

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

DISTRIBUCIÓN FORMATO PDF

Elaboró:	Revisó:	Autorizó:
 Mario Ernesto Reyes Martinez Técnico de Evaluación Ambiental 08/01/2018	 Jorge Antonio Cerón Castañeda Gerente de Evaluación Ambiental 16/01/2018	  Vilma Celina Garcia de Monterrosa Directora General de Evaluación y Cumplimiento Ambiental 18/01/2018



## INDICE

I	OBJETIVO .....	3
II	CAMPO DE APLICACIÓN .....	3
III	DEFINICIONES .....	3
IV	DESARROLLO .....	4
	1. Recomendaciones para el uso de la Guía .....	4
	2. Concepto de talud, importancia de la realización de un estudio de las laderas.....	4
	3. Aspectos mínimos que se deben incluir en los estudios geotécnicos dentro de un EslA .....	4
	3.1 Geología del área del proyecto.....	5
	3.2 Detalles de procesos geomorfológicos .....	5
	3.3 Las investigaciones de campo.....	6
	3.4 Análisis de laboratorio .....	8
	4. Análisis de estabilidad .....	9
	5. Conclusiones de estudio geotécnico y de estabilidad de taludes.....	10
	6. Referencias .....	10
V	REGISTROS.....	16
VI	HOJA DE CONTROL DE MODIFICACIONES .....	16
VII	ANEXOS.....	17
	ANEXOS 1: TABLA DE UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DE SONDEOS O EXPLORACIONES.....	17
	ANEXOS 2: TABLA CON RESULTADOS DE LOS SONDEOS O EXPLORACIONES.....	18
	ANEXOS 3: LISTA DE CHEQUEO .....	19

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES GOBIERNO DE <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b> <b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b> <b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b> <b>PÁGINA: 3 de 19</b> <b>FECHA: 18/01/2018</b> <b>REVISIÓN: 0</b></p>
--	---	--

## **I OBJETIVO**

Detallar la información precisa que se necesita relacionada con los estudios geotécnicos y estabilidad de taludes EslA, en correspondencia con los Términos de Referencia (TDR) aprobados al efecto.

Acortar los plazos de tramitación de la solicitud de un Permiso Ambiental, al evitar que se ejecuten observaciones por falta de información.

Realizar una correcta evaluación ambiental de la actividad, obra o proyecto que se presenten.

## **II CAMPO DE APLICACIÓN**

Aplicable cuando se requiere que el proponente de la Actividad, Obras o Proyecto, elabore y presente estudios geotécnicos y estabilidad de taludes al MARN en el marco del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental y sirva como guía a los técnicos de la Gerencia de Evaluación Ambiental para realizar una correcta revisión de la documentación presentada.

## **III DEFINICIONES**

**Talud:** cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierras. Si la inclinación se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera.

## **IV DESARROLLO**

### **1. Recomendaciones para el uso de la Guía**

A la hora de utilizar la presente guía se tiene que tener en cuenta que la misma constituye un documento orientativo que no pretende en ningún momento eliminar o simplificar partes en la tramitación del proceso de EIA y mucho menos suplir o modificar la legislación ambiental vigente.

Es importante tener en cuenta que la Guía siempre va a estimar el escenario más frecuente, pero puede que la actividad, obra o proyecto tenga características específicas que no se incluyan en el contenido de esta Guía. En esos casos, se deben considerar esas características basándose en otras referencias como libros, reportes, manuales y la experiencia y criterio del profesional que realiza el estudio.

En la guía se hace referencia a otros documentos (legales y técnicos) de consulta que pueden ayudar en una mejor comprensión del tema y un mejor desarrollo del mismo en el EsIA.

### **2. Concepto de talud, importancia de la realización de un estudio de las laderas**

Se conoce como talud a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierras. Si la inclinación se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera.

Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación terrea natural (desmontes), en tanto que los taludes son los lados inclinados de los terraplenes.

Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado por parte del proyectista.

La complejidad del estudio geotécnico y de estabilidad de taludes dependerá de la importancia del proyecto, de las consecuencias de una falla y de las condiciones particulares del sitio del proyecto. El profesional responsable del estudio definirá la necesidad de análisis más detallados, así como la extensión de la campaña geotécnica.

### **3. Aspectos mínimos que se deben incluir en los estudios geotécnicos dentro de un EsIA**

La información se puede obtener a partir de:

- a. La cartografía existente. Se debe hacer una recopilación de toda la cartografía (mapas, fotos aéreas, imágenes de radar y de satélites) que puedan existir del área en estudio;
- b. Los datos obtenidos en estudios anteriores;

- c. Investigaciones en el campo;
- d. Análisis de laboratorio.

### 3.1 Geología del área del proyecto

Se debe presentar como mínimo:

- a. 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;
- b. 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;
- c. Mapa geológico general que contenga:
  - Base topográfica;
  - Descripción y cuantificación de los detalles de la estructura geológica;
  - 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.

### 3.2 Detalles de procesos geomorfológicos

Detallándose, donde aplique:

- a. Flujos de escombros identificados y la posibilidad de ocurrencia y posibles trayectorias de flujos de escombros futuros;
- b. Deslizamientos de tierra;
- c. Caídas de roca;
- d. Escarpes de falla;
- e. Reptación del suelo;
- f. Escarpes de cárcavas de erosión;

- g. Surcos de erosión;
- h. Fenómenos de hundimiento;
- i. Agrietamientos de la superficie del terreno;
- j. Juntas;
- k. Fallas y su localización;
- l. Drenaje superficial (ríos, nacimiento de agua, áreas de acumulación de agua superficial);
- m. Agua subterránea (tipo de acuífero, áreas de afloramiento de agua, características de infiltración, nivel freático);
- n. Columna estratigráfica típica.

### **3.3 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:

- a. Los sondeos se profundizarán con base en la profundidad de influencia de los esfuerzos aportados por las estructuras a construir;
- b. 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;

- c. En el caso de sótanos, la profundidad de perforación deberá contarse a partir de la cota de fondo del mismo;
- d. 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:
  - Profundidad de 1.25 veces la diferencia de altura entre el pie y la corona del talud analizado;
  - Una profundidad tal que se alcance material firme. Se debe considerar profundizar una profundidad adecuada en el material firme;
  - 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.

## INFORME DE PERFORACIÓN

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

- a. Cantidad de sondeos realizados;
- b. Ubicación georreferenciada de cada una 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. (Anexo 1 Tabla de Ubicación Georeferenciada de Sondeos o Exploraciones);
- c. Resultados de los sondeos en formato de tabla en una hoja de cálculo de acuerdo a formato presentado en Anexo 2. Cada uno de los sondeos debe presentarse en una hoja diferente del mismo archivo;
- d. 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, georeferenciado en el sistema de coordenadas con la Proyección Cónica Conformal de Lambert y el datum NAD27;
- e. Método de perforación (percusión, lavado, rotación con aire, lodo o agua, etc.);
- f. Diámetro de la perforación;
- g. Profundidad de la perforación;

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES GOBIERNO DE <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 8 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
--	---	---

- h. Cota de la superficie del terreno en el sitio de la perforación;
- i. 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);
- j. Resultados de los ensayos de campo realizados en el sondeo (golpes/pie, etc.);
- k. Porcentaje de muestra recuperada (si aplica);
- l. Sistema de muestreo utilizado (tubo partido, tubo de pared delgada, etc.);
- m. Designación de la calidad de la roca (RQD), Rock Mass Rating (RMR) o algún otro índice de las muestras obtenidas (si aplica);
- n. Descripción de las columnas estratigráficas de los sondeos;
- o. 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;
- p. Caracterización de las amenazas o limitaciones del lote relacionadas con aspectos geotécnicos.

### **3.4 Análisis de laboratorio**

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:

- a. Ensayos de granulometría: mínimo uno por cada tipo de material o unidad encontrada en cada perforación;
- b. 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;
- c. 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;

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

#### **4. Análisis de estabilidad**

A continuación se presentan las condiciones que se deben cumplir para realizar el estudio de estabilidad

- a. 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;
- b. Se deben realizar análisis considerando el efecto de sólo gravedad y gravedad más sismo;
- c. 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;
- d. 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;
- e. 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;
- f. 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;
- g. 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;

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> <p>Gobierno de <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 10 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
---	---	--

- h. Se deben presentar, además, todos los análisis que se requieran de acuerdo a las características de movimientos de remoción en masa;
- i. Se deben presentar las hojas con los datos de entrada y salidas del programa usado para el análisis de estabilidad de taludes.

## 5. Conclusiones de estudio geotécnico y de estabilidad de taludes

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:

- a. Las zonas de riesgo bajo, medio y alta (mitigable o no mitigable);
- b. Las pendientes máximas de diseño de los taludes del proyecto;
- c. 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;
- d. Las limitaciones de origen geológico que afectan el proyecto;
- e. La compatibilidad del uso propuesto de la tierra con las amenazas y limitaciones geológicas;
- f. Medidas requeridas para reducir los daños potenciales ante la probable ocurrencia de procesos de remoción en masa;
- g. Procedimientos de mitigación, cambios de proyecto o diseños requeridos;
- h. Recomendaciones y diseño de las obras de estabilización, de ser necesarias;
- i. Recomendaciones para el sistema de excavación y de relleno.

## 6. Referencias

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 y guías

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> <p>Gobierno de <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 11 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
---	---	--

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.

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> <p>GOBIERNO DE <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 12 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
---	---	--

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.I.], 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.I.], jun. 2011. ISSN 2215-261X. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/6496>.

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES GOBIERNO DE <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b> <b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b> <b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b> <b>PÁGINA: 13 de 19</b> <b>FECHA: 18/01/2018</b> <b>REVISIÓN: 0</b></p>
--	---	---

Dull, R.A.(2004) "Lessons from the mud, lessons from the Maya: Paleocological 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/InformeTécnicos/estudio\\_laharzSM\\_mayo2014\\_v2c\\_ompressed.pdf](http://dacger.mop.gob.sv/phocadownload/InformeTécnicos/estudio_laharzSM_mayo2014_v2c_ompressed.pdf).

Geólogos del Mundo (2005) Caracterización de Amenazas Geológicas en la Ladera Sur Occidental del Volcán Chaparrastique. Disponible en línea en:

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> <p>Gobierno de <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 14 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
---	---	--

<http://www.xeologosdelmundu.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.

 <p>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES GOBIERNO DE <b>EL SALVADOR</b> UNÁMONOS PARA CRECER</p>	<p><b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p><b>PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL</b></p> <p><b>SUB PROCESO EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO: EAM-EIA-GU-01</b></p> <p><b>PÁGINA: 15 de 19</b></p> <p><b>FECHA: 18/01/2018</b></p> <p><b>REVISIÓN: 0</b></p>
--	---	--

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.istage.ist.go.jp/article/sandf1995/42/4/42\\_4\\_57/article](https://www.istage.ist.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. Diagnósis 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>.

## V REGISTROS

CÓDIGO	REGISTRO

## VI HOJA DE CONTROL DE MODIFICACIONES

REVISIÓN ANTERIOR	REVISIÓN ACTUAL	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO	FECHA
		Revisión 0	18/01/2018

## VII ANEXOS

### ANEXOS 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

**ANEXOS 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.

## **ANEXOS 3: LISTA DE CHEQUEO**

### **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