcanzando una altura de 0.60 m.

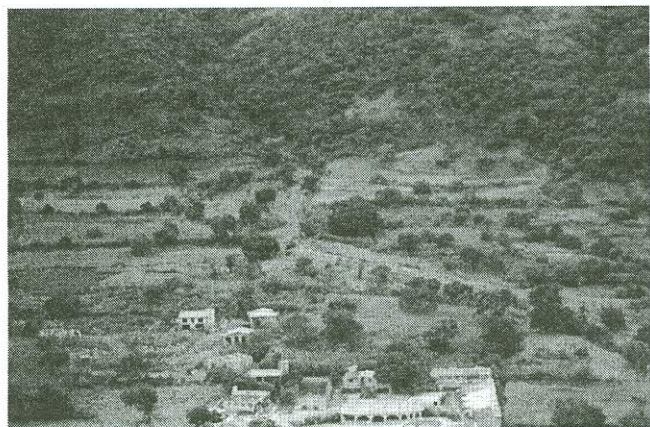


Figura 6. Flujo de lodo y rocas proveniente de la cuenca Mamá Chuy Oriente que afectó en forma de abanico las instalaciones de Mamá Chuy (abajo) y varias casas en construcción.

lodo. Es importante considerar que fenómenos naturales como el de septiembre de 1998 son recurrentes.

Ante tal vulnerabilidad de la zona se recomienda realizar estudios geológicos y geomorfológicos, de vegetación, uso del suelo, clima, e hidrológicos en la ladera norte del Lago de Chapala y en otras áreas con características similares que coadyuven a definir un Plan de Manejo adecuado para cuencas en zonas con alta pendiente, así como planes de desarrollo urbano para las localidades asentadas en estas cuencas.

A partir de la aprobación del Plan de Manejo por los sectores interesados se recomienda:

1. Diseñar un plan de desarrollo Urbano de San Juan Cosalá y otras localidades con riesgos similares.
2. Realizar los Planes de Acción Urbanística para cada zona de San Juan Cosalá, en donde se definan las zonas de conservación natural, el tipo de uso del suelo, el manejo y conservación de cauces. Esto último debe contemplar

el libre escurrimiento a través de la traza urbana y la carretera hacia el Lago de Chapala.

3. Concientizar a los pobladores de los riesgos que involucran a su comunidad el afectar la cobertura vegetal y cauces de la zona.
4. Evitar la construcción de viviendas en la zona donde se observó descarga de fragmentos gruesos en los recientes flujos de detritos no deben considerarse para desarrollos habitacionales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Dr. Jaime Arturo Paz García, Director de la Unidad Estatal de Protección Civil del Gobierno del Estado de Jalisco, por las facilidades otorgadas para la realización de los vuelos en helicóptero y la visitas de campo a la zona afectada. Agradecemos también los comentarios hechos a nuestro manuscrito por un árbitro anónimo.

REFERENCIAS

- Costa, J.E., 1984. Physical geomorphology of debris flows. In: J.E. Costa and P.J. Fleisher, Eds., Development and applications of geomorphology, Springer-Verlag, New York, p. 268-317.
- Delgado, H., 1992. Tectonics of the Chapala region, México. Report of the Monbusho Grant for the joint project Japan-Mexico Cooperative Research "subduction volcanism and tectonics of Western Mexican Volcanic Belt", K. Aoki, Ed., p.194-212.
- Delgado, H., 1994. Geomorfología de la Región de Chapala, Jalisco. En: L. Valdivia, C. Suárez y H. Delgado, Eds., Análisis Geomorfológico de Tres Estaciones: Región de Chapala, Sierra de la Primavera y Complejo Volcánico del Tequila, 5-43 p.
- Fisher, R.V., 1971. Features of coarse-grained, high concentration fluids and their deposits. Journal of Sedimentary Petrology, V. 41-4, 916-927 p.
- Neall, V.E., 1976. Lahars as major geological hazards. International Association Engineering Geology Bulletin, V. 14, 233-240 p.