



Título del artículo.

Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa.

Título del artículo en idioma Inglés.

Evaluation of potentially unstable slopes due to removal of masses at the city of Chilpancingo, Guerrero, Mexico and proposed solutions. Cases: Barranca El Tule and Barranca Pezuapa.

Autores.

Raziel Barragán Trinidad
Alfredo Cuevas Sandoval
Roberto Ortega Mendoza
Gaudencio Luis Trujillo Martínez
Sulpicio Sánchez Tizapa
Mateo Sánchez Calvo
Martín Zúñiga Gutiérrez

Referencia bibliográfica:

MLA

Barragán Trinidad, Raziel, Alfredo Cuevas Sandoval, Roberto Ortega Mendoza, Gaudencio Luis Trujillo Martínez, Sulpicio Sánchez Tizapa, Mateo Sánchez Calvo, Martín Zúñiga Gutiérrez. "Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa". *Tlamati* 7.3 (2016): 39-45. Print.

APA

Barragán Trinidad, R., Cuevas Sandoval, A., Ortega Mendoza, R., Trujillo Martínez, G. L., Sánchez Tizapa, S., Sánchez Calvo, M. y Zúñiga Gutiérrez, M. (2016). Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa. *Tlamati*, 7(3), 39-45

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 30 de Diciembre del 2016

© 2016 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAGro. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa

Raziel Barragán Trinidad^{1*}
 Alfredo Cuevas Sandoval¹
 Roberto Ortega Mendoza¹
 Gaudencio Luis Trujillo Martínez¹
 Sulpicio Sánchez Tizapa¹
 Mateo Sánchez Calvo¹
 Martín Zúñiga Gutiérrez¹

¹ Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Ingeniería. Av. Lázaro Cárdenas s/n C.U. Zona Sur. C. P. 39087 Chilpancingo, Guerrero, México. Tel: +52 (747) 472 7943 .

*Autor de correspondencia
 razielbt@gmail.com

Resumen

Se presenta el estudio geotécnico de las laderas de las Barrancas El Tule y Pezuapa en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México, así como el análisis de la vulnerabilidad de las viviendas en la zona de estudio, con la finalidad de plantear propuestas de solución para mitigar la inestabilidad del terreno. Las construcciones se sometieron a una revisión exhaustiva mediante un formato de evaluación estructural de aplicación internacional, que se complementó con pruebas de vibración ambiental. Para el caso del estudio geotécnico se desarrollaron en campo pruebas de resistividad eléctrica, Pozos a Cielo Abierto (PCA) y Pruebas de Penetración Estándar (SPT). La inestabilidad de taludes se efectuó mediante el método Bishop. Con los resultados de la exploración en campo se evaluó la capacidad de carga y análisis de asentamientos de las cimentaciones de dos viviendas; los resultados muestran que para las viviendas estudiadas la descarga a nivel de cimentación es menor a la capacidad de carga admisible del suelo; en contraparte los asentamientos totales en las viviendas son mayores a los permitidos. Se presentan propuestas de solución para cada ladera en estudio, permitiendo al menos dos alternativas de construcción.

Palabras clave: inestabilidad de laderas, vibración ambiental, evaluación estructural, estudio geotécnico

Abstract

This paper reports a geotechnical study of the slopes of El Tule and Pezuapa gullies at the city of Chilpancingo, Guerrero, Mexico, as well as an analysis of vulnerability of houses at this area, in order to propose solutions for mitigate instability of the terrain. Constructions underwent a comprehensive review using a structural assessment format of international application, which was complemented by environmental vibration testing. For the case of the geotechnical study, electrical resistivity tests, Open Sky Pits (PCA) and Standard Penetration Tests (SPT) were developed at the field of study. Slope instability was tested using the Bishop method. Results of field exploration were evaluated using load capacity and analysis of settlements of foundations of two houses. Results show that for the studied dwell-

Como citar el artículo:

Barragán Trinidad, R., Cuevas Sandoval, A., Ortega Mendoza, R., Trujillo Martínez, G. L., Sánchez Tizapa, S., Sánchez Calvo, M. y Zúñiga Gutiérrez, M. (2016). Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa. *Tlamati*, 7(3), 39-45.

ings, discharge at the level of foundation is less than the permissible load capacity of the soil. In contrast, the total settlements in the houses are greater than those allowed. Proposals for solution are presented for each slope under study, allowing at least two construction alternatives.

Keywords: Slope instability, environmental vibration, structural evaluation, geotechnical study

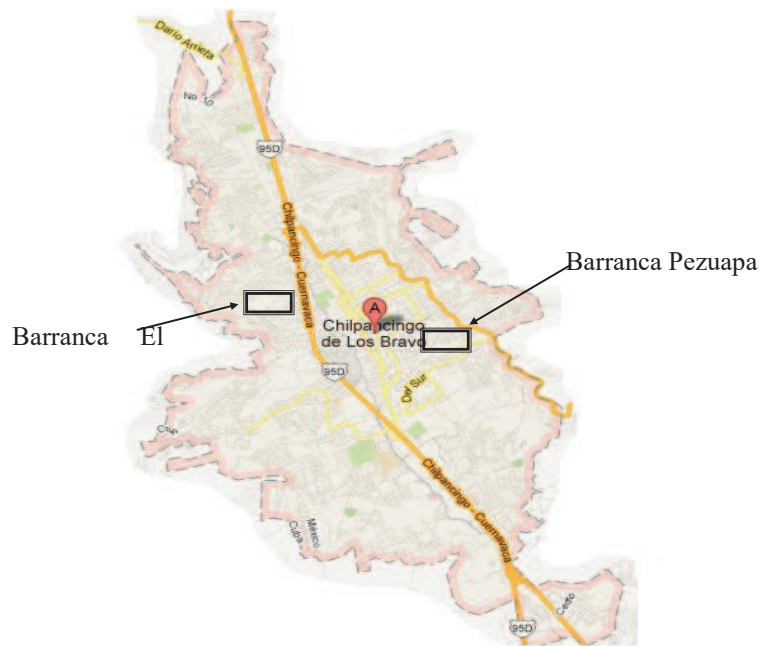


Figura 1. Ubicación de las laderas de estudio en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero

Introducción

La ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México está asentada en un valle angosto atravesado perpendicularmente por barrancas de gran profundidad, en los últimos años ha experimentado un crecimiento poblacional desordenado, lo que ha originado que gran número de barrancas con sus taludes inestables hayan sido invadidas. Este hecho y las condiciones geotécnicas del valle, formado por suelos granulares y finos, ha ocasionado una gran cantidad de deslizamientos y flujos de masas de suelo blando, en varias colonias de la capital con asentamientos irregulares en zonas de fuertes pendiente.

En deslizamientos de laderas, el material desplazado puede movilizarse de forma lenta (milímetros por año), rápida o de manera súbita según la pendiente natural, volumen de la masa de suelo o roca, mecanismo de ruptura,

acción del agua, etc. También puede activarse o acelerarse a causa de sismos, erupciones volcánicas, precipitaciones, aumento de nivel de aguas subterráneas, erosión, socavación originada por los arroyos y la actividad humana. Los factores causantes de la inestabilidad de laderas son múltiples y rara vez actúa uno solo. Adicionalmente, por el calentamiento global se han presentado lluvias atípicas en los últimos años, que junto con la deforestación provocada por los asentamientos humanos, aumentan la inestabilidad de laderas.

En la ciudad de Chilpancingo existen 156 laderas, de las cuales 24 están clasificadas con amenaza de deslizamiento muy alta (Secretaría de Gobernación [SEGOB], 2009). En estas zonas de riesgo habitan 1500 familias, teniendo un estimado total de 6000 habitantes. Además, el material producto del deslizamiento puede afectar las construcciones de áreas aledañas a las zonas de alto riesgo. Por

Tabla 1. Localización de pozos a cielo abierto

PCA	Barranca	Ubicación
1	El Tule	Colonia Ampliación Obrera; Andador Rafael Galván
2	El Tule	Colonia Bella Vista; Andador Rafael Galván
3	El Tule	Colonia El Mirador parte baja; Andador Barranca el Tule
4	El Tule	Colonia Mirador parte baja; Andador Barranca el Tule
5	El Tule	Colonia El Mirador
6	El Tule	Colonia El Mirador
7 y 8	Pezuapa	Colonia Los Sauces

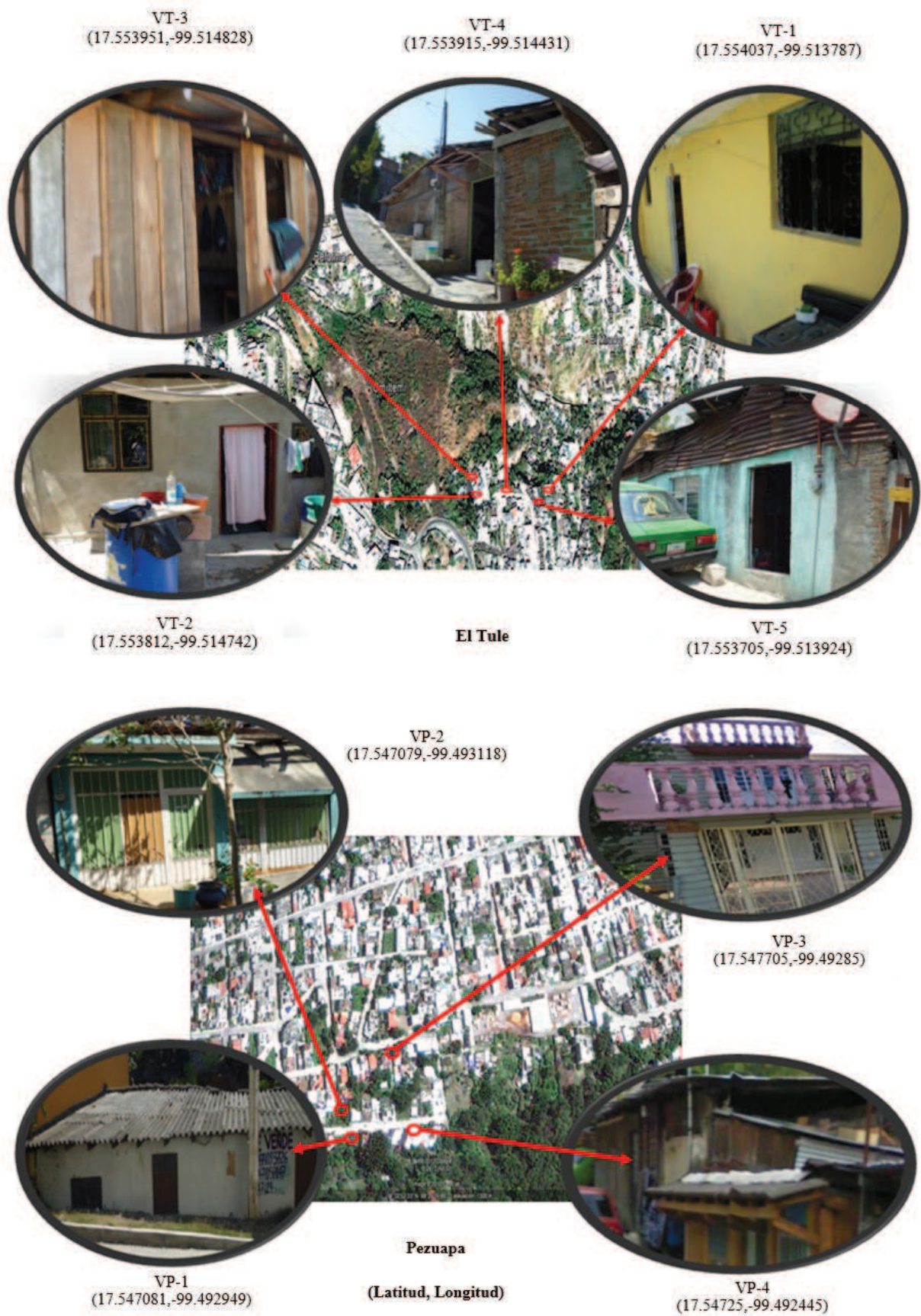


Figura 2. Ubicación de viviendas para estudio de campo en laderas de El Tule y Pezuapa de Chilpancingo, Gro

Tabla 2. Tipos de fallas en viviendas de laderas El Tule y Pezuapa

Tipo de falla	El Tule		Pezuapa
	Ladera izquierda	Ladera derecha	Ladera Izquierda
Fisuras	11	7	13
Grietas	6	4	25
Fracturas	0	1	6
Asentamiento	1	3	13
Deslizamiento	1	3	15
Sin fallas	53	93	55
Total de viviendas	72	111	127

Tabla 3. Características de viviendas en laderas El Tule y Pezuapa

Vivienda	Muros	Entrepisos y azotea	Cimentación	Observación
VT-1	Mampostería confinada, aplanados en interior, en exterior sólo fachada principal.	Losa de entepiso de concreto reforzado y cubierta de azotea de lámina galvanizada.	Zapatas corridas de concreto reforzado.	Grietas en muros de fachada principal y humedades en fachada posterior.
VT-2	Mampostería confinada.	Cubierta de azotea de lámina galvanizada.		
VT-3	Madera y mampostería.	Piso de tierra y cubierta de lámina galvanizada.		
VT-4	Mampostería confinada.	Cubierta de lámina galvanizada.		Desplome en muros.
VT-5	Mampostería confinada.	Cubierta de lámina galvanizada.	Zapatas corridas de piedra braza.	Grietas en muros y piso. Presencia de derrumbe en lado posterior de vivienda.
VP-1	Mampostería confinada, aplanados interiormente y exterior solo en fachada principal.	Techo de lámina de asbesto.	De piedra braza.	Grietas y fisuras en muros y elementos confinantes en fachada principal.
VP-2	Mampostería confinada, aplanados interiormente y exterior solo fachada principal.	Piso de concreto simple recubierto con loseta y losa de concreto reforzado.	De piedra braza.	Parte de la cocina presenta hundimiento. La cimentación presenta socavación.
VP-3	Mampostería confinada, aplanados interior y exteriormente.	Losa de entepiso y azotea de concreto reforzado.	Zapatas corridas de concreto reforzado.	Grietas y fisuras en muros y elementos confinantes en fachada principal
VP-4	De tablas de madera.	Techo de lámina galvanizada.		El piso presenta grietas de gran tamaño.



a) Muros de vivienda agrietados



b) Banqueta fuera de servicio



c) Falla de talud



d) Muro de concreto con desplome

Fotografía 1. Efectos de la inestabilidad de laderas Barrancas El Tule y Pezuapa

tal razón se justifica evaluar de forma cuantitativa los factores de riesgo que incluyan estudios geotécnicos de la estabilidad de taludes, diagnóstico y calidad de los materiales de las construcciones y comportamiento estructural de las mismas. Los resultados obtenidos permitirán plantear alternativas de solución y medidas preventivas para evitar posibles pérdidas de vidas humanas.

Bajo el criterio de selección intencional considerando el índice de riesgo y el potencial de daños en la zona, incluyendo el área de afectación y el número de habitantes y/o viviendas, se seleccionaron dos laderas: El Tule y Pezuapa, localizadas en la parte sureste y noroeste de la ciudad, respectivamente (véase figura 1).

Materiales y Métodos

Diagnostico actual y evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas

Una vez definida el área de influencia de cada ladera se realizó un reconocimiento físico y censo de las zonas de riesgo para identificar viviendas con algún tipo de daño. Del total de viviendas reportadas con daño estructural, el estudio de campo se realizó sólo en cinco en El Tule y cuatro en Pezuapa (debido al clima de inseguridad que prevalece en la entidad, los propietarios negaron autorización), el que consistió en un levantamiento físico mediante

la aplicación del formato del Earthquake Engineering Research Institute (McGuire, 2004), que consiste en obtener el dimensionamiento general de la estructura para elaborar un croquis detallado y la identificación del daño estructural. Adicionalmente se empleó el esclerómetro y el ferrocán para determinar las características de los elementos de concreto reforzado (resistencia a compresión del concreto y distribución del acero de refuerzo), así como pruebas de vibración ambiental para determinar los periodos de vibración de las viviendas y del suelo. La ubicación de las viviendas en estudio en cada ladera se muestra en la figura 2.

Estudios geotécnicos

Con el objetivo de tener un marco de referencia, que permita comparar los diferentes comportamientos del suelo de acuerdo con sus propiedades índice y mecánicas, se seleccionaron para su estudio ocho sitios en los cuales se realizaron Pozos a Cielo Abierto [PCA] (a profundidades de 1 a 3.40 m) y cinco sitios para realizar Pruebas de Penetración Estándar [SPT] (a profundidades de 8 a 15 m); asimismo, se determinaron puntos para la realización de pruebas geofísicas de resistividad eléctrica en la zona de estudio. La tabla 1 indica la ubicación de los PCA en las laderas de estudio. De las cinco SPT, tres se efectuaron en terreno de la Barranca El Tule y los restantes en Pezuapa.

A las muestras obtenidas se practicaron los ensayos de

Tabla 4. Características del concreto y acero de refuerzo en elementos confinantes de viviendas

Vivienda	Resistencia a compresión del concreto (kg/cm^2)		Acero de refuerzo
	Castillos	Cadenas	Castillos
VT-1	307	286	K1: 4#3 y K2: 4#4
VT-2	296	275	K1: 4#3, K2: 6#3
VT-3	296	286	4#3
VT-4	349	328	K1: 4#3, K2: 4#3
VT-5	339	318	6#3, E@15 cm
VP-1	224	243	4#3
VP-2	286	296	4#4 + 2#3
VP-3	328	339	4#3
VP-4	318	307	4#3

Nota. En todos los casos los estribos son de 2/8" de diámetro, y donde no se indique, espaciados a 20 cm

Profundidad (m)	Estrato
0.00 - 0.20	Concreto (losa de pavimento)
0.20 - 1.40	Material de relleno, color café claro RELLENO $\omega = 7.31 - 25.41\%$ $N(\text{campo}) = 17 - 32$
1.40 - 6.20	Arcilla con arena y grava, color café oscuro, presenta una consistencia de firme a muy firme SUCS = CL $\omega = 11.55 - 31.16\%$ $N(\text{campo}) = 14 - 39$ $C = 9.20 \text{ t/m}^2$ $\phi = 25^\circ$ $\gamma_m = 1.82 \text{ t/m}^3$
6.20 - 11.00	Limo con arcilla y grava aisladas, color café claro, presenta una consistencia dura SUCS = ML $\omega = 22.40 - 31.27\%$ $N(\text{campo}) = 30\text{-mayor de } 50$ $\phi = 28^\circ$ $C = 20.00 \text{ t/m}^2$ $\gamma_m = 1.86 \text{ t/m}^3$
11.00 - 15.05	Arcilla con limo y gravillas, color café claro, presenta una consistencia de muy firme a dura SUCS = CL $\omega = 30.29 - 34.70\%$ $N(\text{campo}) = 19\text{-mayor de } 50$

Figura 3. Estratigrafía del STP-2 de la barranca El Tule

propiedades índices de contenido de agua (ω), peso unitario de la masa de suelo (γ_m), peso específico relativo de sólidos [SS], análisis granulométrico y límites de consistencia o de Atterberg, límite líquido [WL], límite plástico [WP] y límite de contracción [WS].

Resultados

La población total de la ladera El Tule es de 1008 habitantes, los cuales se dividen en 55% ubicados en la margen derecha y 45% en la margen izquierda. Existen 111 viviendas en la margen derecha y 72 en la izquierda, en ellas predomina la vivienda provisional (44%) y mampostería (56%); el 72% son viviendas de un nivel y el 45% tienen losas de concreto. Para la ladera Pezuapa, en la margen derecha el número de habitantes es de 711. De 127 viviendas censadas, predominan construcciones de mampostería con 83% y la provisional 17%; 47% son de un nivel y 44% de dos niveles; y 64% cuenta con losa de concreto. Los daños en las construcciones se resumen en la tabla 2 y fotografía 1.

La tabla 3 resume las características de viviendas censadas, la leyenda de muros de mampostería confinada, significa que están constituidos por tabique rojo recocido de la región, con un espesor de 14 cm incluyendo aplanados. Asimismo en la tabla 4 se muestran los resultados de las pruebas mediante esclerómetro y ferroescan.

Producto de la identificación de las muestras del suelo y de la determinación de las propiedades índice, se determinaron perfiles estratigráficos para cada PCA y SPT, a manera de ejemplo, en la figura 3 se muestra el correspondiente al SPT-2.

Discusión y conclusiones

En general las viviendas de mampostería en las zonas de estudio presentan cimentaciones a base de zapatas corridas ya sea de piedra brasa o de concreto reforzado, muros de tabique de 12 cm de espesor y sistemas de cubierta de losa o de algún material ligero (lámina galvanizada o de asbesto). A pesar de ser estructuras rígidas, algunas presentan daño (grietas, desplome y/o asentamientos),

debido principalmente al problema de estabilidad de laderas. Lo cual fue corroborado con la inspección en campo de las características del refuerzo y concreto empleado en los elementos de confinamiento, que arrojó propiedades mecánicas adecuadas (Gobierno del Distrito Federal, 2004). Los resultados de las pruebas geofísicas de resistividad eléctrica realizadas en ambas laderas, resultaron congruentes con los hallazgos de los PCA y los SPT. Por lo que se realizaron propuestas de solución consistentes en elementos de retención para los puntos críticos identificados.

Agradecimientos

Programa de Mejoramiento del Profesorado (financiamiento del proyecto de investigación, en la modalidad de Apoyo para el fortalecimiento de los Cuerpos Académicos); Universidad Autónoma de Guerrero (firma del convenio); Protección Civil del Estado de Guerrero (apoyo logístico y colaboración en el desarrollo de los trabajos de campo); Unidad Académica de Ingeniería (empleo de laboratorios de Materiales, Suelos y Estructuras); M. C. Adelfo Morales Lozano (manejo del programa para el análisis de la estabilidad de taludes); Dr. Esteban Rogelio Guinto Herrera (revisión técnica y dactiloscópica del escrito); Miguel Ángel Guillermo García, Hermes Dimas Navarrete, Fabiola Jiménez López y Adrián Vargas Casarrubias (tesistas de Ingeniero Civil); Fernando Hernández Álvarez y Guadalupe Parra Hernández (tesistas de Maestría en Construcción).

Referencias

- Gobierno del Distrito Federal. (2004). *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. Mexico, D. F. Gaceta oficial del distrito Federal.
- McGuire, R. K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA
- Secretaría de Gobernación. (2009). *Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables, en las cabecezas municipales de Chilpancingo, Tlapa, Zihuatanejo, Taxco y Acapulco*. Diario Oficial de la Federación