

Análisis del efecto del humedecimiento en la falla de talud en el km 240+000 del cuerpo A de la autopista Cuernavaca –Acapulco.

Mora Ortiz, R.¹ y Rojas González, E.¹

Fecha de recepción: 27 de febrero de 2009 - Fecha de aceptación: 8 de agosto de 2009

RESUMEN

Algunos taludes que permanecieron estables durante muchos años presentan deslizamientos cuando ocurre un período de lluvia extraordinaria. En este fenómeno intervienen no sólo las características litológicas, geométricas y mecánicas del talud, sino también el régimen de lluvia- evaporación-infiltración del sitio. En este artículo se analiza la estabilidad de un talud en el km 240+000 del cuerpo A, de la autopista Cuernavaca – Acapulco, el cual presentó un deslizamiento durante un período de lluvias intensas. De este talud se obtuvieron sus características estratigráficas y geométricas y se realizó un muestreo inalterado para determinar las características mecánicas del material del talud. El análisis de estabilidad involucró la reducción de la cohesión provocada por el humedecimiento y con ello se pudo observar cómo el factor de seguridad del talud disminuye con el contenido de agua del cuerpo del talud. Mediante el análisis de la infiltración de agua de lluvia con el software Plaxflow y de la estabilidad del talud con el programa Geo-Slope ha sido posible reproducir el proceso de falla, con lo que se confirmó que el humedecimiento es un factor fundamental en el deslizamiento de taludes.

Palabras clave: talud, estabilidad, humedecimiento, cohesión, grado de saturación, infiltración

Analysis of the effect of wetting on a slope failure in section A Km 240+000 of the Cuernavaca-Acapulco highway.

ABSTRACT

A number of slopes that had been stable during many years suffer from sliding when an extraordinary rain period occurs. This phenomenon involves not only the lithology, the geometric and the mechanical characteristics of the slope, but also the rain- evaporation- infiltration regime of the site. In this paper, the stability of a slope in the km 240+000 of the section A of the Cuernavaca–Acapulco highway (Mexico) that failed during an intense raining period is analyzed. The stratigraphic and geometric properties of the slope were determined and undisturbed samples were obtained in the site to determine the mechanical properties of the material of the slope. The stability analysis involved the variation of the cohesion of the soil caused by wetting and it was possible to observe the evolution of the safety factor with the water content of the material. Through the analysis of the rain infiltration with the software Plaxflow and the stability of the slope with the program Geo-Slope, it has been possible to reproduce the failure process; this analysis confirmed that the effect of wetting is a fundamental factor in the slopes fails.

Key words: slope, stability, wetting, cohesion, degree of saturation, infiltration.

¹ Profesor-Investigador. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Centro universitario Cerro de las Campanas Santiago de Querétaro, Querétaro. E-Mail: renemora1121@hotmail.com

INTRODUCCION

En México, durante cada época de lluvia ocurren deslizamientos de talud en algunas de las autopistas y caminos más importantes del país, estos deslizamientos causan pérdidas en vidas humanas e importantes trastornos económicos. Este fenómeno se ha visto incrementado debido a lluvias más intensas y de mayor duración en algunas zonas del país. En general, las fallas estructurales de taludes son el producto de una combinación de factores tales como el relieve, la geología, la historia tectónica, así como el intemperismo y la erosión a la que ha estado sometida la zona. Las fallas en taludes durante periodos prolongados de infiltración, son atribuidas al avance del humedecimiento dentro del cuerpo del talud. Esto es porque la resistencia al esfuerzo cortante producida por la succión se ve disminuida significativamente (Cho y Lee, 2001, 2002).

El objetivo de este artículo es proponer una metodología para determinar el efecto del humedecimiento en la estabilidad de taludes, utilizando los conocimientos sobre el flujo de agua en suelos no saturados, así como su resistencia y la estabilidad de taludes. Este estudio se aplicó al talud de material homogéneo (arcilla de alta compresibilidad) localizado en el kilómetro 240 +

000 del cuerpo A de la autopista Cuernavaca-Acapulco, en el Estado de Guerrero (Figura 1), el cual falló durante un periodo de lluvia intensa, en el año 2006, la longitud de la falla fue de 3.6 m, y se sabe que el desprendimiento fue de aproximadamente 15 m³ de suelo. Dicha autopista corresponde a una carretera tipo A4, conformada por los cuerpos A y B de dos carriles cada uno, siendo el cuerpo A el correspondiente al sentido de circulación en que crece el cadenamiento (Cuernavaca-Acapulco) y el cuerpo B al sentido en que decrece el cadenamiento (Acapulco-Cuernavaca). Los cuerpos se encuentran separados por una faja central formada por piezas de concreto prefabricadas y malla deflectora. El talud se encuentra a unos 20 km al norte de la ciudad de Chilpancingo, muy cercano a la población de Zumpango, entre las coordenadas geográficas 17° 45' y 17°41' latitud norte, 99°29' y 99°31', longitud oeste. Desde su terminación, la autopista Cuernavaca-Acapulco conocida como 'la autopista del Sol' ha presentado en sus diferentes tramos problemas relacionados con la estabilidad de taludes. Entre los factores principales de esta inestabilidad están las características litológicas, geométricas y mecánicas del talud, pero de manera preponderante están las condiciones climáticas y de drenaje de la región.

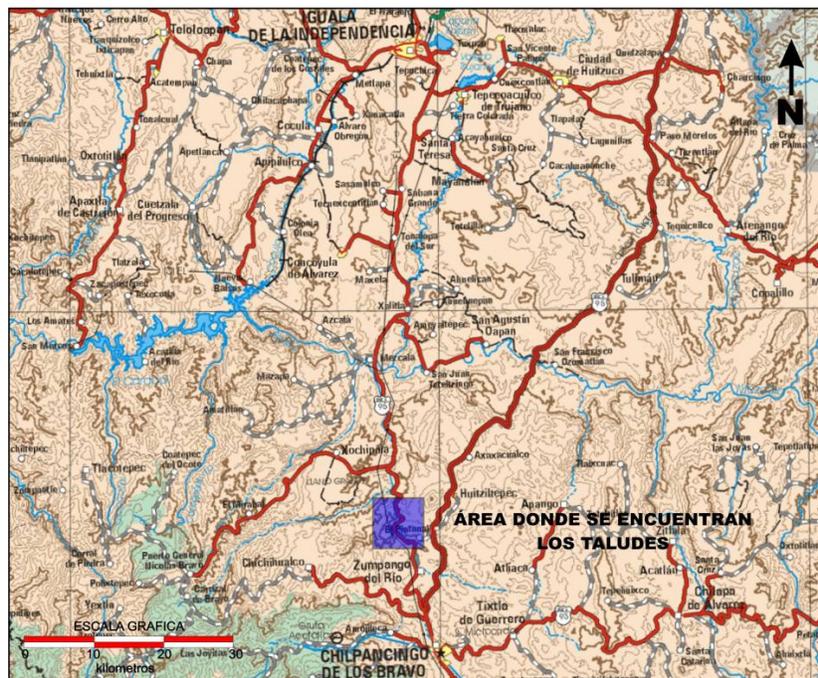


Figura 1. Localización del área de estudio.

Nota: El talud está localizado en una zona de inestabilidad de taludes en la autopista del sol, pero debido a la escala no se observa la ciudad de Cuernavaca, ni la ciudad de Acapulco.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Por lo general, las fallas estructurales de talud que ocurren durante la época de lluvia tienen el mismo detonante. Para las fallas poco profundas, la superficie crítica de deslizamiento puede originarse por una de tres opciones: humedecimiento de la superficie del talud, incremento del nivel de agua subterránea o humedecimiento de la interfaz suelo-roca (Xie *et al.*, 2004). Este tipo de fallas están relacionadas con periodos largos de lluvia con moderada intensidad y pueden generar presiones de poro positivas en el cuerpo del talud (Flores *et al.*, 2003). Las fallas más profundas están relacionadas con la disminución de la succión (Collins y Znidarcic, 2004) y se deben a precipitaciones de corta duración pero de gran intensidad. (Casagli *et al.*, 2005).

La situación actual de la ‘Autopista del Sol’ es que una gran cantidad de sus taludes están siendo afectados por el flujo e infiltración de agua de lluvia, provocando su inestabilidad y la consecuente invasión de materiales en los carriles de circulación.

El tipo de clima de esta zona es semiseco cálido a muy cálido, la temporada de lluvias aparece normalmente de mayo a octubre con una precipitación media anual de 1,650 milímetros (IMT, 2006).

Las rocas que componen los taludes de esta zona son generalmente muy permeables, es decir, permiten fácilmente el paso del agua, esta condición tiene sus ventajas y sus desventajas. La ventaja es que permiten la infiltración de aguas meteóricas a los mantos freáticos y zonas de recarga, pero la gran desventaja para este caso es que esa infiltración afecta al suelo constituyente de los taludes. Por otra parte, la cantidad de agua que corre sobre la superficie de los taludes provoca su erosión (tubificación) y en algunos casos puede generar presiones de agua positiva.

METODOLOGÍA

En el talud estudiado, que se indica en la Figura 2, se realizó la extracción de dos muestras inalteradas, representativas del suelo que conforma el cuerpo del talud, y apoyados en las posteriores pruebas de laboratorio se concluyó que el suelo era homogéneo

en todo el talud, como el reporte proporcionado por el IMT lo indicaba.



Figura 2. Talud en el cuerpo A km 240 + 000 de la autopista Cuernavaca-Acapulco.

De este material se obtuvieron sus propiedades índice, peso específico de sólidos, relación de vacíos, contenido de agua, grado de saturación, conductividad hidráulica, granulometría por vía seca y húmeda, esfuerzo de preconsolidación (Manual de prácticas de Laboratorio de Mecánica de suelos I., 2004) y parámetros de resistencias (ángulo de fricción (ϕ), cohesión (c)) mediante pruebas triaxiales realizadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro. También, se obtuvo la geometría del talud antes del deslizamiento, con información proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). Una vez que se obtuvieron las propiedades mecánicas e hidráulicas del material, se realizó una modelación del comportamiento mecánico del talud antes y durante el periodo de lluvias utilizando dos programas de cómputo especializados. El primero para simular el flujo de agua en suelos no saturados (PlaxFlow, 2003) y el segundo en el análisis de la estabilidad de taludes (Geo-Slope, 1995). Las características del material empleado aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del suelo.

L.L. (%)	144	L.P. (%)	46	I.P.(%)	97	<i>SUCCS</i>	<i>CH</i>
γ_m (kN/m ³)	14.51	Ss	2.58	e	1.51	W (%)	44.10
Gw (%)	75.49	Ks (cm/s)	5.69E-07	Pc (kN/m ²)	189.3		

Simbología:

L.L., limite líquido, L.P., limite plástico, I.P., índice de plasticidad, *SUCCS*, Sistema Unificado de Clasificación de suelos, (*CH*) arcilla de alta compresibilidad, Ss, Peso específico relativo de sólidos, γ_m , Peso específico de la masa de suelo, e, Relación de vacíos, W (%) humedad natural, Gw (%) Grado de saturación natural, Ks, conductividad hidráulica, Pc, carga de preconsolidación.

La granulometría del material se muestra en la Figura 3.

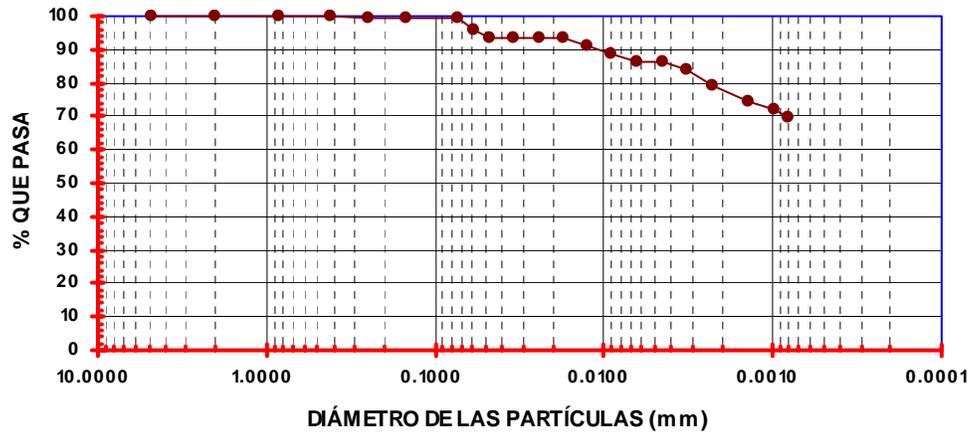


Figura 3. Granulometría vía humedad.

La conductividad hidráulica en un suelo no saturado no es una constante, sino que es una función de la succión. Por lo tanto, primero fue necesario determinar la relación entre succión y grado de saturación. A esta relación se le denomina curva de retención (Jaehong *et al.*, 2004). A su vez, de esta curva se puede obtener la conductividad hidráulica del material en función de la succión, ya que la curva de retención puede proporcionar una estimación de la distribución de los tamaños de poros del suelo (Pires *et al.*, 2008). La curva de retención se obtuvo por el método del papel filtro. Para ello primeramente se realizó la calibración del papel y cuyos resultados se muestran en la Figura 4. El papel utilizado fue marca Schleicher and Shuell, número 589 y se calibró de acuerdo al siguiente procedimiento: se prepararon soluciones de agua destilada con diferentes concentraciones de sal lo cual proporciona una succión conocida. Dichas soluciones se colocaron

dentro del contenedor de vidrio. Además se colocaron dos papeles filtro inmediatamente por encima de la solución colocándolas sobre una canastilla de alambre. Se selló el contenedor herméticamente. Después se colocó el contenedor en una caja aislada térmicamente y se introdujo en un cuarto de temperatura controlada en donde se permitió el equilibrio de la humedad relativa entre el papel y la solución por espacio de 7 días. Una vez terminado el periodo de equilibrio, se determinó la humedad de los papeles filtro y se graficaron los datos obtenidos según el procedimiento descrito por la norma ASTM D 5298-94 (1994). Con esta calibración es posible determinar la succión de muestras de suelo con distintos grados de saturación para lo cual basta con realizar sobre las muestras el mismo procedimiento de papel filtro y utilizar la gráfica de calibración. Con este procedimiento se obtuvo la curva de retención en humedecimiento y en secado (Figura 5).

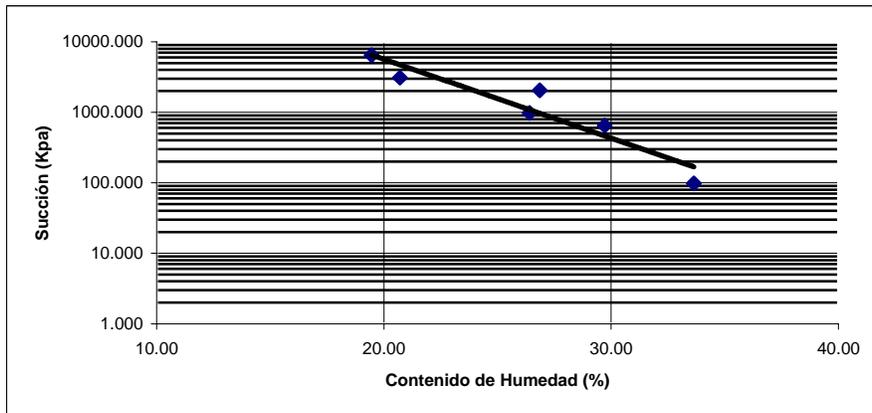


Figura 4. Curva de calibración (succión vs contenido de humedad).

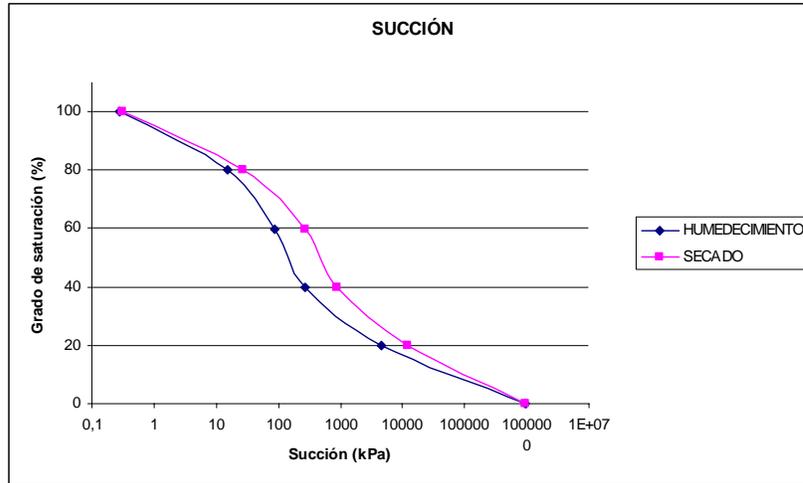


Figura 5. Curva de retención en humedecimiento (succión vs grado de saturación).

Se realizaron 3 ensayos triaxiales consolidados-drenados sobre muestras saturadas de 3.5 cm de diámetro y 9 cm de alto. Se le aplicaron esfuerzos confinantes de 49.03 kN/m², 98.07 kN/m² y 147.10 kN/m². El drenaje de la cámara permaneció abierto y se aplicó una velocidad de deformación de 0.01mm/min, tomándose lecturas de carga y deformación, hasta la ruptura de la muestra (Juárez y Rico, 1998). Con estas lecturas se elaboraron los círculos de Mohr para determinar del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) como se muestran en la Figura 6. El proceso de saturación fue el siguiente:

cada probeta con un grado de saturación natural (75.49%) se colocó en la cámara triaxial, para posteriormente someterla a flujo de agua desde la base hacia la parte superior, una vez alcanzado el flujo se le dejó 2 días con flujo continuo, terminado este periodo se invirtió la dirección del flujo y alcanzado éste, se le dejó 2 días con flujo continuo. Al final de este proceso se le dejó 2 días en reposo para su posterior ensayo, cabe mencionar que el máximo grado de saturación alcanzado fue de 98.23%.

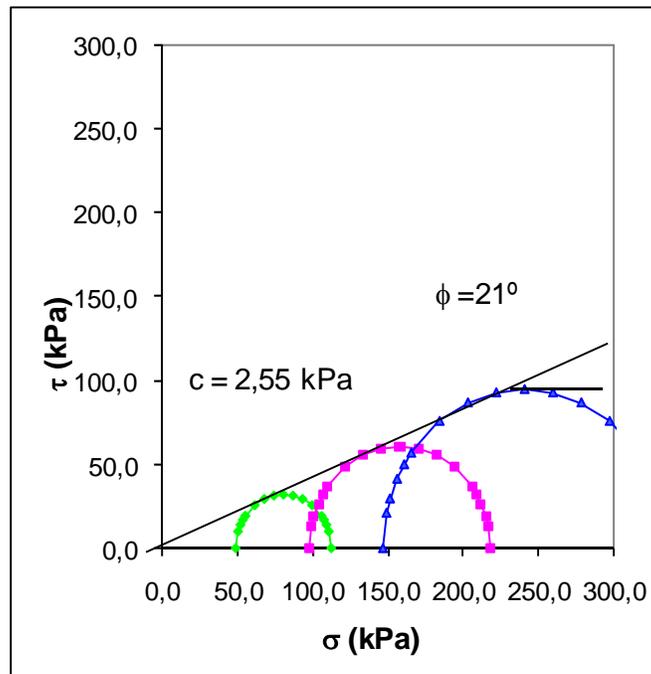


Figura 6. Resultados de los ensayos triaxiales saturados. c = cohesión, kN/m², ϕ = Ángulo de fricción interna, grados, τ = Esfuerzo cortante, kN/m², σ = Esfuerzo normal, kN/m².

De la misma manera, se realizaron ensayos triaxiales consolidados-drenados a diferentes grados de saturación y con un esfuerzo confinante de 147.10 kN/m². Los diferentes grados de saturación de las probetas ensayadas se obtuvieron del humedecimiento

de muestras totalmente secas (Figura 7). Con los valores obtenidos del desviador a la falla, se construyeron los respectivos círculos de Mohr (Figura 8).

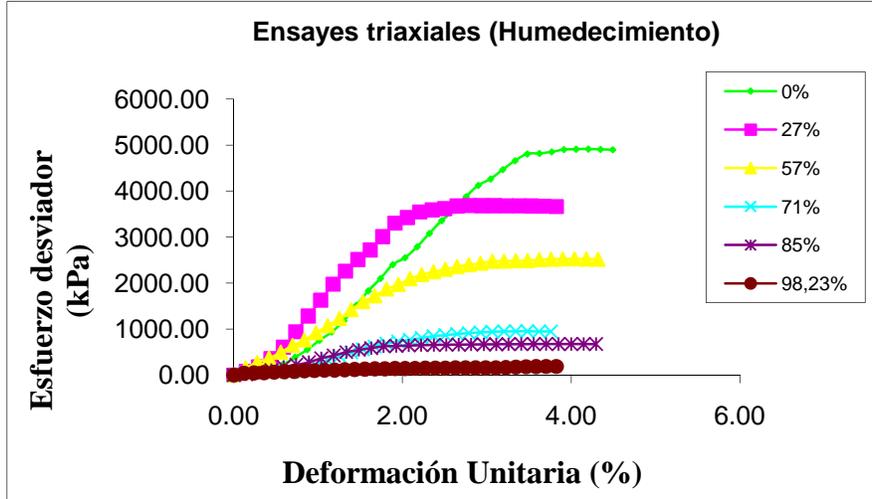


Figura 7. Esfuerzo desviador vs deformación unitaria, ensayos triaxiales con diferentes grados de saturación en humedecimiento.

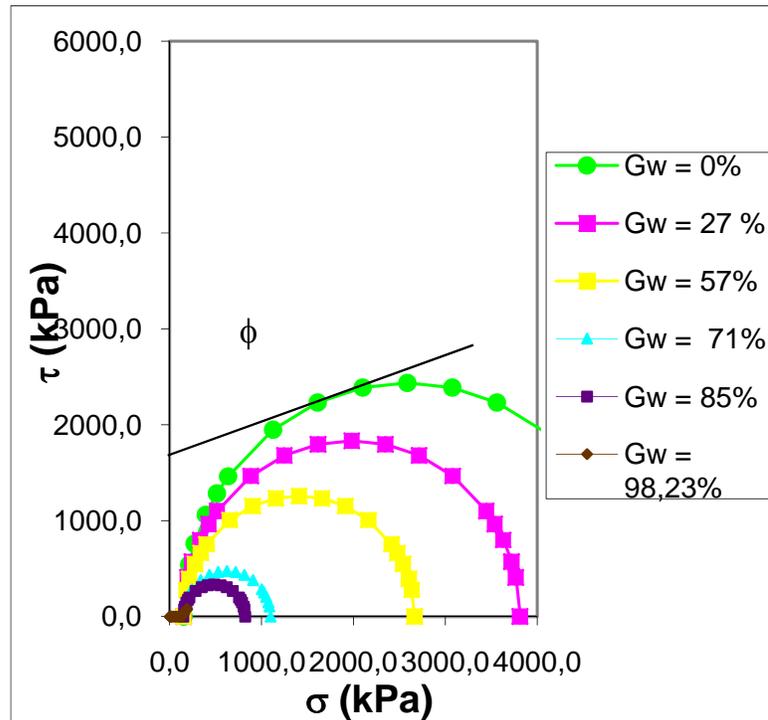


Figura 8. Círculos de Mohr de ensayos triaxiales a diferentes grados de saturación en humedecimiento, con un mismo confinante (147.10 kN/m²).

ϕ = Ángulo de fricción interna, grados, τ = Esfuerzo cortante, kN/m², σ = Esfuerzo normal, kN/m².

También se obtuvieron datos de precipitación pluvial de la zona (IMT, 2006), con la finalidad de realizar la

modelación del flujo de agua en el cuerpo del talud, dichos datos se muestran en la Figura 9.

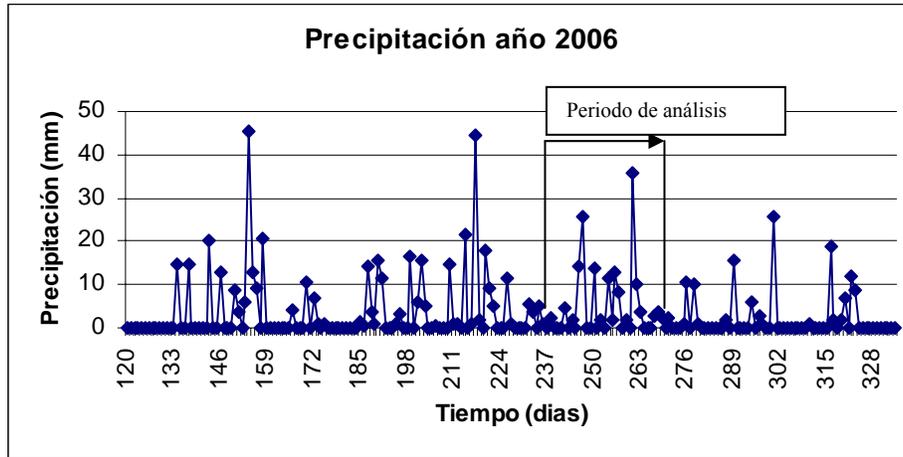


Figura 9. Precipitación pluvial en la zona de estudio.
Nota: los días que no se muestran en la figura no tuvieron precipitación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de lluvia que se presentan corresponden al año 2006, ya que en esa fecha se presentó el deslizamiento del kilómetro 240 + 000 de la “autopista del sol” (IMT, 2006). Tomando como constante el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)

(Fredlund y Rahardjo, 1985) obtenido en el ensaye triaxial saturado de la Figura 6, y con la ayuda de la Figura 8 de los círculos de Mohr para diferentes grados de saturación, se determinó el valor de la cohesión para diversos grados de saturación. Esta relación se puede observar en la Figura 10.

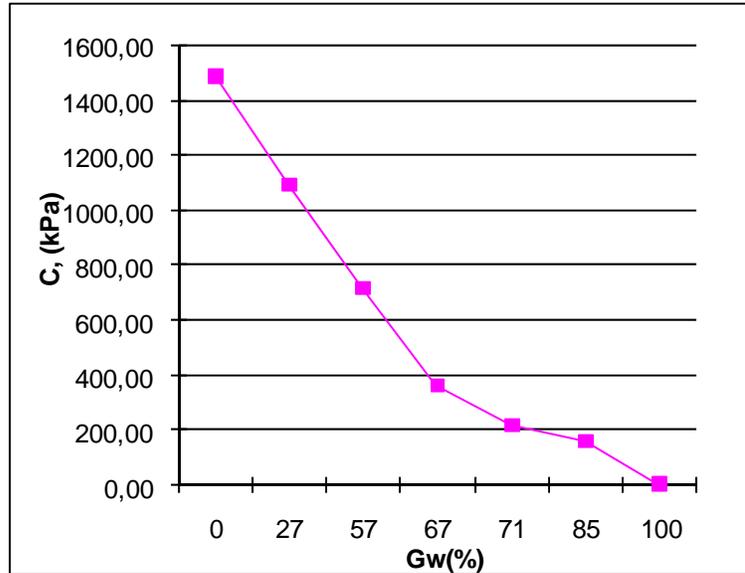


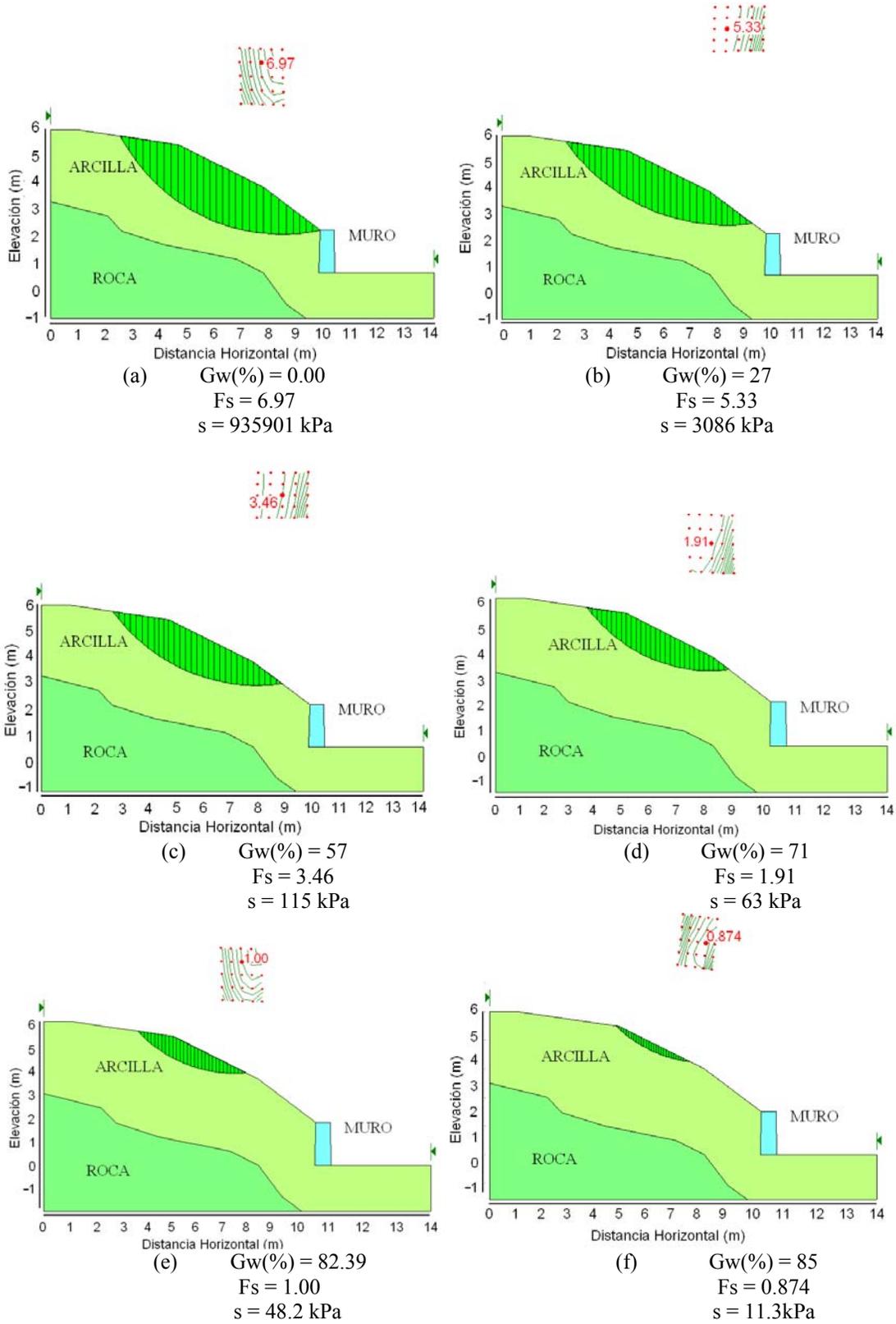
Figura 10. Cohesión (C) vs Grado de saturación (Gw).

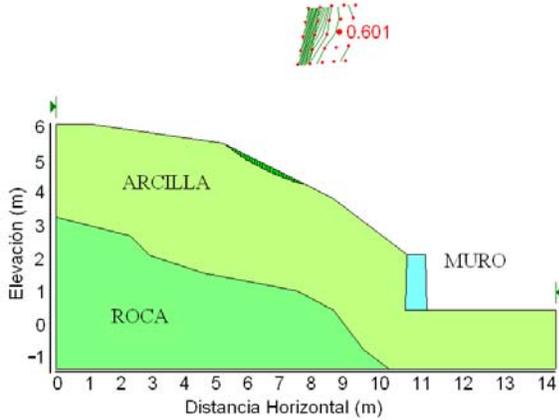
Con el valor del ángulo de fricción interna y la Figura 10, se realizó el análisis de la estabilidad del talud utilizando el programa Geo Slope (1998). Este programa determina el factor de seguridad de un talud a partir del método de Bishop. En este caso se realizaron una serie de análisis haciendo variar el valor del grado de saturación del material. La

variación se hizo desde el estado seco, que se presenta en los meses de enero a marzo, hasta el estado saturado, que puede ocurrir en los meses de septiembre y octubre que es cuando la intensidad de las lluvias es mayor. Con base en el valor del grado de saturación, se obtuvo el valor de la cohesión (Figura 10), mientras el ángulo de fricción interna se

mantuvo constante. Con la ayuda de la curva característica en la trayectoria de humedecimiento

(Figura 5) se pudo determinar la succión existente en el talud para cada grado de saturación (Figura 11).





(g) $G_w(\%) = 98.23$
 $F_s = 0.601$
 $s = 0.27 \text{ kPa}$

Figura 11. Análisis de la estabilidad del talud a diferentes grados de saturación.

$G_w(\%)$ = Grado de saturación, en porcentaje, F_s = Factor de seguridad, según Bishop, s = Succión, en rama de humedecimiento.

En función del factor de seguridad se pudieron realizar las graficas que relacionan el factor de seguridad con el grado de saturación (Figura 12) y el

factor de seguridad con la succión (Figura 13), respectivamente.

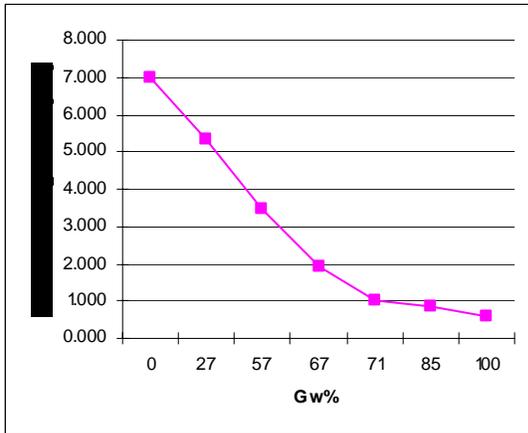


Figura 12. Factor de seguridad vs Grado de saturación (G_w).

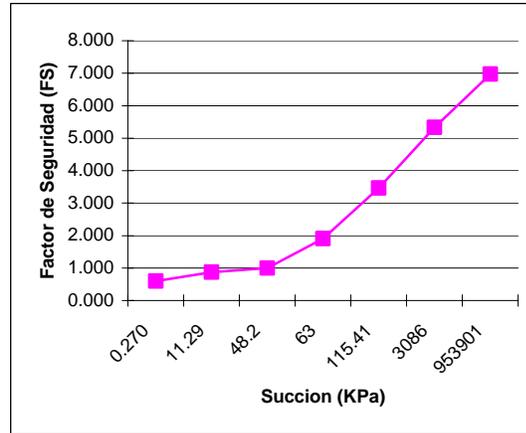


Figura 13. Factor de seguridad vs Succión.

Las fallas estructurales del talud no sólo dependen de las características de resistencia del suelo, sino también de sus propiedades hidráulicas, de ahí la importancia del flujo de agua a través del talud (Collins y Znidarcic, 2004). La infiltración del agua producto de la precipitación pluvial básicamente puede ser de dos tipos: inundación de la superficie del suelo y la infiltración controlada (Alonso *et al.*, 1995). En este caso la infiltración que se presentó es de tipo controlada y en este caso la inclinación del talud es un factor determinante (Jaehong *et al.*, 2004). Mediante el programa de cómputo PlaxFlow (2003), se simuló el flujo de agua en el cuerpo del talud, con lo cual se pudieron observar las zonas en donde se infiltra el agua así como la profundidad de la

infiltración (Figura 14). Para la simulación del flujo de agua en el cuerpo del talud, además de los parámetros físicos y mecánicos, se determinaron las propiedades hidráulicas básicas de suelos, con los que se alimentó el software:

- Coeficiente de permeabilidad saturado (k_s);
- Grado de Saturación (G_w);
- Succión (ψ).

Mediante el programa de cómputo PlaxFlow (2003), se simuló el flujo de agua en el cuerpo del talud, con lo cual se pudieron observar las zonas en donde se infiltra el agua así como la profundidad de la infiltración (Figura 14). El programa usa una

evaporación constante de 0.002m/día y utiliza la ecuación de Van Genuchten (Plaxflow Scientific

manual, 2003) para calcular la conductividad a partir de la curva de retención.

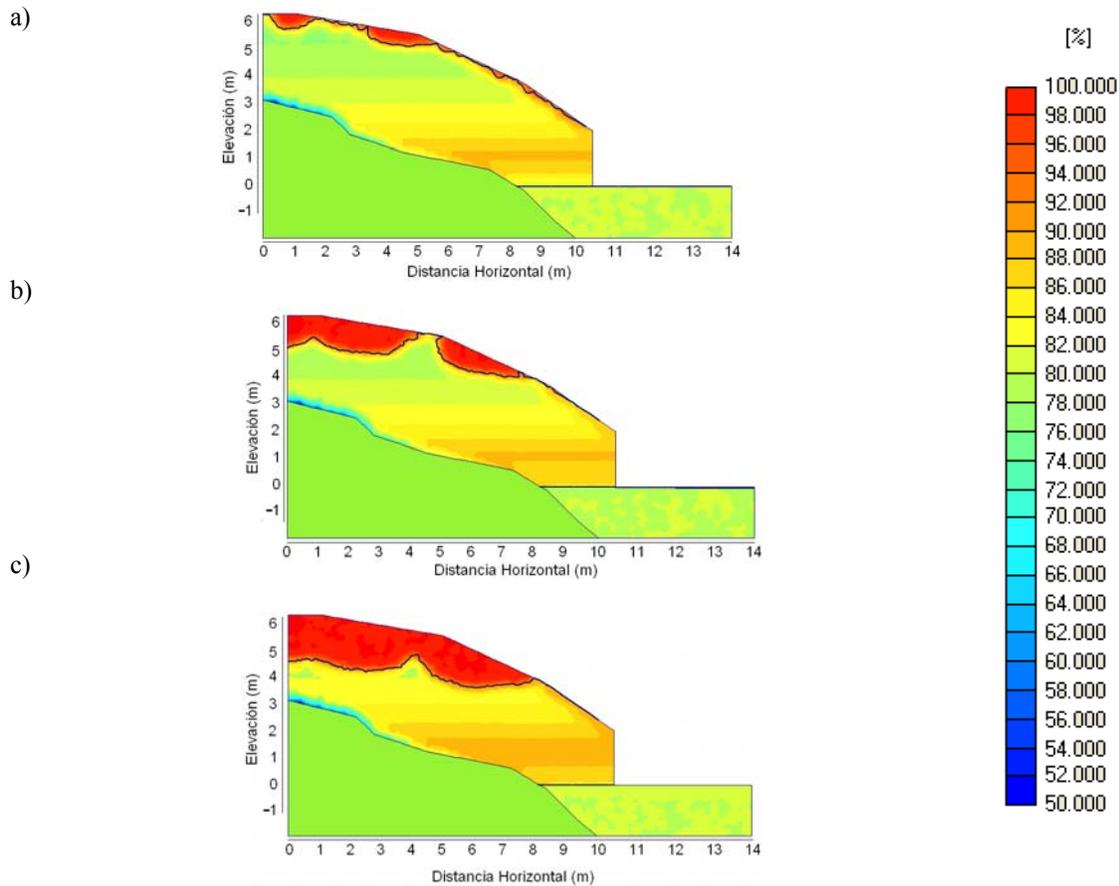


Figura 14. Simulación de flujo de agua en el talud, a) 15 días, b) 20 días y c) 30 días. Nota: los días corresponden al periodo de análisis que aparece en la Figura 9, correspondientes al mes de septiembre.

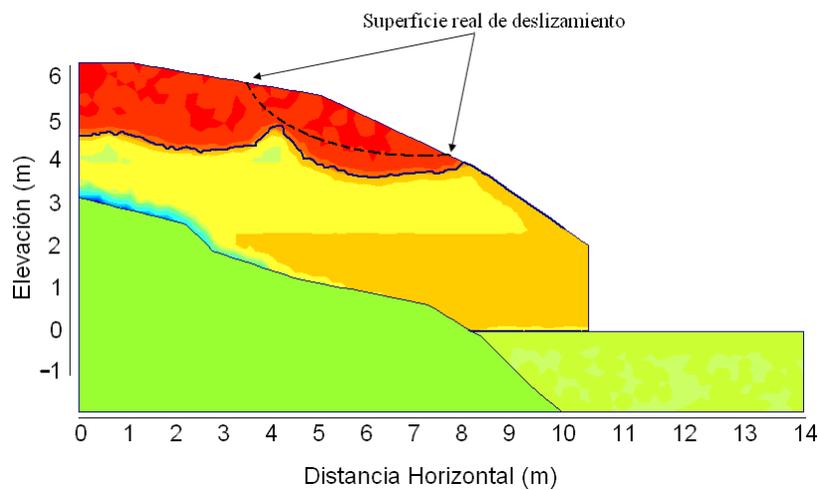


Figura 15. Localización de la superficie real de deslizamiento en el flujo de agua en el cuerpo del talud. Donde se observa que el círculo de falla está localizado en la zona saturada (zona roja).

Los resultados de la simulación de flujo de agua presentados en la Figura 14 se pueden comparar con las obtenidas para el análisis de estabilidad con un factor de seguridad de uno (Figura 15). Se consideró como estado inicial del suelo a las características que este presentaba al realizarse el muestreo inalterado, es decir terminada la estación seca y con los dos primeros meses de lluvia. A partir de este momento, esta comparación muestra que para un periodo de 20 días de lluvia la infiltración de agua prácticamente coincide con la superficie de falla, de tal manera que la falla del talud ocurriría a los 20 días del mes de septiembre, lo cual coincide con los reportes sobre la falla del talud. Antes de los primeros 20 días se observa que existiría una zona de inestabilidad que crecería conforme la infiltración de agua es mayor. Con el análisis anterior y con la longitud reportada de la falla que es de 3.6 m, se sabe que el desprendimiento fue de aproximadamente 15 m³ de suelo.

Para prevenir este fenómeno es necesario encauzar correctamente el agua de lluvia por medio de drenes en la parte superior del talud y contracunetas que conduzcan el agua hacia la parte baja, minimizando la infiltración al cuerpo del talud. En casos críticos como el que aquí se presentó resulta necesario combinar esta solución con el uso de una membrana impermeable que puede ser a base de una malla metálica y concreto lanzado.

Algunos autores recomiendan reforzar al talud por medio de la colocación de vegetación (árboles) de raíces profundas, debido a que dichas raíces pueden atravesar la zona potencial de falla y así contribuir a su estabilización (Danjon *et al.*, 2008). En combinación se pueden usar plantas como la *Leucaena leucocephala* para prevenir la erosión del talud debido al flujo superficial del agua (Normaniza *et al.*, 2008). Sin embargo debido al clima semiseco de la zona no parece factible su aplicación para el talud estudiado.

CONCLUSIONES

Un factor determinante en la estabilidad de taludes es el valor de la cohesión (C) del material que conforma

el talud. Este valor está relacionado de manera directa con la succión (s). Mediante algunas pruebas de laboratorio y el análisis de la estabilidad estructural del talud, se ha podido establecer la relación entre el grado de saturación (Gw) del suelo y el factor de seguridad (Fs) del talud (Figura 11).

Las propiedades del suelo que influyen en la infiltración de agua en el cuerpo del talud son la conductividad hidráulica del suelo (Ks), la intensidad y duración de la lluvia y la pendiente del talud. La conductividad hidráulica está relacionada, a su vez, con la curva de retención del material.

Se consideró que las lluvias anteriores al mes de septiembre del 2006, contribuyeron a formar la humedad natural del talud, con la cual se inicio el análisis. Por medio de la simulación de flujo que se observa en la Figura 14, sabemos que a los 20 días de lluvia del mes de septiembre, se presentaría el deslizamiento de la masa sombreada que se muestra en la Figura 11, para un factor de seguridad de 1. Estos resultados corresponden con los reportes de campo obtenidos sobre la falla del talud, en volumen de material desprendido y a que el deslizamiento de la zona se presentó entre los días 20 y 26 de septiembre (IMT, 2006), estos resultados se presentan en la Figura 15.

De acuerdo con lo anterior, se confirma que el humedecimiento es un detonante fundamental en el deslizamiento de taludes. Por ello, es conveniente proteger el talud contra el humedecimiento excesivo. Esto se puede realizar mediante la colocación de drenes y/o membranas que canalicen el agua de lluvia y la proveniente de la parte superior del talud hacia otras zonas. Otras opciones como el uso de vegetación no parecen muy factibles dado el clima semiseco de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Paul Garnica Anguas, al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes por su importante apoyo y las facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, E., Gens, A., Lloret, A., Delahaye, C. (1995). Effect of rain infiltration on stability of slopes: 2, 241-249. Unsaturated soils, Alonso & Delage (eds) 1995 ISBN 9054105836/2859782419.

Casagli, N., Dapporto, S., Ibsen M. L., Tofani, V., Vannocci, P. (2005). Analysis of the landslides triggering mechanism during the storm of 20th-21st November 2000, in Northern Tuscany: Landslides: 3, 13-21.

- Cho, S.E., Lee, S.R. (2001). Instability of unsaturated soil slopes due to infiltration: Computers and Geotechnics, 28, 185-208.
- Cho, S.E., Lee, S.R. (2002). Evaluation of Surficial Stability for Homogeneous Slopes Considering Rainfall Characteristics: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(9), 756-763.
- Collins, B.D., Znidarcic, D. (2004). Stability Analyses of Rainfall Induced Landslides: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(4), 362-372.
- Danjon, F., Barker, D.H., Dreshage, M., Stokes, A. (2008). Using Three-dimensional Plant Root Architecture in Models of Shallow-slope Stability: Annals of Botany, Oxford Journals, 101 (8), 1281-1293.
- Flores-Berrones, R., Alva García, F., Li Liu, X. (2003). Efecto del flujo de agua en la estabilidad de taludes: Ingeniería hidráulica en México, 18(2), 35-52.
- Fredlund, D.G., H Rahardjo. (1985). Soils Mechanics for Unsaturated soils. Pag. 224.
- Geo-Slope. SLOPE/W Manual de usuario para análisis de estabilidad de talud. (1995). Versión 3. Calgary, Alberta, Canada. Geo-Slope International Ltd.
- Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2006). Reporte técnico.
- Jaehong, K., Sangseom, J., Seongwan, P., Jitendra, S. (2004). Influence of rainfall –induced wetting on the stability of slopes in weathered soils: Engineering Geology, 75, 251-262.
- Juárez-Badillo, E., Rico-Rodríguez, A. (1998). México, D.F., Anexo XII-c. Pruebas de compresión triaxial: Fundamentos de mecánica de suelos, Tomo 1, 431-452. Editorial Limusa.
- Manual de prácticas de Laboratorio de Mecánica de suelos I. (2004). Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Mecánica de Suelos.
- Normaniza, O., Faisal, H.A., Barakbah, S.S. (2008). Engineering properties of *Leucaena leucocephala* for prevention of slopes failure: Ecological Engineering, 32, 215-221.
- Pires, L.F., Cássaro, F.A.M., Reichardt, K., Bacchi, O.O.S. (2008). Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modification: Soil & Tillage Research, 100, 72-77.
- PlaxFlow. Plaxflow Scientific manual. (2003). Versión 1. Países Bajos. R.B.J. Brinkgreve Delft University of Technology & PLAXIS b.v.
- PlaxFlow. Manual de información general. (2003) Versión 1. Países Bajos. R.B.J. Brinkgreve Delft University of Technology & PLAXIS b.v.
- Standard Test Method for Measurement of Soil Potencial (Suction) Using Filter Paper. (1994). ASTM D 5298-94. Estados Unidos.
- Xie, M., Esaki, T., Cai, M. (2004). A time-space based approach for mapping rainfall-induced shallow landslide hazard: Environmental Geology, 46, 840–850.

Este documento se debe citar como:

Mora Ortiz, R. y Rojas González, E. (2009). **Análisis del efecto del humedecimiento en la falla de talud en el km 240+000 del cuerpo A de la autopista Cuernavaca–Acapulco.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-3, pp. 17-28, ISSN: 1665-529X.