

Análisis de la Amenaza de Riesgo por Deslizamiento de Laderas en la Ciudad de Chilpancingo, Gro.

ZÚÑIGA Gutierrez Martín¹, CUEVAS Sandoval Alfredo², SÁNCHEZ Calvo Mateo³, BARRAGÁN Trinidad Raziel⁴.

Unidad Académica de Ingeniería-UAGro. Av. Lázaro Cárdenas, S/N, CU_Sur, Chilpancingo, Guerrero, México.
01(747)47 27943 – zuguma@hotmail.com

Recibido Julio 23, 2015; Aceptado Enero 18, 2016

Resumen

Los problemas de deslizamientos en laderas sin duda constituyen uno de los desastres geológicos más destructivos a nivel mundial, causando pérdidas económicas de varios miles de millones de pesos y también lamentables pérdidas humanas.

Este artículo se desprende del trabajo de grado (Zúñiga Gutierrez, 2012)¹ donde se considera la necesidad de proponer una metodología estadística y probabilística en el análisis de los diferentes factores de riesgos topográficos, históricos, geotécnicos, geomorfológicos y ambientales, establecidos en el deslizamiento de laderas.

Se propone la aplicación de un modelo de Regresión Logística Ordinal (RLO) para el análisis de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas en la Cd. de Chilpancingo, Guerrero. Se considera el tipo de amenaza como variable respuesta las categorías: baja, moderada, alta. Las variables predictoras que se integran al modelo representan factores topográficos, históricos, geotécnicos, geomorfológicos y ambientales, los cuales son considerados por Protección Civil del Estado de Guerrero.

Palabras clave: Amenaza, Riesgo, Deslizamiento, Modelo.

Abstract

The problems of landslides on slopes undoubtedly constitute one of the most destructive geological disasters worldwide, causing economic losses of several billions of pesos and regrettable human losses.

This article is clear of the thesis (Zuniga Gutierrez, 2012) is considered on where the need to propose a statistical and probabilistic methodology in the analysis of different topographic factors, historical, geotechnical, geomorphological and environmental risks, established in slipslopes.

Applying an Ordinal Logistic Regression model (OLR) for the analysis of the threat of landslide risk hillside in the city of Chilpancingo, Guerrero, is proposed. The type of threat is considered as the response variable categories: low, moderate, high. The predictor variables that represent topographic model are integrated, historical, geotechnical, geomorphological and environmental factors, which are considered by Civil Protection of Guerrero.

Keywords: Threat, Risk, Sliding, Model.

Citación: HERNÁNDEZ-OROZCO-Diana, CARRANZA-FLORES-José Luis, ESTRADA-BAHENA-Dulce Liliana, BAUTISTA-ATILANO-Jorge, Sistema de Inventario y Ventas a Través de Dispositivos Biométricos. Foro de Estudios sobre Guerrero. *Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 220-223*

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: zuguma@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

Introducción

Los eventos naturales son inevitables, pero lo que sí se puede evitar o al menos reducir, son los desastres que en ocasiones resultan de esos eventos. Los fenómenos geológicos de deslizamiento de laderas, se presentan en todos los países del mundo que tienen una morfología de tipo montañoso y escarpado.

Los problemas de deslizamientos en laderas sin duda constituyen uno de los desastres geológicos más destructivos a nivel mundial según el Centro Nacional de Prevención de Desastres((CENAPRED), 2004)², causando pérdidas económicas de varios miles de millones de pesos y también lamentables pérdidas humanas.

En la República Mexicana, hasta hace poco tiempo, se empezó a reconocer el fenómeno como un importante agente perturbador, capaz de generar desastres de gran magnitud como ha ocurrido en Puebla, Chiapas y Oaxaca(Gobierno del Estado de Guerrero, 2009)³ donde se ha afectado a varios sectores sociales, ocasionando pérdidas humanas y económicas considerables.

En el estado de Guerrero, el panorama no es alentador debido a sus condiciones geográficas y topográficas de la identidad; es atravesado por la sierra madre del sur, que alcanza alturas de más de 3000 msnm., y baja rápidamente a alturas considerablemente menores en unos cuantos kilómetros en distancia horizontal y presenta en algunas áreas grandes extensiones erosionadas por la acción antropogénica, tales como la tala inmoderada, la apertura de tierras nuevas para el cultivo y la construcción de viviendas.

La ciudad de Chilpancingo, capital del estado de Guerrero, se asienta en un valle angosto y es atravesada perpendicularmente por escurrimientos que forman barrancas de gran profundidad. Se ubica en la subprovincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur perteneciente a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, Chilpancingo se caracteriza por contar con altos relieves del terreno comúnmente formados por roca caliza, ígnea o metamórfica (formaciones Morelos, Alquitrán y Agua de Obispo), con elevaciones mayores a 2000 msnm., lo que han presentado a lo largo de años una alta incidencia de deslizamientos de

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243 laderas(Guerrero, 2009)³.

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se desliza ladera abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca. Los deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas (Figura 1).



Figura 1. Deslizamiento de ladera ocurrido el 13 de enero 2001 en la Colonia “Las Colinas, Nueva San Salvador, El Salvador.

En el caso particular de México, en las regiones montañosas de Puebla, Oaxaca, Chiapas, Baja California, Colima, Jalisco, Michoacán, Veracruz y Guerrero, se han presentado deslizamientos de laderas activados generalmente en épocas de lluvias y sismos, estos movimientos del terreno incluyen deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de suelos, derrumbes de rocas, movimientos complejos y avalanchas, que en su mayoría han afectado a diversos sectores sociales como vivienda, educación, comunicaciones y transportes, salud, agropecuario y forestal, etc., ocasionando pérdidas económicas de varios miles de millones de pesos y también lamentables pérdidas humanas, por lo que resulta necesario establecer los criterios que permitan a los ciudadanos y a las autoridades

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

identificar y evaluar el riesgo asociado al deslizamiento de laderas.

Uno de los pocos casos de deslizamiento y flujo de suelos y rocas documentado en México, para el que se cuenta con registro pluviométrico diario y el conocimiento de las características geotécnicas de los materiales, es el caso de Teziutlán, Puebla, deslizamiento ocurrido el 5 de octubre de 1999 en la colonia "La Aurora". El deslizamiento ocurrió en una ladera de apenas 23° de inclinación y coincidió con el máximo de precipitación acumulada.

En noviembre de 2007 tuvo lugar en Juan del Grijalva un deslizamiento de tierra como consecuencia de las fuertes lluvias que causó inundaciones en Chiapas y Tabasco. Este deslizamiento provocó la destrucción de al menos 100 casas, dejando 20 personas desaparecidas de las cuales se encontraron los restos de 14 de ellas.

Para el estado de Oaxaca, en septiembre de 2010 el pueblo Mixe de Santa María Tlahuitoltepec, se produce un deslizamiento que sepultó alrededor de 300 casas, las autoridades comunales refirieron que la tragedia ocurrió, al parecer, por el reblandecimiento de la tierra a consecuencia de las lluvias.

En Guerrero, en la localidad de Copalillo en abril de 2005 se presentó un deslizamiento de más de 100 toneladas de material, ocurrió, en un terreno de cultivo, cuyo relieve topográfico presenta pendientes mayores a los 45° y una marcada deforestación con fines agrícolas.

En el año de 2002 en la comunidad El Balsamar, municipio de Leonardo Bravo, se presentaron severas lluvias que ocasionaron afectaciones en viviendas y cultivos. Se recomendó la reubicación de algunas viviendas; estas afectaciones se hicieron recurrentes sobre todo en el temporal de lluvias y en el año 2011 se recomendó la reubicación de 150 viviendas que se encuentran en riesgo por deslizamiento de laderas en un terreno de 9 hectáreas localizado a 2 km de Chichihualco.

En varias colonias de la ciudad de Taxco de Alarcón, tales como Martelas, La Molina y La Cadena, en el temporal de lluvias del año 2010 se presentaron varios deslizamientos, que en algunos

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243 casos destruyeron viviendas y en otras sufrieron fuertes afectaciones. A consecuencia de ello se contempló reubicar a 8 familias. La evaluación del riesgo se había dictaminado en julio del 2001, donde se realiza en función de los criterios establecidos por CENAPRED aplicados por el personal de protección civil.

Recientemente en el año 2013 a consecuencia de la tormenta "Manuel" y huracán "Ingrid", en la comunidad la Pintada, municipio de Atoyac de Alvarez, se presentó un deslizamiento ocasionado la desaparición de 70 personas y 170 viviendas, encontrándose aún en reconstrucción (Figura 2).



Figura 2. Deslizamiento ocurrido el 15 de septiembre de 2013 en la comunidad la Pintada, municipio de Atoyac de Álvarez, Gro.

La ciudad de Chilpancingo de los Bravo, se eligió para el análisis de la amenaza de riesgo por deslizamiento en sus laderas (ARDL), debido a su alta incidencia de este fenómeno a lo largo de los años. Su peculiar geología, su deterioro ecológico y una alta acción antropogénica en su zona de barrancas, han originado que año con año, sobretudo en la temporada de lluvias, se presenten un sinnúmero de deslizamientos.

La ocurrencia de deslizamientos en Chilpancingo se debe a varios factores, tanto antropogénicos como de la propia naturaleza del terreno. La invasión de barrancas por parte de los habitantes de la ciudad, ha ocasionado que las construcciones desestabilicen el terreno, primero al retirar la cubierta vegetal que protege los taludes y luego, al construir retajes para el desplante de viviendas, lo cual genera tiempo

Artículo**CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA**

después si se vierten aguas domésticas sobre el talud de las barrancas, un ambiente propicio para un deslave.

Por otro lado, se ha observado que durante la temporada de lluvias, los altos índices de precipitación generan deslizamientos al saturar los materiales geológicos de la zona. La filtración de agua en los materiales de la Formación Chilpancingo tiene el efecto de elevar el nivel freático rápidamente, aumentando a la vez la presión de poro y predisponiendo el terreno a un deslizamiento. El alto contenido de arcillas de la formación y su distribución irregular no permite una filtración rápida del agua, por lo que los materiales se saturan rápidamente, propiciando que se tengan las condiciones necesarias para un deslizamiento. El contenido de arcilla en esta formación es determinante para la ocurrencia de deslaves, y marca una diferencia con respecto a otros rellenos aluviales de diferente granulometría y geometría de sus partículas.

La configuración geomorfológica de Chilpancingo y la composición geológica de la misma, posee superficies vulnerables ante la presencia de eventos de deslizamientos de laderas.

Los deslizamientos en Chilpancingo en temporada de lluvias crean zozobra y afectaciones en varias colonias de la ciudad. El registro de afectaciones comienza con la creación de la Dirección de Protección Civil en el Estado en 1998. Registros anteriores no se han estudiado seriamente, por lo que no existe una investigación detallada respecto de este fenómeno en la ciudad. En la Tabla 1, se muestra una lista de antecedentes de deslizamiento de laderas en la Cd. de Chilpancingo del 2000 al 2008, en ella se observa, que la mayoría de los deslizamientos ocurren en las zonas de barrancas y están en función de la pendiente y de la cantidad de agua que reciben.

Acciones para mitigar los deslizamientos de laderas

Hasta el momento hay un excelente progreso en el monitoreo de deslizamientos de tierra y riesgos volcánicos. Hong Kong tiene sofisticados modelos computarizados en operación rutinaria para vigilar los niveles de lluvia y predecir cuándo una pendiente dada es posible que se derrumbe.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243

La Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollan trabajos referente a la evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante, donde se aplica un análisis estadístico que permite identificar los posibles factores que controlan la estabilidad de las laderas naturales para determinar qué zonas son más susceptibles y bajo qué condiciones puede producirse la rotura para estimar el alcance de la masa inestable. La localización de estas zonas es con el uso de la fotografía aérea y percepción remota. Se modela el peligro de deslizamiento a través de la generación de mapas de riesgo con la técnica de los sistemas de información geográfica (Baeza Adell, 1994)⁴.

En México, en el marco de la prevención de desastres naturales, la Secretaría de Gobernación a través del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), conviene año con año con los gobiernos estatales, proyectos preventivos encaminados a la reducción del riesgo y la vulnerabilidad.

Para el estado de Guerrero, como resultado de lo anterior, Protección Civil del Estado elaboró el proyecto de identificación geotécnica de laderas inestables en 5 cabeceras municipales del estado de Guerrero, con el objetivo de contribuir en la reducción del riesgo por medio del diagnóstico de zonas vulnerables a deslaves, impactando en los estudios de ordenamiento territorial y en los planes de desarrollo urbano, donde debe incluirse una zonificación del riesgo por laderas inestables.

Son pocos los investigadores que han estudiado esta temática, en la Unidad Académica de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), se analizó la vulnerabilidad por deslizamientos en masa, caso Tlacuitla, Guerrero, donde se utilizó un reconocimiento de áreas afectadas dentro del poblado y en sus alrededores, con el uso de la cartografía del lugar (Pérez Gutierrez, 2007)⁵; en la Unidad Académica de Ingeniería de la misma UAGro, se evalúan laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la Ciudad de Chilpancingo con el propósito de hacer propuestas de solución, caso barranca "Pezuapa" y barranca el "Tule" (Reyes Valle, 2011)⁶.

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

En los últimos años en la ciudad de Chilpancingo, se ha tenido una alta incidencia de deslizamientos. La peculiar geología de la zona, el deterioro ecológico, la acción antropogénica y el desarrollo urbanístico que a lo largo de décadas que presenta un crecimiento desordenado con una elevada densidad de la población, pueden ser factores que promuevan este tipo de eventos desafortunados.

Objetivo

- Explicar mediante un modelo de regresión ordinal, la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas en la Ciudad de Chilpancingo, Gro., en función de los factores topográficos, históricos, geotécnicos, geomorfológicos y ambientales.

Metodología

Descripción de la zona de estudio

El área de estudio, corresponde a la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, capital política del estado de Guerrero, que cuenta con 187 251 habitantes de los 241 717 del total del municipio.

Se localiza a los 17°33' 10" de latitud norte, 99° 30' 03" de longitud oeste, una altitud de 1260 m.s.n.m. y una extensión territorial de 33.30 km². La densidad de población es de 5 623.61 hab/km² con un total de 55 357 viviendas((INEGI), 2010)⁷.

Descripción de los datos

Protección Civil del municipio de Chilpancingo, tiene identificadas 54 barrancas de las cuales 13 las clasifica con riesgo alto, 22 de riesgo mediano y 19 de riesgo bajo.

Definición de las variables

La estimación de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas requiere del conocimiento de los factores y las variables establecidas que contribuyen a su ocurrencia.

Las variables se identifican para cada uno de los factores de riesgo indicados en el formato para la estimación de la amenaza de deslizamiento de

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243 laderas, establecido por el CENAPRED (Anexo I). Los factores de riesgo considerados son:

- **Factores topográficos e históricos:** En estos factores se estudian las variables inclinación del talud, clasificado en 5 categorías; desnivel entre la corona y el fondo de la barranca, en 4 categorías y antecedentes de deslizamiento en el sitio, área o región, 3 categorías.
- **Factores geotécnicos:** Las variables son tipo de suelo o roca y espesor de la capa de suelo, que se dividen en 5 y 4 categorías, respectivamente.
- **Factores geomorfológicos y ambientales:** Las variables son evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas con 3 categorías; vegetación y uso de la tierra, con 5 categorías; y régimen del agua en la ladera con 3 categorías.

La Tabla 4, muestra las variables y categorías en las que se clasifica cada factor de riesgo.

Población y muestra

Se aplicó un muestreo estratificado y por conglomerado en dos etapas. El estrato se definió por el grado de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas definido por protección civil del municipio. Por lo que se tomaron tres muestras, una por cada grado de riesgo. En cada estrato se realizó muestreo por conglomerados de dos etapas. Los conglomerados fueron las barrancas, las cuales fueron seccionadas a cada 100 m, dando origen a los puntos potencialmente muestrales. En la primera etapa se seleccionaron las barrancas de acuerdo a la longitud de cada una de ellas y en la segunda etapa se seleccionaron al azar puntos de cada barranca identificados en la ortofoto. El tamaño de la muestra fue de 182 unidades que se obtuvieron considerando que la proporción de barrancas en riesgo es de 0.5, un nivel de confianza del 95%, un límite para el error de estimación de 0.06 y un número de puntos identificados en todas las barrancas (N = 551)(Sheaffer, 1987).

El resumen de las barrancas identificadas y seleccionadas, así como los puntos identificados y unidades muestrales, se presentan en la Tabla 4.

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

La localización y medición de cada una de las unidades muestrales, se llevó a cabo al momento de recopilar la información requerida en el llenado del formato para la estimación de la amenaza de deslizamiento de laderas, establecido en este tipo de estudios por el CENAPRED (Anexo 1) en las que se identifica cada una de las variables.

Resultados

Se realizó el estudio descriptivo para cada una de las variables establecidas en los factores que se consideran para la estimación de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas (Figura 3).

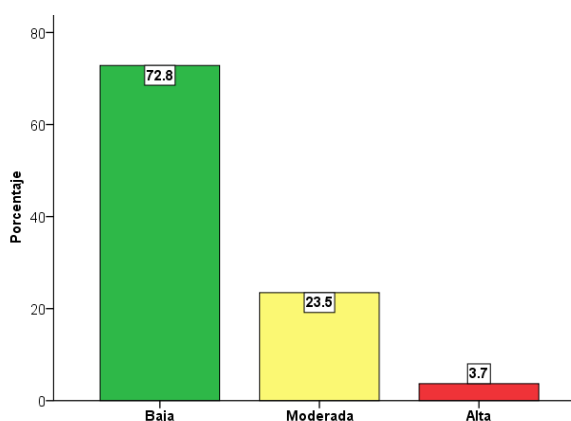


Figura 3. Amenaza de riesgo por deslizamiento.

Pruebas de independencia

La prueba de independencia permite determinar si existe una dependencia entre dos variables categóricas.

Para determinar si la probabilidad de obtener un resultado favorable para un tipo de amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas es independiente de cuál sea el tipo de factor de riesgo (categorías), se aplicó la prueba Ji-cuadrado de Pearson.

La prueba Ji-cuadrado de Pearson, se aplica al caso de que se disponga de una tabla de contingencia con r filas y c columnas correspondiente a la observación de muestras de dos variables X e Y , con r y c categorías, respectivamente. Se utiliza para contrastar la hipótesis nula:

H_0 : Y y X_i son independientes vs H_a : Y y X_i no son independientes.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243

Para $i=1, 2,3,4,5,6,7$.

Donde:

Y = Amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas, cuyas categorías son:

X_1 = Inclinación del talud.

X_2 = Desnivel entre la corona y el fondo de la barranca.

X_3 =Tipo de suelos o roca.

X_4 =Espesor de la capa de suelos.

X_5 =Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas.

X_6 =Vegetación y uso de la tierra.

X_7 =Régimen de agua en laderas.

Si el p-valor asociado al estadístico de prueba es menor que α , se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia α , que generalmente es 0.05.

En este caso, al calcular el estadístico Ji-cuadrado para probar si existe una dependencia entre el tipo de amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas con cada una de las variables definidas en los tres tipos de factores de riesgo, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. De las variables incluidas en los factores topográficos e históricos se encontró solo dependencia con inclinación del talud (X_1), esto se confirma con el estadístico de Ji-cuadrado de Pearson (17.007), donde se rechazó la hipótesis de independencia con un p-valor de .0001. Mientras que para el desnivel entre la corona y el fondo de la barranca (X_2) no se rechazó H_0 (p-valor de .188).
2. De las variables incluidas en los factores geotécnicos se encontró dependencia con el tipo de suelo y roca (X_3) y espesor de la capa de suelo (X_4), esto se confirma con el estadístico de Ji-cuadrado de Pearson (42.805, 11.764), donde se rechazó la hipótesis de independencia con p-valores de .0001 y .003, respectivamente.
3. De las variables incluidas en los factores geomorfológicos y ambientales se encontró dependencia con evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5), vegetación y uso de la tierra

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

(X_6) y régimen de agua en laderas (X_7), esto se confirma con el estadístico de Ji-cuadrado de Pearson (6.000, 7.587 y 17.901), donde se rechazó la hipótesis de independencia con p-valores de .050, .023 y .0001, respectivamente.

Tablas de contingencia

Con el propósito de registrar y analizar la relación entre la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas y las variables definidas en cada uno de los factores de riesgo, se construyeron tablas de contingencia y sus gráficos; también se calculó el estadístico Gamma y su p-valor para determinar el grado y tipo de asociación entre dichas variables, tal como se muestra en la Tabla 5.

Modelo de regresión ordinal

El modelo de regresión ordinal se usa cuando la escala de la variable respuesta tiene 3 o más categorías las cuales obedecen a un orden. La amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas (ARDL) es una variable medida en tres categorías en escala ordinal (Baja, Moderada y Alta), de acuerdo a la clasificación establecida por Protección Civil del Municipio.

En la presentación de este artículo, se trata de relacionar la variable amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas con 7 variables predictoras definidas en los factores de riesgo: topográficos e históricos, geotécnicos y geomorfológicos y ambientales, mediante un modelo de regresión logística ordinal (RLO), considerando como variable dependiente o respuesta la ARDL y como variables dependientes o covariables los factores de riesgo: inclinación del talud (X_1), desnivel entre la corona y el fondo de la barranca (X_2), tipo de suelo o roca (X_3), espesor de la capa de suelo (X_4), evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5), vegetación y uso de la tierra (X_6) y régimen del agua en laderas (X_7).

El modelo de RLO, para la i -ésima observación de la j -ésima categoría, se expresa como:

$$\text{logit}(\gamma_{ij}) = \log \frac{\gamma_{ij}}{1-\gamma_{ij}} = \theta_j - \mathbf{x}'_i \beta; \quad \gamma_{ij} = P(Y_i \leq j | \mathbf{x}_i); \quad i = 1, \dots, n \text{ y } j = 0, \dots, J - 1 \dots \dots (1)$$

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243
Donde:

Y = amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas.
 \mathbf{x}_i = vector de covariables o de variables predictoras para el modelo ($x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}, x_{i5}, x_{i6}, x_{i7}$) definidas para cada variable incluida en los tipos de factores de riesgo.
 θ_j = interceptos (límites de corte).

Además,

$$\mathbf{x}'_i \beta = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7}$$

β = parámetros desconocidos del modelo.

En la Tabla 6, se detallan las variables y categorías incluidas del modelo.

Modelación de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas

Modelos individuales

Para validar cada uno de los modelos individuales, se calculan los estadísticos de Wald y el de líneas paralelas.

La prueba de Wald permite evaluar la significación estadística de una variable explicativa sobre la variable dependiente, bajo la hipótesis:

$$H_0: \beta_j = 0, \quad \text{vs} \quad H_a: \beta_j \neq 0$$

Para $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Si el p-valor asociado al estadístico de Wald es menor que el nivel de significancia α , se rechazará la hipótesis nula al nivel de significancia α .

La prueba de líneas paralelas (LP) nos ayuda a evaluar si es correcto suponer que los parámetros son los mismos para todas las categorías, bajo la hipótesis:

H_0 : los coeficientes de regresión β son los mismos entre las categorías de respuesta.

Esta prueba compara el modelo estimado con un conjunto de coeficientes para todas las categorías con un modelo cuyo conjunto de coeficientes están separados para cada categoría. Además, el rechazo

Artículo**CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA**

de la H_0 , proporciona evidencia de que la función de enlace empleada es apropiada.

Los coeficientes de cada modelo individual, permite el cálculo de razón de momios. El momio de un evento es la razón de la probabilidad que sucede al evento, a la probabilidad que no sucede el evento.

En resumen, en la estimación de los modelos individuales, se observa que las variables predictoras inclinación del talud, tipo de suelo o roca, vegetación y uso de la tierra y régimen de agua en laderas, resultan significativas para ser incluidas en el ajuste de un modelo de regresión ordinal; no así las variables; desnivel entre la corona y el fondo de la barranca, espesor de la capa de suelo y evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas. La Tabla 7, muestra los resultados obtenidos, usando el p-valor y la prueba de líneas paralelas.

Modelo propuesto

Con el propósito de estimar un modelo que mejor explique el efecto conjunto de las variables predictoras sobre la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas, se realizó una selección de variables con la información brindada por la estimación de cada modelo individual y realizando combinaciones entre las variables.

En este trabajo, el método de Forward fué el procedimiento utilizado para la selección de variables, el cual incorpora secuencialmente al modelo la variable o factor que mejor ajusta al modelo, el algoritmo termina cuando ya ninguna variable entra al modelo. Los criterios de evaluación en el modelo que se tomaron en cuenta para incluir la variable fueron: AIC (Criterio de Información de Akaike), R^2 , $-2 \log$ de la verosimilitud del modelo y la significancia de cada una de las variables que entran en el modelo. El procedimiento para llegar a obtener el mejor modelo, se describe brevemente en los siguientes pasos

Paso 1. La primera variable que se incluye en el modelo es X_7 , la cual mostro el mejor ajuste respecto al resto.

Paso 2. Con la variable X_7 , se ajustaron modelos agregando una variable a la vez, resultando la variable X_3 , la segunda variable que ingresa al modelo.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243

Paso 3. De manera similar, se fueron agregando las variables restantes al modelo una a una. Así la tercera variable incluida al modelo es X_5 , la cuarta X_6 y la última variable que ingresó al modelo fue X_2 .

De los resultados anteriores, el modelo que se propone incluye las variables X_7 , X_3 , X_5 , X_6 y X_2 . Este modelo es el que representa mejor ajuste de todos los analizados. Pues tiene menor AIC, R^2 adecuados, los datos son apropiados al modelo (Bondad de ajuste) y todas la variables incluidas son estadísticamente significativas.

Modelo completo

Dada la importancia de los factores de riesgo y las variables identificadas en cada uno de ellos establecidos por CENAPRED, se consideró ajustar el modelo incluyendo las 7 variables.

De las estimaciones del modelo completo, se observa que inclinación del talud (X_1), tipo de suelo o roca (X_3), evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5) y régimen de agua en laderas (X_7), resultan significativas (Estadístico de Wald (Sig.) = 4.943 (.039), 5.184(.023), 4.039(.044) y 5.890 (.015) respectivamente).

Finalmente se resume en forma general, los resultados obtenidos para cada uno de los modelos ajustados: individual, propuesto y completo, la Tabla 8, muestra las variables que resultaron significativas en cada uno de ellos.

Artículo

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

Agradecimiento

Un agradecimiento especial a Protección Civil del Estado y Municipio por su apoyo en la recolección de información preliminar al inicio del desarrollo de este trabajo; así como a los estudiantes del Programa educativo de Ing. Topógrafo y Geomático de la Unidad Académica de Ingeniería de la UAGro., que de una u otra forma realizaron las diferentes actividades de campo y proceso de la información.

Conclusiones

En este artículo, se trata de explicar mediante un modelo de regresión logística ordinal la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas en la ciudad de Chilpancingo, Gro., en función de las variables definidas en cada uno de los factores de riesgo topográficos e históricos (*inclinación del talud y desnivel entre la corona y el fondo de la barranca*), geotécnicos (*tipo de suelo o roca, espesor de la capa de suelo*), geomorfológicos y ambientales (*evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas, vegetación y uso de la tierra y régimen de agua en laderas*), establecidos por CENAPRED. Cabe mencionar que no se encontraron estudios previos que utilicen esta técnica estadística, usando las variables que CENAPRED propone.

Realizado la selección de variables, el modelo propuesto que mejor se ajusta para el análisis de la amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas en Chilpancingo, es aquel que incluye las variables: *régimen de agua en laderas (X_7), tipo de suelo o roca (X_3), evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5), vegetación y uso de la tierra (X_6) y desnivel entre la corona y el fondo de la barranca (X_2)*, por lo tanto, en términos generales, es posible concluir que el modelo estimado seleccionado es adecuado.

Es importante señalar, que en el análisis de este tipo de riesgo para la ciudad de Chilpancingo con la información de campo obtenida en el desarrollo de este trabajo de investigación, no resultaron significativas para ser incluidas en el modelo las variables inclinación del talud (X_1) y espesor de la capa de suelo (X_4), por lo que no se puede concluir, que dichas variables no tengan inferencia en este tipo de riesgo por deslizamiento, ya que desde el punto de vista natural influyen en la morfología de

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243
las laderas, tal como lo establece el CENAPRED. Por lo tanto, se realizó el ajuste del modelo completo utilizando todas las variables propuestas por CENAPRED, en dicho ajuste solo resultaron significativas las variables: inclinación del talud (X_1), tipo de suelo o roca (X_3), evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5) y régimen de agua en laderas (X_7). En términos generales en este trabajo se concluye, que las variables que más influyen o afectan la ARDL en Chilpancingo son Inclinación del talud (X_1), tipo de suelo o roca (X_3), evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas (X_5), vegetación y uso de la tierra (X_6) y régimen de agua en laderas (X_7).

De los pocos trabajos referidos a la temática, la técnica de análisis multivariantes aplicados a la evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales, sobre todo el método de análisis discriminante y regresión múltiple; han dejado evidencias que en la predicción de variables estudiadas han sido seleccionadas la pendiente, vegetación y uso del suelo, así como las formaciones arcillosas (tipo de suelos) en las laderas.

Referencias

1. Zúñiga, G. M., Ariza, H. F. J y Reyes, C. R. (diciembre 2012). Análisis de la Amenaza de Riesgo por Deslizamiento de Laderas en Chilpancingo, Gro. Unidad Académica de Matemáticas, Universidad Autónoma de Guerrero.
2. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Sistema Nacional de Protección Civil (CENAPRED, 2004): Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. México, Secretaría de Gobernación. <http://www.cenapred.unam.mx/>
3. Gobierno del Estado de Guerrero, Subsecretaría de Protección Civil de Guerrero. (Julio 2009). Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables, En las cabeceras municipales de Chilpancingo, Tlapa, Zihuatanejo, Taxco y Acapulco.

Artículo**CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA**

4. Baeza Adell, Cristina. Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis Doctoral. Septiembre 1994. UPC.
5. Pérez Gutierrez, Rosalva. Análisis de la vulnerabilidad por los deslizamientos en masa, caso: Tlacuitlapa, Guerrero. Unidad Académica de Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Guerrero. perez@geología.unam.mx
6. Reyes Valle, Bulmaro y et. Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo, Gro., y propuestas de solución. Proyecto de investigación. Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ingeniería 2011.
7. **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda 2010.** www.inegi.org.mx/

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2015-Abril 2016 Vol. 2 No.3 224-243

8. Sheaffer, Richard L., Mendenhall, William y Ott, Lyman (1987): Elementos demuestreo. México, Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V.
9. Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información, ISSN 1578-5157. Madrid, España. www.geo-focus.org

FECHA	LUGAR	TIPO DE DESLIZAMIENTO	AFECTACIONES
09/Enero/2000	Col. Los Sauces	Deslave	Agrietamiento de una vivienda
29/Agosto/2000	Col. Alianza Popular	Deslave	Caída del techado y daños a enseres domésticos
18/Septiembre/2000	Barrio de San Antonio	Deslave, 10 Toneladas	Predio rústico
19/septiembre/2000	Col. Emiliano Zapata	Deslave, 5 Toneladas	2 viviendas afectadas
20/Septiembre/2000	Calle prolongación las Parotas	Deslave	Agrietamiento en la Escuela Juan N. Álvarez
09/Noviembre/2000	Col. Primero de Mayo Barranca la Lobera.	Deslizamiento de laderas	Desprendimiento de material de un predio
19/Julio/2001	Col. Los Sauces Barranca Pezuapa	Deslizamiento de ladera	Fracturamiento y colapso de una vivienda, caída de un muro de contención
13/Julio/2002	Col. Lomas de Xocomulco Barranca la Libertad	Deslizamiento de ladera	Caída de un muro y socavación de una vivienda
04/Noviembre/2002	Col. Alianza Popular	Deslizamiento de ladera	Afectación en 6 viviendas
22/Noviembre/2002	Col Antorcha Popular Barranca de Apatzingo	Deslave	3 viviendas en la manzana 11 a punto de colapsarse
23/Julio/2004	Fraccionamiento FOVISSTE.	Deslave	1 vivienda dañada por agrietamiento
14/Octubre/2004	Col. San Miguelito Barranca de Pezuapa	Deslave	Agrietamiento fuerte en 7 viviendas
09/Diciembre/2004	Col. Ampliación Lázaro Cárdenas	Deslave	Agrietamiento de una vivienda y de la iglesia
20/Junio/2005	Col. Jardín los Pinos y Vista Alegre	Deslave	Caída de un muro de mampostería
15/Julio/2005	Col. La Haciendita	Deslave, 1 Tonelada	Grietas en muros y ventana de una vivienda
02/Agosto/2005	Col. Los Sauces	Deslave, 10 Toneladas	1 vivienda, grietas en sala y baño de la misma
02/Septiembre/2005	Col. La Haciendita	Deslave, 1 Tonelada	Agrietamiento de una vivienda
10/Julio/2007	Col. Alborada	Deslave por socavación	5 viviendas de daño medio y 1 vivienda de daño alto
06/Octubre/2007	Barranca Seca	Deslave	1 vivienda
29/Octubre/2007	Col. Alianza Popular	Deslave por socavación y afectaciones por viviendas	Varias viviendas
07/Noviembre/2007	Col. Las Palmas	Deslave	1 afectado
28/Noviembre/2007	Fracc. Villas del Parador	Hundimiento	18 viviendas afectadas
28/Noviembre/2007	Col. Ampliación	Deslave 100 toneladas	5 afectadas
11/Diciembre/2007	Col. San Lucas	Considerados como una zona de riesgo	10 viviendas afectadas

15/Mayo/2008	Col. San José	Verificación a invasión de áreas verdes	La zona tiene desniveles de 40° y una altura de 60m., por lo cual la hace una zona de alto riesgo
15/Mayo/2008	Col. Indeco Calle Tecpan	Deslave	1 vivienda
27/Mayo/2008	Col. Lomas de Xocomulco	Construcción de un muro en los linderos de un inmueble	1 vivienda y posible deslave
04/Junio/2008	Prolongación Heróico Colegio Militar s/n , Col. Alianza Popular	Deslave	1 vivienda
18/ Junio/2008	Col. Lomas de Xocomulco	Deslave	1 vivienda

Tabla 1: Antecedentes de deslizamientos en la ciudad de Chilpancingo 2000-2008.

No.	Barranca	Riesgo	Longitud (mts.)
1	Alpuyeca	Alto	2962.3894
2	El coro	Alto	820.8241
3	Huizachal-Boveda	Alto	1334.3510
4	Ramal de Apatzingo	Alto	614.2632
5	Xuxululuya-Boveda	Alto	2332.2836
6	Calaveras	Alto	593.0023
7	El Tule	Alto	899.3876
8	Tequimil	Alto	1315.8000
9	Apatzingo	Alto	1470.7365
10	San Miguelito	Alto	1792.1935
11	Tonalapa	Alto	2035.8905
12	Pezuapa	Alto	2672.6521
13	Xalahuatzingo	Alto	1860.1626
14	Acahucla	Moderado	1321.4306
15	Ahuiyuco-Ramal	Moderado	293.4238
16	Amacoxcle	Moderado	203.1551
17	Amatitos	Moderado	655.2395
18	Capire	Moderado	943.0867
19	Casuarinas	Moderado	1912.4378
20	Coyotes	Moderado	725.5589
21	Cuevitas	Moderado	410.7746
22	Culebriado	Moderado	1841.8733
23	El aguacate-Ramal	Moderado	982.6553
24	Huaxcorral	Moderado	487.7649
25	La lobera	Moderado	616.2804
26	Las tortolitas	Moderado	1216.9886
27	Laurel-Ramal	Moderado	1410.9427

28	Ocoatepec	Moderado	2634.2826
29	Tepango	Moderado	252.6984
30	Tinajas	Moderado	1211.5943
31	Tlamajal	Moderado	1328.7690
32	Barranca Seca-Ramal	Moderado	2161.7414
33	Milpizaco	Moderado	2320.9275
34	Tecolotes	Moderado	2014.1435
35	Xoxocoapa	Moderado	833.0749
36	Ahuacatitlan	Bajo	926.1292
37	Calera-Ramal	Bajo	163.1990
38	El Carrizal-Ramal	Bajo	397.6000
39	El Palmar-Ramal	Bajo	133.8218
40	Guaje Blanco	Bajo	492.0334
41	Guayabitos Ramal	Bajo	340.7952
42	La angostura	Bajo	371.6836
43	La Lima	Bajo	75.6443
44	LLano Grande	Bajo	481.4675
45	Molino-Ramal	Bajo	134.5347
46	Olvido-Ramal	Bajo	239.8001
47	Positos	Bajo	81.1050
48	Tecolotitos-Ramal	Bajo	523.9327
49	Tepehuaje-Ramal	Bajo	726.5348
50	Tepolcingo o Espinal	Bajo	975.6889
51	Tlizapoatlaco	Bajo	1010.4135
52	Zahuilco	Bajo	224.7507
53	Timotlan	Bajo	1063.9081
54	Tlacomulco	Bajo	462.7716
Longitud total			55, 308.5943

Tabla 2: Barrancas de la ciudad de Chilpancingo.

Factores	VARIABLES	Categorías
Topográficos e históricos	Inclinación del talud	Más de 45°
		35° a 45°
		25° a 35°
		15° a 25°
		Menos de 15°
	Desnivel entre la corona y el fondo de la barranca	Menos de 50m
		50 a 100m
		100 a 200m
		Más de 200m
	Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe
Algunos someros Si, incluso con fechas Fecha _____		
Geotécnicos	Tipo de suelo o roca	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.
		Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.
		Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos.
		Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobos competentes.
		Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m
		5 a 10 m
		10 a 15 m
		15 a 20 m
Geomorfológicos y ambientales	Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	Inexistentes
		Volúmenes moderados
		Grandes volúmenes moderados
	Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana
Cultivos anuales Vegetación intensa Vegetación moderada Área deforestada		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	
	Nivel freático inexistente Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma.	

Tabla 3: Factores de riesgo, variables y categorías.

Estrato	Barrancas por estrato	Barrancas seleccionadas	Puntos identificados	Unidades muestrales
Alto	13	7	207	68
Moderado	22	13	256	84
Bajo	19	9	88	30
Total	54	29	551	182

Tabla 4: Distribución de la muestra de las barrancas según estrato, número de puntos por estrato y unidades muestrales.

VARIABLES	Grado de Asociación	Estadístico Gamma	p-valor
Tipo de amenaza e inclinación del talud	Mediano y positivo	.681	.0001
Tipo de amenaza y desnivel entre la corona y el fondo de la barranca	Débil y positivo	.330	.144
Tipo de amenaza y el tipo de suelo o roc	Fuerte y positivo	.899	.0001
Tipo de amenaza y el espesor de la capa de suelo	Fuerte y positivo	.915	.038
Tipo de amenaza y evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	Mediano y positivo	.548	.106
Tipo de amenaza y vegetación y uso de la tierra	Fuerte y positivo	.687	.001
Tipo de amenaza y régimen del agua en laderas	Fuerte y positivo	.791	.0001

Tabla 5: Grado y tipo de asociación entre las variables.

Variable dependiente	Descripción	Referencia	Códigos	Categorías
Y	Amenaza de riesgo por deslizamiento de laderas	Ame	0 = Baja	Muy Baja, Baja
			1 = Moderada	Moderada
			2 = Alta	Alta, Muy alta
Variables predictoras	Descripción		Códigos	Categorías
X ₁	Inclinación del talud	IncTal	1 = Amenaza	Mayor de 35°
			0 = No amenaza	Menor de 35°
X ₂	Desnivel entre la corona y el fondo de la barranca	DesCorF	0 = No amenaza	Menor de 50m.
			1 = Amenaza	Mayor de 50m.
X ₃	Tipo de suelo o roca	TipSloR	1 = Amenaza	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas
			0 = No amenaza	Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos
X ₄	Espesor de la capa de suelo	EspCSlo	0 = No amenaza	Menos de 5 m.
			1 = Amenaza	Mayor de 5 m.
X ₅	Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	EvGeoHue	0 = No amenaza	Inexistentes
			1 = Amenaza	Volúmenes moderados
X ₆	Vegetación y uso de la tierra	VUsTie	1 = Amenaza	Zona urbana, Cultivos anuales, Área deforestada
			0 = No amenaza	Vegetación intensa, Vegetación moderada
X ₇	Régimen del agua en laderas	RAgLad	1 = Amenaza	Nivel freático superficial
			0 = No amenaza	Nivel freático inexistente

Tabla 6: Variables y categorías del modelo.

Variable	Descripción	Se ajusta	Parámetros	Exp(β)	Wald (P-valor)	LP (Sig.)
X ₁	Inclinación del talud	Si	$\hat{\beta} = -1.675$ $\theta_0 = .113$ $\theta_1 = 2.817$	5.339	.0001	.178
X ₂	Desnivel entre la corona y el fondo de la barranca	No	$\hat{\beta} = -.720$ $\theta_0 = .335$ $\theta_1 = 2.900$	2.054	.108	.488
X ₃	Tipo de suelo o roca	Si	$\hat{\beta} = -3.065$ $\theta_0 = -1.503$ $\theta_1 = 1.825$	21.413	.0001	.167
X ₄	Espesor de la capa de suelo	Si	$\hat{\beta} = 2.342$ $\theta_0 = .992$ $\theta_1 = 3.693$	0.096	.023	.032
X ₅	Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	No	$\hat{\beta} = -1.184$ $\theta_0 = -.234$ $\theta_1 = 2.123$	3.267	.100	.107
X ₆	Vegetación y uso de la tierra	Si	$\hat{\beta} = -1.684$ $\theta_0 = .448$ $\theta_1 = 2.836$	5.387	.011	.412
X ₇	Régimen de agua en laderas	Si	$\hat{\beta} = -2.157$ $\theta_0 = -.018$ $\theta_1 = 2.514$	8.645	.0001	.320

Tabla 7. Resumen de los modelos individuales.

Variable	Descripción	Modelo individual	Modelo propuesto	Modelo completo
X ₁	Inclinación del talud	Si	No	Si
X ₂	Desnivel entre la corona y el fondo de la barranca	No	Si	No
X ₃	Tipo de suelo o roca	Si	Si	Si
X ₄	Espesor de la capa de suelo	Si	No	No
X ₅	Evidencias geomorfológicas de huecos en laderas contiguas	No	Si	Si
X ₆	Vegetación y uso de la tierra	Si	Si	No
X ₇	Régimen de agua en laderas	Si	Si	Si

Tabla 8. Resumen de los modelos.

Anexo 1

FORMATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS

DATOS Y LOCALIZACIÓN DE LA BARRANCA:

Lugar: **Chilpancingo, Gro.** Fecha: _____

Nombre de la barranca: _____

Entre calles(las más cercanas): _____

Colonia(s): _____

Coordenadas: Latitud: _____ Longitud: _____

Responsable: _____ Auxiliar: _____

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA: _____

OBSERVACIONES (Número de viviendas en torno al punto de muestra, existencia de arroyo, corrientes de agua, charcos, drenaje, otros): _____

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS					
FACTOR	INTERVALOS O CATEGORIAS	ATRIBUTO RELATIVO		OBSERVACIONES	CALIFICACIÓN
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	5	Estimar el valor medio. Úsele clisímetro	
	35° a 45°	1.8	4		
	25° a 35°	1.4	3		
	15° a 25°	1.0	2		
	Menos de 15°	0.5	1		
Altura	Menos de 50m	0.6	1	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS.	
	50 a 100m	1.2	2		
	100 a 200m	1.6	3		
	Mas de 200m	2.0	4		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio área o región	No se sabe	0.3	1	Reseñas verosímiles de lugareños.	
	Algunos someros	0.4	2		
	Si, incluso con fechas	0.6	3		
	Fecha _____				

FACTORES GEOTÉCNICOS				
FACTOR	INTERVALOS O CATEGORIAS	ATRIBUTO RELATIVO	OBSERVACIONES	CALIFICACIÓN
Tipo de suelo o roca	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblanecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5	5	Vulnerables a la erosión: o suelos de consistencia blanda
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0	4	
	Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos.	0.5 a 1.0	3	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado.
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.	0.3 a 0.6	2	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	1	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	1
5 a 10 m		1.0	2	
10 a 15 m		1.4	3	
15 a 20 m		1.8	4	
Echado de las fracturas o fallas.	Menos de 15°	0.3		Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, junta y plano de debilidad.
	25 a 35°	0.6		
	Más de 45°	0.9		
Aspectos estructurales, en formaciones rocosas.	Ángulo entre el echado de las fracturas o fallas y la inclinación del talud	Más de 10°	0.3	Angulo diferencial positivo si el echado es mayor q la inclinación del talud.
		0 a 10°	0.5	
		0°	0.7	
		0° a -10°	0.8	
		Más de -10°	1.0	
Angulo entre el rumbo de las fracturas o fallas y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2		Considerar la dirección de las fracturas o fallas más representativas.
	10° a 20°	0.3		
	Menos de 5°	0.5		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES					
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	1	Formas de conchas o de embudo (flujos).	
	Volúmenes moderados	0.5	2		
	Grandes volúmenes moderados	1.0	3		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.0	1	Considérese no solo la ladera, sino también la plataforma en la cima	
	Cultivos anuales	1.5	2		
	Vegetación intensa	0.0	3		
	Vegetación moderada	0.8	4		
	Área deforestada	1.0(2.0)	5		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	1	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud	
	Nivel freático inexistente	0.0	2		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma.	2.0(1.0)	3		
				SUMATORIA	