



**MARN**

Ministerio de Medio Ambiente  
y Recursos Naturales

## **Guía Técnica para la Elaboración de Estudios Geotécnicos y de Estabilidad de Taludes**

**Dirección General de Evaluación y Cumplimiento**  
**Fecha: 5 de marzo de 2019**

## Contenido

1.	Introducción .....	2
2.	Objetivo del Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes .....	2
3.	Base legal .....	2
4.	Generalidades.....	3
5.	Contenido de un Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes.....	3
5.1	Portada .....	3
5.2	Créditos .....	3
5.3	Resumen ejecutivo .....	3
5.4	Objetivos específicos.....	4
5.5	Antecedentes y contexto.....	4
5.5.1	Ubicación del proyecto .....	4
5.5.2	Acceso al proyecto.....	4
5.5.3	Estudios previos realizados en la zona.....	4
5.6	Geología del área del proyecto.....	4
5.7	Detalles de procesos geomorfológicos.....	5
5.8	Las investigaciones de campo.....	5
5.9	Los análisis de laboratorio .....	7
5.10	Análisis de estabilidad: Condiciones para realizar el estudio de estabilidad.....	8
5.11	Conclusiones y recomendaciones.....	9
5.12	Bibliografía .....	9
5.13	Anexos .....	10
6.	Referencias de consulta.....	11
7.	Anexos .....	16

## 1. Introducción

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en cumplimiento a la Ley del Medio Ambiente (LMA), y a su misión ha venido implementando una serie de modificaciones al proceso de evaluación del impacto ambiental y a la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA), requeridos por la LMA para el inicio de actividades, obra o proyecto.

El EsIA determina la viabilidad ambiental de un proyecto, por lo que es necesario contar con información clara, precisa, pero sobre todo real y actualizada, para su elaboración. Si bien la LMA establece el contenido mínimo de tales estudios, se necesita contar con una herramienta que guíe el proceso de elaboración de todos los estudios técnicos que darán soporte a la evaluación del desempeño ambiental de todo proyecto.

Dentro de los estudios técnicos, los relacionados a la estabilidad de los taludes que se generen, o de las laderas existentes en zonas sin intervención, son de vital importancia para evaluar la amenaza por deslizamientos. Para estos estudios, es muy útil establecer requerimientos mínimos para su elaboración, tanto de la información geotécnica necesaria como de los requerimientos para el análisis que se presente, para facilitar la elaboración del estudio y su posterior revisión.

Es así como en este documento se presenta una Guía Técnica para la elaboración del Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes que debe realizarse, como parte de un EsIA.

## 2. Objetivo del Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes

En los estudios de estabilidad de taludes se analizan aspectos relacionados a las amenazas por deslizamientos que pueden afectar a un proyecto. Por tanto, en estos estudios se deben analizar las características propias del sitio del proyecto y las de su entorno relacionadas con este fenómeno.

En el estudio se deben establecer medidas para mitigar las amenazas por deslizamientos, de ser necesarias, o realizar análisis que demuestren que tanto los taludes generados por el proyecto o las laderas en estado natural son estables.

## 3. Base legal

Artículos 117 de la Constitución de la República de El Salvador, 1, 2, 5, 22 y 23 de la Ley del Medio Ambiente; 14 literal c), 15 literal c); y 19 numeral 4 del Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente.

## 4. Generalidades

- El estudio debe ser realizado o dirigido por un profesional competente, debidamente autorizado para ejercer su profesión; en el caso de los estudios geotécnicos, el responsable deberá ser un Ingeniero Civil (o similar, si se graduó en el exterior) con credencial vigente emitida por el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU), quien deberá firmar el documento responsabilizándose por su contenido. Para los estudios de estabilidad de taludes, el responsable deberá ser un profesional competente con estudios de grado o posgrado en temáticas como mecánica de suelos, ingeniería geotécnica, geología, ingeniería geológica o similares, o con experiencia profesional comprobable en la elaboración de estudios de estabilidad de taludes.
- Deben especificarse los datos y contactos de los especialistas involucrados en la realización y elaboración del estudio.
- La información debe auxiliarse de figuras, mapas, tablas, gráficos y anexos que faciliten la comprensión y validen los datos que representen.
- El estudio deberá haber sido elaborado hasta un máximo de cinco (5) años previos a la presentación al MARN.
- Los datos deben ser presentados utilizando el Sistema Métrico Internacional.
- Usar un tamaño de fuente de un mínimo de doce (12) puntos, evitando los tipos de letra “comic”.
- La información presentada en el estudio debe ser proporcionada por fuentes lícitas, comprobables y fidedignas, las cuales deberán ser debidamente referenciadas.

## 5. Contenido de un Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes

### 5.1 Portada

La portada deberá incluir lo siguiente: título del documento, nombre del proyecto, ubicación, titular del proyecto, fecha de realización del estudio.

### 5.2 Créditos

Deben especificarse los datos (nombre, profesión, números de registros) y contactos (número telefónico, correo electrónico) de todos los especialistas involucrados en la realización y elaboración del estudio, indicando claramente su participación. Cada profesional deberá firmar en aceptación de su responsabilidad.

### 5.3 Resumen ejecutivo

Hacer una breve descripción del contenido del informe enfatizando en sus aspectos relevantes y sus principales resultados. Máximo tres (3) páginas.

## **5.4 Objetivos específicos**

Se deben indicar los objetivos del estudio, los cuales deben estar relacionados al proyecto en análisis.

## **5.5 Antecedentes y contexto**

Se debe incluir los puntos siguientes:

### **5.5.1 Ubicación del proyecto**

Definir las coordenadas representativas del proyecto (principal punto de acceso, por ejemplo) y su elevación en m.s.n.m., nombrar el cantón (si aplica) y municipio.

### **5.5.2 Acceso al proyecto**

Describir la ruta de acceso al proyecto, incluyendo carreteras principales, calles secundarias, caminos vecinales, etc., así como poblaciones o puntos de referencia.

### **5.5.3 Estudios previos realizados en la zona**

Si se conocen, resumir los resultados de estudios previos que hayan sido realizados en el sitio, que puedan servir como referencia para la discusión de resultados obtenidos en el presente estudio.

## **5.6 Geología del área del proyecto**

Se debe presentar como mínimo:

- i. Descripción de las condiciones del sitio: Información sobre las unidades y estructuras geológicas relevantes, morfología del terreno, áreas de relleno o afectadas por terracería, áreas de vegetación y edificaciones existentes, que puedan modificar los métodos de investigación e interpretación de datos elegidos.
- ii. Investigación de Superficie: Incluye la cartografía de la geología del lugar y sus inmediaciones, producto de un reconocimiento de campo; identificación y descripción de suelos y tipo de roca, y sus características relacionadas con posibles peligros geológicos.
- iii. Mapa geológico general que contenga:
  1. Base topográfica
  2. Descripción y cuantificación de los detalles de la estructura geológica
  3. Leyenda.

Se deben investigar los mapas geológicos a escalas regionales que se hayan elaborado previamente. Sobre la base de estos se debe hacer una interpretación de la geología del área de estudio. En la sección de referencias se detallan algunos de los mapas que podrían usarse para este fin. Las referencias son orientativas y el estudio no debe limitarse a ellas.

Para proyectos de gran envergadura, en los que se generen condiciones de riesgos importantes o en los que existan condiciones geológicas particulares se podrá solicitar un estudio geológico de detalle, a una escala adecuada, que podrá variar entre 1:1000 a 1:5000, dependiendo del proyecto.

## **5.7 Detalles de procesos geomorfológicos.**

Detallándose (donde aplique):

- 5.7.1 Flujos de escombros identificados y la posibilidad de ocurrencia y posibles trayectorias de flujos de escombros futuros.
- 5.7.2 Deslizamientos de tierra.
- 5.7.3 Caídas de roca.
- 5.7.4 Escarpes de falla.
- 5.7.5 Reptación del suelo.
- 5.7.6 Escarpes de cárcavas de erosión.
- 5.7.7 Surcos de erosión.
- 5.7.8 Fenómenos de hundimiento.
- 5.7.9 Agrietamientos de la superficie del terreno.
- 5.7.10 Juntas.
- 5.7.11 Fallas y su localización.
- 5.7.12 Drenaje superficial (ríos, nacimiento de agua, áreas de acumulación de agua superficial)
- 5.7.13 Agua subterránea (tipo de acuífero, áreas de afloramiento de agua, características de infiltración, nivel freático)
- 5.7.14 Columna estratigráfica típica.

## **5.8 Las investigaciones de campo**

A partir de la cartografía existente y los resultados obtenidos en estudios anteriores, el especialista a cargo de la realización de los estudios geotécnicos puede establecer la estrategia para efectuar las investigaciones que se deben realizar en el campo y en el laboratorio.

La planificación de las investigaciones de campo y laboratorio que se ejecuten como parte del estudio de estabilidad de un talud o ladera, debe incluir la definición del tipo, la cantidad, la localización y la profundidad de las investigaciones de campo que se ejecuten durante la campaña de investigación y de los estudios de laboratorio.

Las investigaciones de campo relacionada con los estudios geotécnicos y de estabilidad de laderas, deben incluir la realización de sondeos exploratorios con recuperación de muestras al menos cada uno y medio metros (*1.5 m*).

Estos sondeos se pueden realizar utilizando alguno de los diversos métodos que existen para realizarlos (*apiques manuales, trincheras, perforaciones a percusión y lavado, rotación,*

*rotopercusión, etc.*). En el estudio se debe plasmar de manera clara y precisa el método utilizado para obtener los datos.

No obstante a lo anterior:

- i. Los sondeos se profundizarán con base en la profundidad de influencia de los esfuerzos aportados por las estructuras a construir.
- ii. Deben profundizarse una profundidad adecuada por debajo de la profundidad de desplante de la cimentación, independientemente de que aparezcan o no mantos de roca o materiales muy duros.
- iii. En el caso de sótanos, la profundidad de perforación deberá contarse a partir de la cota de fondo del mismo.

Se recomienda que para los análisis de estabilidad por lo menos el 50% de los sondeos deben alcanzar una profundidad de acuerdo a uno de los siguientes criterios:

- i. Profundidad de 1.25 veces la diferencia de altura entre el pie y la corona del talud analizado;
- ii. Una profundidad tal que se alcance material firme. Se debe considerar profundizar una profundidad adecuada en el material firme;
- iii. Una profundidad hasta que, de acuerdo al criterio del profesional responsable y debidamente justificado, se alcancen materiales con condiciones geológico-geotécnicas aceptables, con los cuales se pueda definir un modelo geotécnico confiable para el análisis de estabilidad.

Esta última condición deberá ser la excepción, siendo las dos primeras las más recomendadas. Pueden realizarse también sondeos geofísicos, como complemento a las perforaciones realizadas, de ser necesario.

Una vez terminada la campaña de perforación de los sondeos se debe preparar el informe de perforación el cual debe incluir como mínimo:

- Cantidad de sondeos realizados.
- Ubicación georreferenciada de cada uno de los sondeos o perforaciones. Estas deben presentarse en forma de tabla, con sus coordenadas. Esta tabla debe presentarse en el estudio y en un archivo digital en formato de hoja de cálculo de Excel. (Se anexa formato).
- Resultados de los sondeos en formato de tabla en una hoja de cálculo de acuerdo a formato anexo. Cada uno de los sondeos debe presentarse en una hoja diferente del mismo archivo.
- Plano con la ubicación de los sondeos y las líneas de los análisis de estabilidad. Este plano debe presentarse de forma impresa y digital, de acuerdo a los requerimientos para la presentación de planos del MARN. El plano en formato digital debe presentarse en formato dwg, dxf o shp, georreferenciado en el sistema de coordenadas con la Proyección Cónica Conformal de Lambert y el datum NAD27.
- Método de perforación (percusión, lavado, rotación con aire, lodo o agua, etc.).

- Diámetro de la perforación.
- Profundidad de la perforación.
- Cota de la superficie del terreno en el sitio de la perforación.
- Descripción detallada del perfil estratigráfico obtenido con base en las muestras obtenidas (color, litología, nivel de meteorización, textura, fábrica, tamaño de partículas, forma u angulosidad de las partículas, gradación, minerales presentes, estructura, materia orgánica y raíces, porosidad, consistencia o resistencia, humedad y expansividad).
- Resultados de los ensayos de campo realizados en el sondeo (golpes/pie, etc.).
- Porcentaje de muestra recuperada (si aplica).
- Sistema de muestreo utilizado (tubo partido, tubo de pared delgada, etc.)
- Designación de la calidad de la roca (RQD), Rock Mass Rating (RMR) o algún otro índice de las muestras obtenidas (si aplica).
- Descripción de las columnas estratigráficas de los sondeos.
- Cálculo de los parámetros geotécnicos. Se debe especificar como se calcularon los parámetros geotécnicos. Si se usaron correlaciones entre uno o varios parámetros, especificarlas con su respectiva referencia.
- Caracterización de las amenazas o limitaciones del lote relacionadas con aspectos geotécnicos.

## **5.9 Los análisis de laboratorio**

Se debe incluir los puntos siguientes:

Con el fin de obtener un resultado con un nivel alto de fiabilidad, los ensayos de laboratorio se deben realizar preferiblemente en laboratorios debidamente acreditados.

No obstante, sea cualquiera que sea el laboratorio utilizado, se debe tener en cuenta que el tipo y número de ensayos dependen de las características propias de los suelos a investigar y del proyecto a realizar.

Como mínimo se deben realizar los siguientes ensayos:

- Ensayos de granulometría: mínimo uno por cada tipo de material o unidad encontrada en cada perforación.
- Ensayos de determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, de acuerdo a la norma ASTM D4318: mínimo uno por cada tipo de material o unidad encontrada en cada perforación.
- Clasificación completa de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), de acuerdo a la norma ASTM D2487: mínimo uno por cada tipo de material o unidad encontrada en cada perforación.

- Ensayos de humedad natural, de acuerdo a la norma ASTM D2216: Mínimo uno por cada muestra recuperada.
- Ensayos de peso específico de sólidos. (como mínimo uno por cada tipo de material o unidad encontrada en la totalidad de la fase exploratoria).
- Ensayos de resistencia triaxial o en su defecto ensayos de corte directo (como mínimo uno por cada tipo de material ó unidad encontrada en la totalidad de la fase exploratoria).

Para cada tipo de análisis debe explicarse detalladamente la norma de referencia que se tuvo en cuenta para realizar cada uno de los ensayos, así como los métodos y las metodologías utilizadas en la obtención de los resultados

### **5.10 Análisis de estabilidad: Condiciones para realizar el estudio de estabilidad**

- Se requiere analizar como mínimo una sección por cada 100 metros longitudinales medidos sobre el rumbo del talud en la cresta, la mitad o el pie del talud, la distancia que sea mayor. Esta distancia podrá aumentarse para carreteras, pero deberá analizarse un número adecuado de secciones, las cuales deberán ser las más críticas y estar debidamente justificadas.
- Se deben realizar análisis considerando el efecto de sólo gravedad y gravedad más sismo.
- Se deben analizar como mínimo 100 superficies de falla, incluyendo los modos de falla más probables. Se deben detallar las formas de falla típicas, es recomendable probar con diferentes formas de falla, no solamente fallas circulares.
- Si se hace un análisis usando métodos determinísticos, los factores de seguridad mínimos requeridos son los de la Norma Técnica de Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes (Ministerio de Obras Públicas, 1997). Si se desea, podrán usarse otras referencias para los factores de seguridad mínimos, pero no deberán ser menos conservadores que los de la Norma Técnica.
- Si se realiza un análisis pseudoestático, los coeficientes sísmicos a usar serán los establecidos en la Norma Técnica de Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes (Ministerio de Obras Públicas, 1997). Si se decide usar valores mayores a estos, los factores de seguridad siempre deben ser como mínimo los establecidos en la Norma Técnica mencionada.
- Si se hace un análisis determinístico usando métodos de equilibrio límite, se deben usar al menos dos métodos y comparar los resultados entre ellos. Es recomendable que uno de los métodos usados sea un método riguroso,

- De requerirse elementos estructurales en el talud, por ejemplo, muros, deben modelarse como elementos rígidos, de tal forma que las superficies de falla no pasen a través ellos. Pueden considerarse enfoques alternativos si están debidamente justificados.
- Se deben presentar, además, todos los análisis que se requieran de acuerdo a las características de movimientos de remoción en masa.
- Se deben presentar las hojas con los datos de entrada y salidas del programa usado para el análisis de estabilidad de taludes.

### **5.11 Conclusiones y recomendaciones**

Una vez recopilada y analizada toda la información obtenida a partir de las diferentes formas descritas, se debe proceder a realizar las conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta en el proyecto para eliminar o mitigar los posibles riesgos que supone la existencia de taludes en la obra.

En estas conclusiones se debe describir claramente:

- Las zonas de riesgo bajo, medio y alta (mitigable o no mitigable).
- Las pendientes máximas de diseño de los taludes del proyecto.
- Establecimiento de las zonas de aislamiento o zonas de protección (para calcular la distancia de estas zonas puede utilizarse la fórmula establecida en el Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, de acuerdo a la última reforma). De la misma forma, deben considerarse otros fenómenos como amenaza por inundaciones, procesos erosivos y amenaza por flujos de escombros.
- Las limitaciones de origen geológico que afectan el proyecto
- La compatibilidad del uso propuesto de la tierra con las amenazas y limitaciones geológicas
- Medidas requeridas para reducir los daños potenciales ante la probable ocurrencia de procesos de remoción en masa.
- Procedimientos de mitigación, cambios de proyecto o diseños requeridos.
- Recomendaciones y diseño de las obras de estabilización, de ser necesarias.
- Recomendaciones para el sistema de excavación y de relleno.

### **5.12 Bibliografía**

En todo el texto del documento, donde corresponda, debe citarse los autores de los libros, revistas, publicaciones o cualquier documento que haya servido de sustento o de fuente de información. En este apartado deben detallarse las referencias, siguiendo normas internacionales reconocidas para citas bibliográficas.

### **5.13 Anexos**

En este apartado deben incluirse todos los documentos que sean necesarios para ampliar y/o detallar la información presentada, así como los planos de soporte necesarios.

Los planos del proyecto deben presentarse con las escalas recomendadas.

Incluir al menos, los siguientes planos/mapas:

- General del proyecto, con ubicación del mismo.
- Sondeos realizados, georeferenciado y en formato dwg y pdf.
- Topográfico.
- Geomorfología de la zona en estudio.
- Geología de la zona en estudio.
- Secciones analizadas en el análisis de estabilidad de taludes

## 6. Referencias de consulta

Nota: En las referencias en las que se proporciona algún enlace para descargar el documento, la disponibilidad de este depende del propietario de la página web.

### **Manuales, reglamentos, guías, mapas geológicos y geología**

Asociación Costarricense de Geotecnia (2015) Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, Primera Edición.

CDMB (2005). Normas Geotécnicas CDMB - Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la Realización de Estudios Geotécnicos, Geotécnicos e Hidrológicos. Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB - Bucaramanga. Colombia.

DIARIO OFICIAL DE LA REPÚBLICA DEL SALVADOR. 2009. Reformas Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños. San Salvador, República de El Salvador.

Ministerio de Obras Públicas de El Salvador (1997) Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes. San Salvador, El Salvador.

SOCIEDAD DE INGENIEROS DEL ATLÁNTICO. ALCALDÍA DISTRITAL DE BARRANQUILLA. 2007. Código de Laderas del Distrito de Barranquilla. Colombia.

The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (GEO). (2011). Geotechnical manual for slopes.

US Army Corps of Engineers (USACE). (2003). Engineer manual: Slope stability.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). (1997). Geotechnical engineering circular No. 3: Design guidance: Geotechnical earthquake engineering for highways, Vol. 1 Design Principles.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) (2002) Geotechnical engineering Circular N° 5, Evaluation of Soil and Rock Properties. Report FHWA-IF-02-034.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) (2002) Subsurface Investigations (Geotechnical Site Characterization), Report FHWA-NHI-01-031.

Washington State Department of Transportation (WSDT). (2013). Geotechnical design manual.

### **Geología de El Salvador y mapas geológicos.**

Centro de Investigaciones Geotécnicas-CIG. (1987). Mapa Geológico del área de San Salvador y sus alrededores. Esc. 1:15,000. Ministerio de Obras Públicas. El Salvador.

Ferrés, D., Delgado Granados, H., Gutiérrez, R.E., Farraz, I.A., Hernández, E.W., Pullinger, C.R. and Escobar, C.D. (2013). Explosive volcanic history and hazard zonation maps of Boquerón Volcano (San Salvador volcanic complex, El Salvador), Geological Society of America Special Papers, 498, p. 201-230,doi:10.1130/2013.2498(12).

Ferrés, D., Delgado Granados, H., Hernández, W., Pullinger, C., Chávez, H.,Castillo-Taracena, C.R., and Cañas Dinarte, C. (2011), Three thousand years of flank and central vent eruptions of the San Salvador volcanic complex (El Salvador) and their effects on El Cambio archaeological site: A review based on tephrostratigraphy: Bulletin of Volcanology, v. 73,no. 7, p. 833–850, doi:10.1007/s00445-011-0465-0.

Lexa, J., Šebesta, J., Chávez, J.A., Hernández, W. & Pècskay, Z. (2011): Geology and volcanic evolution in the southern part of the San Salvador Metropolitan Area. Journal of Geosciences, 56: 105–140. Disponible en línea en [www.jgeosci.org/detail/jgeosci.088](http://www.jgeosci.org/detail/jgeosci.088).

Misión Geológica Alemana (1967-1971) Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000. San Salvador, El Salvador.

Rapprich, V., Hernández, W., Erban, V. (2005) Geology of the Metapán volcanic field NW El Salvador. Revista Geológica de América Central, [S.l.], ISSN 2215-261X. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/4236>.

Rapprich V, Hradecký P (2005) The Cinotepeque Range of central El Salvador: geology, magma origin, and volcanism. Bull Geosci, 80: 277-286. Disponible en línea en: [http://www.geology.cz/bulletin/fulltext/277\\_rapprich.pdf](http://www.geology.cz/bulletin/fulltext/277_rapprich.pdf).

Rapprich, V., Erban, V., Farova, K., Kopackova, V., Bellon, H. y Hernandez, W. (2010). Volcanic history of the Conchagua Peninsula (eastern El Salvador). Journal of Geosciences. 55. 10.3190/jgeosci.069. Disponible en: <http://www.jgeosci.org/detail/jgeosci.069>.

Schmidt-Thomé M (1975). The geology in the San Salvador area (El Salvador, Central America) a basis for city development and planning. Geol Jb, Reihe B: Regionale Geologie Ausland, 13, 207–225.

Servicio Geológico Checo (2003) Estudio de los peligros geológicos en el departamento de La Unión, El Salvador. Disponible en línea en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00019/doc00019.htm>.

Sofield, D.J. (2004), Eruptive history and hazards of Volcán San Salvador, El Salvador, in Rose, W.I., Bommer, J.J., López, D.L., Carr, M.J., and Major, J.J., eds., Natural Hazards in El Salvador: Geological Society of America Special Paper 375, p. 147–158.

Wiesemann G (1975) Remarks on the geologic structure of the Republic of El Salvador, Central America. Mitt Geol Paläont Inst, Univ Hamburg, 44: 557–574.

## **Suelos del Área Metropolitana de San Salvador**

Ascencio, N. y Zúniga, D. (2010) Tierra Blanca Joven: caracterización geológica y geotécnica de la unidad "D. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador.

Ávalos, J. y Castro, R. (2010) Caracterización geológica y geotécnica de la unidad "G" de Tierra Blanca Joven. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador.

Chávez, J.A., Hernández, W., Kopecky, L.(2011) Problemática y conocimiento actual de las tefras tierra blanca joven en el Área Metropolitana de San Salvador, el Salvador. Revista Geológica de América Central, [S.l.], jun. 2011. ISSN 2215-261X. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/6496>.

Dull, R.A.(2004) "Lessons from the mud, lessons from the Maya: Paleoecological records of the Tierra Blanca Joven eruption", Geological Society of America Special Paper 375: 237-244.

Guzmán, M.A., & Melara, E., (1996). Propiedades ingenieriles del suelo del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Revista ASIA, 122, 14–22.

Hernández Guevara, E.W. (2004). Características Geotécnicas y Vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, de Ilopango, El Salvador. Proyecto final presentado para optar al grado de master en tecnologías geológicas en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Disponible en línea en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00079/doc00079.htm>.

Hernández Guevara, E.W. (2004). Mecanismo de ruptura de taludes en ignimbritas de tierra blanca joven, caldera de Ilopango, El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Disponible en línea en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00049/doc00049.htm>.

Molina, B.M., Pérez, G.N. & Vásquez, M.E (2009). Caracterización geotécnica de las tefras Tierra Blanca Joven: unidad "G" en la zona proximal y obras de protección. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador.

Rolo R., Bommer, J., Houghton, B., Vallance, J., W., Berdousis, Mavrommati, P., C. & Murphy, W. (2004). Geologic and engineering characterization of Tierra Blanca pyroclastic ash deposits. Geological Society of America, Special Paper 375, 55-67.

## **Flujos de escombros**

Blanco, F., Burgos, E., y Mejía, M. (2002). Estudio de amenazas por lahar en El Salvador: revisión de casos históricos y calibración de herramientas para la evaluación de amenaza.

Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador.

Cepeda, J., Chávez, J.A. y Cruz-Martínez, C. (2010). Procedure for the selection of runout model parameters from landslide back-analyses: application to the metropolitan area of San Salvador, El Salvador, *Landslides*, Vol. 7, No. 2, pp. 105-116.

Du, J., Yin, K., Lacasse, S. y Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: Application to the metropolitan area of San Salvador, El Salvador. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 19. 1251-1264. Disponible en línea en: <http://www.ejge.com/2014/Ppr2014.109mar.pdf>.

Escalante, M.A. y Fernández, C (2014) Evaluación de Amenazas por lahares, flanco Noroeste del Volcán Chaparrastique, Informe Final. Disponible en línea en: [http://dacger.mop.gob.sv/phocadownload/InfromeTecnicos/estudio\\_laharzSM\\_mayo2014\\_v2compressed.pdf](http://dacger.mop.gob.sv/phocadownload/InfromeTecnicos/estudio_laharzSM_mayo2014_v2compressed.pdf).

Geólogos del Mundo (2005) Caracterización de Amenazas Geológicas en la Ladera Sur Occidental del Volcán Chaparrastique. Disponible en línea en: <http://www.xeologosdelmundo.org/wp-content/uploads/2015/01/Volcan-Chaparrastique-2005.pdf>.

Major, J.J., Schilling, S.P., Sofield, D.J., Escobar, C.D., and Pullinger, C.R. (2001) *Volcano Hazards in the San Salvador Region, El Salvador U.S. Geological Survey Open-File Report 01-366*, 24 pp, 2 plates, <http://pubs.usgs.gov/of/2001/0366/>.

Major, J.J.; Chilling, S.P.; Pullinguer, C.R.; Escobar, C.D. (2004) “Debris- flow hazards at San Salvador, San Vicente, and San Miguel volcanoes, El Salvador”, *Geological Society of America Special Papers 375*: 89–108.

Wang, J., Ward, S., Xiao, L. (2015). Numerical modelling of rapid, flow-like landslides across 3-D terrains: A Tsunami Squares approach to El Picacho landslide, El Salvador, September 19, 1982. *Geophysical Journal International*.

## **Deslizamientos y otros**

Bäcklin, C. y Finnson, H. (1994) *Landslide hazard at the San Salvador volcano*. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, p 136.

Bommer, J.J. y Rodriguez, C.E. (2002) “Earthquake-induced landslides in Central America”, *Engineering Geology 63*(3): 189–220.

Crone, J., Baum, R., Lidke, D., Sather, D., Bradley, L., Tarr, A. (2001) *Landslides induced by hurricane Mitch in El Salvador- an inventory and descriptions of selected features*. Department of the Interior, United States Geological Survey, United States. Disponible en línea en: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0444/>.

Crosta, G.B., Imposimato, S., Roddeman, D.G., Chiesa, S., Moia, F. (2004) Small fast moving flow-like landslides in volcanic deposits: the 2001 Las Colinas Landslide (El Salvador). *Engineering Geology*, 79, 185-214.

Evans, S.G.; Bent, A.L. (2004) "Las Colinas landslide, Santa Tecla: A highly destructive flowslide triggered by January 13, 2001, El Salvador earthquake", *Geological Society of America Special Papers* 375: 25-37.

Jibson, R.W.; Crone, A.J.; Harp, E.L.; Baum, R.L.; Major, J.J.; Pullinger, C.R.; Escobar, D.; Martinez, M.; Smith, M.E. (2004) "Landslides triggered by the 13 January and 13 February 2001, earthquakes", *Geological Society of America Special Papers* 375: 69–88.

Kiernan, S.H., Ledru, O. (1996) Remedial measures against landslide hazards at the San Salvador volcano, El Salvador. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden 100 pp.

Konagai, K., Johansson, J., Mayorca, P., Uzuoka, R., Yamamoto, T., Miyajima, M., Pulido, N., Sassa, K., Fukuoka, H., Duran, F. (2004) Las Colinas landslide: Rapid and long-traveling soil flow caused by the January 13, 2001, El Salvador earthquake. *GSA Paper 375 – Natural Hazards in El Salvador*, William I. Rose eds, Geological Society of America, pp 39–53.

Luo, H.Y., W. Zhou, S.L. Huang and G. Chen (2004). "Earthquake-induced landslide stability analysis of the Las Colinas landslide in El Salvador", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 41, No. 3, pp. 1-6.

Luo, H. (2006) GIS-based approaches to slope stability analysis and earthquake-induced landslide hazard zonation. Tesis para obtener el grado de Doctor en Filosofía, Universidad de Alaska Fairbanks. (En el documento se presenta un mapa de susceptibilidad a deslizamientos creado para la Cordillera del Bálsamo).

Orense, R., Vargas-Monge, W., Cepeda, J. (2002) Geotechnical aspects of the January 13, 2001 El Salvador earthquake. *Soils Found* 42(4):57–68. Disponible en línea en: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/sandf1995/42/4/42\\_4\\_57/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sandf1995/42/4/42_4_57/_article).

Rymer, M.J. (1987) "The San Salvador earthquake of October 10, 1986- geologic aspects", *Earthquake Spectra* 3(3): 435–463.

SNET (2004) Memoria Técnica Para el Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos de Tierra en El Salvador. Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.

Torrecilla, C., Ramírez, I. s.f. Diagnóstico e inventario de la susceptibilidad a las inestabilidades gravitatorias en las áreas afectadas por los terremotos del 2001 en el volcán de Usulután. *Geólogos del Mundo*. Disponible en línea en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00001/doc00001.htm>.

## 7. Anexos

### ANEXO 1: TABLA DE UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DE SONDEOS O EXPLORACIONES

ID	Latitud*	Longitud*	X(m)**	Y(m)**	Elevación Inicial	Profundidad Total

\* En sistema de coordenadas WGS84, en formato de grados, minutos, segundos

\*\* En sistema de coordenadas con el datum NAD27 y la proyección cónica conformal de Lambert

---

**ANEXO 2: TABLA CON RESULTADOS DE LOS SONDEOS O EXPLORACIONES**

Profundidad (m)	Clasificación	Contenido de Humedad (%)	Valores de N (si aplica)	RQD o RMR (SI APLICA)

Se debe presentar una tabla para cada uno de los sondeos realizados. Se podrán agregar columnas adicionales si es necesario, como Límite Líquido, Límite plástico, etc.

## **Lista de chequeo**

1. Geología del área del proyecto
2. Tabla de ubicación georeferenciada de los sondeos o exploraciones, en formato digital
3. Tabla con resultados de los sondeos o exploraciones, en formato digital
4. Planos georeferenciados con ubicaciones de los sondeos en formato impreso, en pdf y en formato .dwg o .dxf o.shp.
5. Hojas con los datos de entrada y salidas del programa usado para el análisis de estabilidad de taludes.
6. Pendientes máximas de diseño
7. Zonas de aislamiento de las coronas y pies de taludes