

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Deslizamiento en San Juan del Grijalva, Chiapas

Paul Garnica, Eduardo Rojas & René S. Mora
*Instituto Mexicano del Transporte, Universidad Autónoma de Querétaro &
Universidad Autónoma de Tabasco, México*



RESUMEN

El día 4 de noviembre del 2007, en la comunidad de San Juan del Grijalva, Chiapas, ocurrió un deslizamiento de terreno, que generó un alud de suelo de aproximadamente 5 millones de metros cúbicos. Varias personas murieron, inundando y destruyendo viviendas de la localidad y obstruyendo el cauce pluvial. En este trabajo se presenta los resultados de una investigación llevada a cabo para intentar explicar las causas de ese desastre y tratar de generar indicadores que permitan prevenir otros más en el futuro.

ABSTRACT

The 4th November, 2007, at the southeast of Mexico, Chiapas, a 5 million cubic meter landslide take place near the town of San Juan del Grijalva. Several persons were died and destruction took place in the region. In this work the authors present the results of an investigation in order to explain the causes back of this disaster and try to define indicators to prevent in the future.

1 INTRODUCCIÓN

El municipio de Ostucán se localiza en los límites de las Montañas del Norte y de la Llanura Costera del Golfo, predominando el relieve montañoso. Sus coordenadas son 17° 24" N y 93° 20" W. Su hidrología está representada por el río Mezcalapa o Grijalva, y su afluente Ostucán o Sayula y los arroyos Alapac, San José, Cambac, Copanó, Agua Tibia, Shuxpac, Muxpac, Laja, Maspac, Catedral, Amacoite, Sangre, Tanchichal. El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año, con una precipitación media anual de 1968.9 mm (CONAGUA, 2008), situándose junto con Tabasco y el sur de Veracruz como las zonas con mayor precipitación en la República Mexicana.

En el mes de octubre se registró un incremento de precipitaciones en las Regiones Norte, Selva y Centro por la presencia del Frente Frío No. 4 y el reforzamiento de la masa de aire polar interactuando con la Tormenta Tropical "Noel" en el Mar Caribe (2^a Reunión de Evaluación, Lic. Felipe Calderón Hinojosa. 2007).

El día domingo 04 de noviembre a las 20:32 horas, en la comunidad San Juan del Grijalva, 2^a Sección, de Ostucán, ocurrió un deslizamiento de terreno, que generó un alud de suelo de aproximadamente 170 mil toneladas, las cuales al precipitarse sobre el cauce del río Grijalva, provocaron una ola de aproximadamente 50 metros de altura y 5 kilómetros de extensión, matando a por lo menos 10 personas, inundando y destruyendo viviendas en la localidad y obstruyendo el cauce pluvial (Figura 1).

En efecto, todo el mes de octubre de ese año había estado lloviendo en forma excepcional. Los registros mostraban (Fig. 2) que en los días del 28 de octubre al 1 de noviembre se acumularon 1073 mm de lluvia. En los días siguientes prácticamente dejó de llover y se acabó de tajo la temporada de lluvias.



Figura 1. Imagen del deslizamiento de San Juan del Grijalva, México, ocurrido en el 2007

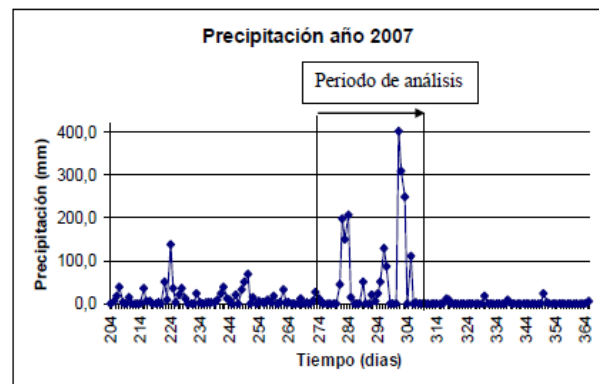


Figura 2. Registro de precipitaciones en el período de análisis.

Los medios de comunicación cubrieron la noticia en detalle; no es la primera vez que un evento así ocurría en México y, sin embargo, siempre se queda uno con la impresión que debe haber forma de promover algún tipo de sistema de alerta temprana contra deslizamientos de masas de suelo.

Este trabajo es un intento de análisis geotécnico de las causas que provocaron la falla y la catástrofe

2 PROPIEDADES DEL SUELO

Un muestreo en el sitio, con las debidas medidas de seguridad propuestas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), permitió la extracción de tres muestras inalteradas representativas del suelo que conforma el cuerpo del talud. 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 y parámetros de resistencia. También, se obtuvo la geometría del talud antes del deslizamiento, con información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Del suelo se puede decir que es un limo de alta plasticidad, clasificación MH, con un límite líquido del 51% y un índice plástico del 16%. Contenido de agua en el lugar del 41.19%, peso volumétrico de 16.37 kN/m³, densidad de sólidos de 2.70 y relación de vacíos de 1.32. El grado de saturación resulto ser del 85.54%, tiene una conductividad hidráulica saturada de 8.95x10⁻⁵ cm/s y un valor del esfuerzo de preconsolidación de 435 kPa.

Como la conductividad hidráulica en un suelo no saturado no es una constante, sino que es una función de la succión, es necesario determinar la relación entre succión y grado de saturación. A esta relación entre succión y grado de saturación se le denomina curva característica y se determino con el método del papel filtro (ASTM D5298), como se puede apreciar en la Figura 3. De esta curva se puede obtener la conductividad hidráulica del material en función de la succión.

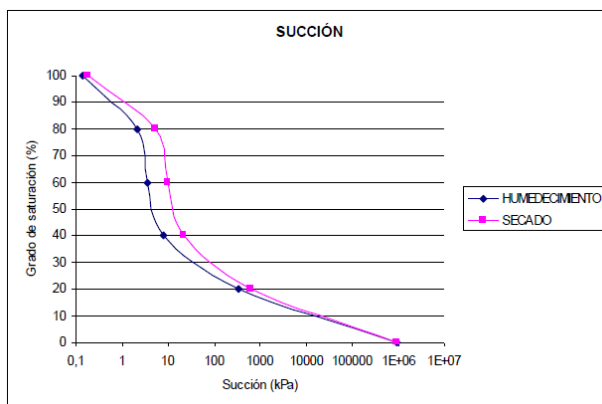


Figura 3. Curva característica del suelo en rama húmeda y rama seca.

Los parámetros anteriores serán utilizados para caracterizar el estado del suelo en las modelaciones de flujo en una masa de suelo no saturado que se presenta posteriormente.

También se realizaron tres ensayos triaxiales consolidados-drenados sobre muestras saturadas de 3.5 cm de diámetro y 8 cm de alto. Se le aplicaron esfuerzos confinantes de 49 kPa, 98 kPa y 147. kPa. 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. Con estas lecturas se elaboraron los círculos de Mohr para determinar del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) que resultó ser de 29° y un valor de cohesión muy pequeño del orden de 3.63 kPa.

De la misma manera, se realizaron ensayos triaxiales consolidados-drenados a diferentes grados de saturación y con un confinante de 147.10 kPa. Los diferentes grados de saturación se obtuvieron partiendo tanto de un estado totalmente seco, con un proceso de humedecimiento, y también partiendo de un estado saturado, con un proceso de secado. Tomando como constante el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) obtenido en el ensaye triaxial saturado y con la ayuda los círculos de Mohr para diferentes grados de saturación, se determinó el valor correspondiente de la cohesión para cada grado de saturación. Esta relación se presenta en la Figura 4.

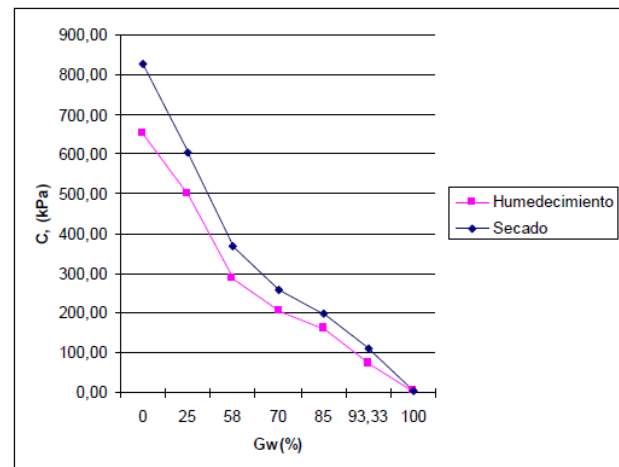


Figura 4. Relación de la cohesión con el grado de saturación.

3 ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE

En este caso debido a que la falla del talud no es enteramente circular, se realizó un análisis de estabilidad con superficies de falla no circulares, siguiendo procedimientos de equilibrio límite. El análisis de la estabilidad se realizó haciendo variar el valor del grado de saturación del material tanto desde el estado seco como del saturado. Con base en el valor del grado de

saturación, se utilizaba el valor de cohesión conveniente mientras el ángulo de fricción interna se mantuvo constante. Para el caso en que se alcanza un factor de seguridad unitario (Figura 5), la superficie de falla prácticamente coincide con la superficie de falla real reportada en campo.

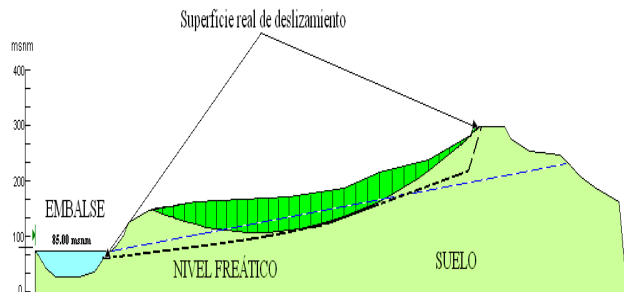


Figura 5. Mecanismo de falla en un análisis de estabilidad de equilibrio límite para un factor de seguridad unitario.

Los resultados permitieron realizar las graficas que relacionan al factor de seguridad con el grado de saturación (Figura 6).

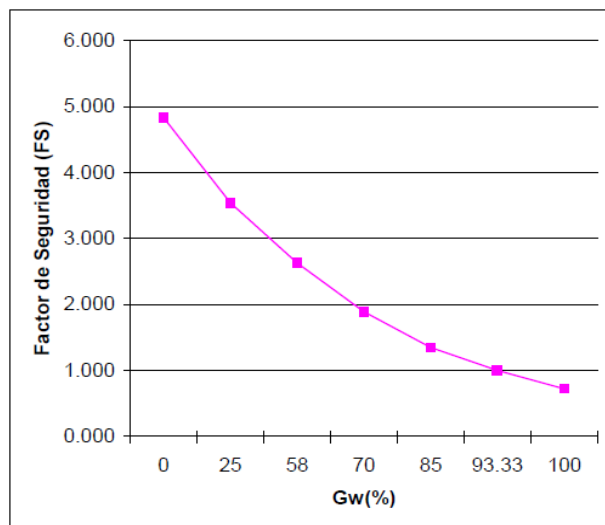


Figura 6. Relación el factor de seguridad y grado de saturación.

4 ANÁLISIS DEL FLUJO EN SUELO NO SATURADO

Con los datos de precipitación pluvial y utilizando un programa de cómputo de elementos finitos para simulación del flujo de agua en una masa de suelo no saturado, se pudo observar el mecanismo de movimiento del agua así como la profundidad de la infiltración (Figura 7). El grado de humedad que se usó para iniciar la simulación fue el que tenía el suelo al hacerse los muestreos.

Como se puede observar, para el día en que se registró la falla del talud (4 de noviembre) el suelo

prácticamente se encuentra saturado, producto de las precipitaciones extremas que se registraron los últimos tres días de octubre y el primero de noviembre. Se confirma que la superficie de falla analizada para un factor de seguridad unitario corresponde con la zona saturada en el análisis de flujo para el día en que ocurrió el deslizamiento. De esta manera, los análisis de estabilidad y de flujo validan el volumen deslizado que alcanzó la cifra de 5 millones de metros cúbicos y una longitud de 320m, además de que las superficies de falla teórica y del sitio coinciden.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cálculos realizados demuestran que las metodologías disponibles permiten explicar, razonablemente bien, el mecanismo que estuvo a la base del deslizamiento ocurrido en la comunidad de San Juan del Grijalva. Para ello solo se requirió conocer los datos básicos de la geometría del talud, propiedades de los suelos y registro de la precipitación. La cuestión ahora es si este conocimiento puede servir para prevenir desastres similares.

Podemos por el momento establecer las siguientes observaciones.

Al inicio del mes de octubre, la masa de suelo poseía un grado de saturación estimado en el 75%, aproximadamente. Para este grado de saturación, el factor de seguridad contra deslizamiento, con las metodologías de equilibrio límite, era del orden de 1.4. Las condiciones eran estables.

Entre el 2 y el 4 de octubre no se registró ninguna precipitación. Enseguida hubo 5 días consecutivos de lluvia, con una precipitación acumulada de 599 mm. Este hecho es ya una primera señal de alerta. En los siguientes tres días no llovió y para el 15 de octubre, el frente de humedecimiento ya presentaba un franco avance en la masa del suelo; al pie del talud el grado de saturación subía al 80 %.

El 16 de octubre llovió 50 mm, luego dos días sin lluvia, y enseguida 6 días seguidos con lluvia cuya precipitación acumulada fue de 317 mm. Esta ya era una segunda señal de alerta. La lluvia acumulada en el mes ya era de 997 mm. Para estas alturas, las áreas de protección civil deberían haber estado en alerta considerando los riesgos latentes de un deslizamiento.

Los resultados numéricos mostraban para esas fechas que casi la totalidad de la masa de suelo tenía grados de saturación cercanos al 90%, y los factores de seguridad ante deslizamiento ya rondaban valores de 1.1

Si se hubiera tomado como indicador de riesgo a la precipitación acumulada en los días anteriores, ya estarían encendidas las alertas de riesgo por deslizamiento y tomado medidas de desalojo en las comunidades de alto riesgo. Varias preguntas viene al espíritu, ¿se conocen esas comunidades? Y si no es así, ¿es viable tener tal zonificación para una región tan vasta como la de Chiapas y comunidades tan pequeñas como la afectada en este caso?

En regiones de Asia, en especial en Hong Kong, si la lluvia acumulada en 15 días es superior a 350 mm y la precipitación en 24 horas es mayor a 100 mm, se considera que se tienen las condiciones para deslizamientos desastrosos. Estas dos condiciones se

cumplieron simultáneamente en San Juan del Grijalva los días 11 de octubre, 23 de octubre y todos los días entre el 28 de octubre y el 1 de noviembre.

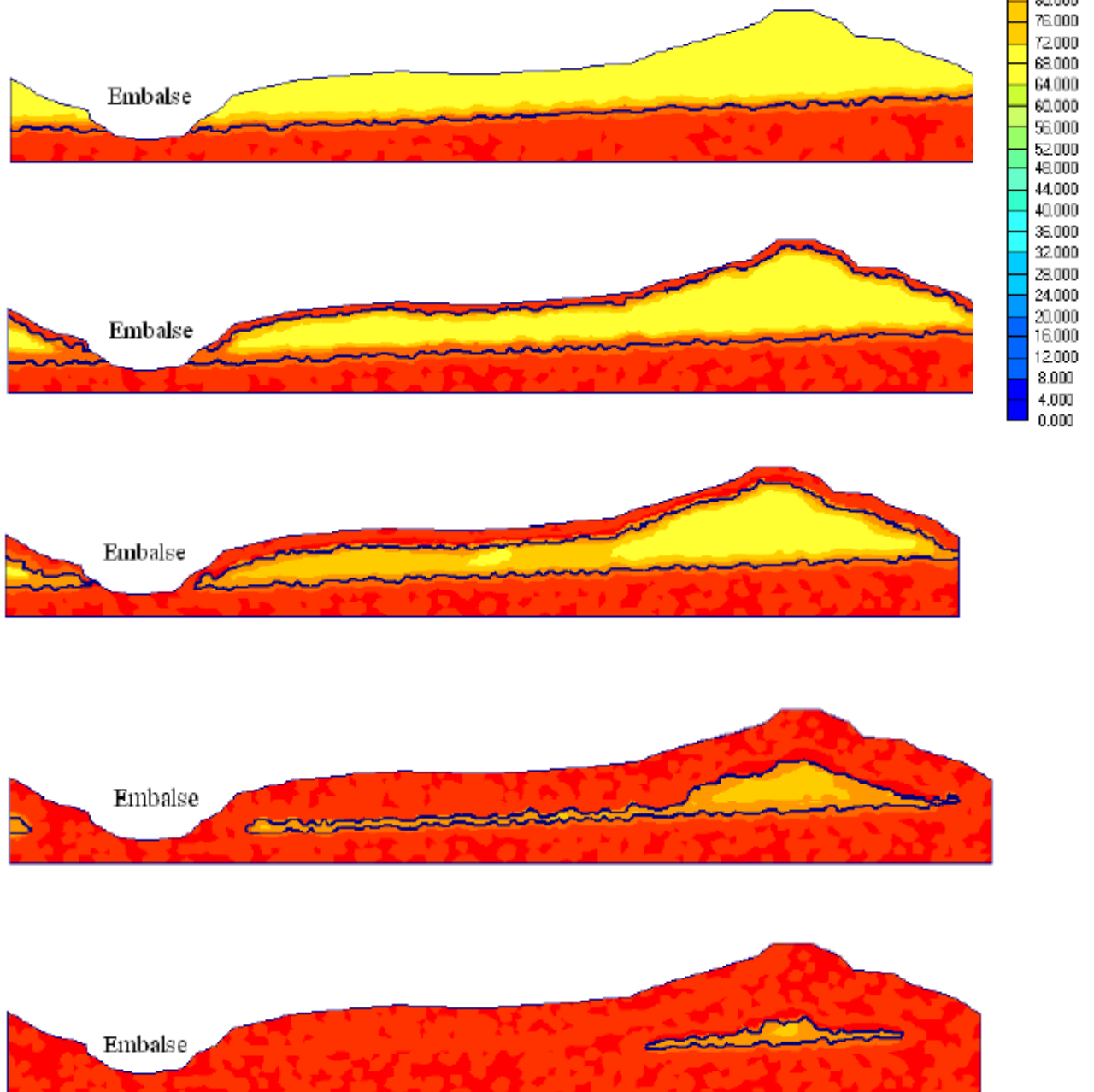


Figura 7. Resultados de la simulación del flujo de agua en la masa de suelo del talud en análisis.

Del 25 al 27 de octubre no hubo lluvia, y los 1073 mm de precipitación acumulados en los 4 días entre el

28 de octubre y el 1 de noviembre solo fueron la gota que derramo el vaso. La masa de suelo se saturó prácticamente en su totalidad en los días siguientes, que

ya no llovió, y el 4 de noviembre del 2007 ocurrió el deslizamiento.

La temporada de lluvias había terminado.

6 CONCLUSIONES

En la cuarta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, las autoridades mexicanas, coordinadas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, reconocen que el escenario climático para los próximos 50 años en Chiapas es el de mayor aparición de condiciones secas, es decir menor precipitación acumulada en el año, pero mayor número de lluvias extremas, ya sea en intensidad, duración, o una sucesión de eventos a lo largo de varios días o semanas, con consecuencias graves para las actividades humanas y el medio ambiente.

Aunque resta por demostrar si se trata realmente de señales de algún tipo de cambio climático, es necesario definir estrategias y medidas de adaptación, como parte de la gestión del riesgo ante tales condiciones, ya que son un componente básico del esquema de desarrollo que toda nación requiere plantearse.

Es urgente definir los mecanismos para implementar acciones de reducción de la vulnerabilidad. La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica tiene por supuesto su papel a desempeñar. El reto es grande.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, E., Gens, A., Lloret, A., Delahaye, C., 1995, Effect of rain infiltration on stability of slopes: 2, 241-249.
- Barrera, M. (2002). Estudio experimental del comportamiento hidro-mecánico de suelos colapsables. Ph.D. Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Barrera Bucio, Mauricio., Garnica Anguas, Paul. 2002. Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica No. 198, Sanfandila, Querétaro.
- Mora Ortiz, R.S., 2009, Efecto del humedecimiento en la estabilidad de taludes: análisis y modelación, Tesis de Maestría en Mecánica de Suelos, Universidad Autónoma de Querétaro.