

**Proyecto Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador
SLV/B7-3100/98/0232 UE – GOES**

**“ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA PARA
INCORPORAR EL ANÁLISIS DE RIESGO EN EL PLAN DE
DESARROLLO URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN
SALVADOR.”**

(COMPONENTE GESTIÓN DEL RIESGO. ACTOR OPAMSS ACTIVIDAD F3.8)



San Salvador

Octubre 2006

CONTENIDO

Título

AGRADECIMIENTOS

1. PRESENTACIÓN

1.1 Antecedentes y descripción genérica de la consultoría.

1.2 Metodología del trabajo

1.3 Ubicación geográfica

2. ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE RELIEVE

2.1 Morfoestructuras básicas

2.1.1 Morfoestructuras volcánicas - laderas estructurales

2.1.1.a Laderas estructurales del Volcán San Salvador

2.1.1.b Laderas estructurales de la Caldera Ilopango

2.1.1.c Laderas estructurales del Paleovolcán San Salvador (El Picacho)

2.1.1.d Laderas estructurales del Volcán La Joya

2.1.1.e Laderas estructurales del Domo San Jacinto

2.1.1.f Laderas estructurales de la Caldera San Marcos

2.1.1.g Laderas estructurales de restos de volcanes viejos (Corinto, Carmen)

2.1.1.h Laderas estructurales de Volcanes Nejapa, Apopa (o Cerro Guaycume)
y Cerro Ojo de Agua

2.1.1.i Laderas estructurales de Volcanes Cerro La Tabla, Buenos Aires, Cerro
Redondo y Cerro Picado

2.1.1.j Laderas estructurales de las Calderas Jayaque y "Vieja" (Sierra de Bálsamo)

2.1.2 Morfoestructuras tectónicas - relieve, laderas, formas tectónicas y
predisposición tectónica del desarrollo de relieve

2.1.2.a Relieve y laderas tectónicas del margen de la depresión Salvadoreña

2.1.2.b Laderas tectónicas y caldericas del Volcán San Salvador

2.1.2.c Ladera calderica de Ilopango

2.1.2.d Ladera calderica de San Marcos

2.1.2.1 Depresión Salvadoreña y planicie volcánica fluvial policíclica

2.1.2.1.a Planicie volcánica fluvial policíclica de Santa Tecla

2.1.2.1.b Planicie volcánica fluvial policíclica de San Salvador

2.1.2.1.c Planicie volcánica fluvial policíclica de Apopa

2.2. Procesos geodinámicos contemporáneos

2.3. Conclusiones

3. RECOMENDACIONES PARA RIESGOS GEOLÓGICOS

3.1. Aspectos geológicos generales e importantes para la evaluación de la vulnerabilidad en los sitios de expansión urbana

3.2 Aspectos geológicos importantes para la evaluación de la vulnerabilidad en los sitios de expansión urbana

3.2.1 Actividad volcánica

3.2.2 Tectónica contemporánea – (fallas tectónicas, fallas caldericas)

3.2.3 Erosión – erosión retrograda, badlands, erosión subterránea (piping), erosión lateral de ríos

3.2.4 Movimientos de ladera - flujos escombros, deslizamientos, derrumbes

3.2.5 Inundación – erosión vertical y lateral de lecho, derrumbe, flujos torrenciales, deslizamiento, acumulación, problema de la urbanización

3.2.6 El desarrollo del relieve antropógeno

3.3 Zonas más impactadas por los peligros geológicos

3.4. Conclusión para riesgos geológicos

4. BIBLIOGRAFÍA

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer por toda su colaboración en primer lugar a la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) por haberme invitado a realizar esta consultoría. Por la colaboración directa en el estudio al Arq. Roberto Góchez, Director de OPAMSS, Arq. Roberto Chinchilla, Ing. Celina Cruz, Arq. Luis Reyes, Ing. César Elías, Ing. Neftali Cañas, Arq. Ligia M. Pérez Reyes y muy especialmente al Ing. José Alexander Chávez por su ayuda extremadamente valiosa y apoyo directo en los trabajos de campo y oficina.

Igualmente quiero agradecer al Servicio Nacional de Estudios Territoriales por el apoyo en la transmisión de datos, y asesoría en los trabajos. Especialmente al MSc. Walter Hernández, geólogo quién ha sido el enlace en este estudio y me ha brindando todo su apoyo y colaboración para realizar mejor mi trabajo, al MSc. Carlos Pullinger, Director del Servicio Geológico y a la MSc. Griselda Marroquín Jefe de la Unidad de Sismología con los que he tenido la oportunidad de compartir conocimientos y aprendizajes.

Agradezco al Proyecto de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental (FORGAES), Unión Europea, por su colaboración técnica y financiera. A los Codirectores Ing. Luis Celis y Peter Wachowski y en particular a la Lic. Susana de Flores, especialista en gestión del riesgo por su apoyo directo en el desarrollo de esta consultoría.

Quiero recordar de igual manera a los compañeros y guías incansables de OPAMSS quienes estuvieron conmigo en los trabajos de campo a todos ellos: Sr. Martín Flores, Sr. Douglas Olivares, Sr. René Maravilla ya que sin estas personas no hubiese sido posible recorrer caminos y llegar al punto deseado. Puedo decir que no menos importantes han sido las personas que a cualquier hora se han mostrado siempre disponibles y deseosos de ayudarme en cuanto al transporte y logística.

Son tantas las personas que me han ayudado, no sólo con el trabajo, sino también en hacerme sentir como en mi casa que difícilmente puedo mencionar a todos y expresar todo aquello que nos han aportado. Para todos y cada uno de ellos mi mayor agradecimiento y el recuerdo imborrable que me atesora.

Jiri Sebesta

San Salvador, 27 de Octubre del 2,006

1. PRESENTACIÓN

El objetivo general de la presente consultoría es el de incorporar el análisis y la gestión del riesgo en las labores de planificación del ordenamiento territorial y el control del desarrollo urbano en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). El objetivo específico de la consultoría es el de elaborar un estudio y cartografía geomorfológica en el Área Metropolitana de San Salvador para incorporar el análisis del riesgo en el ordenamiento territorial y el control del desarrollo urbano en el AMSS.

Es importante resaltar que los productos obtenidos como resultado del presente estudio; así como la metodología desarrollada servirán a estas entidades y a otras instituciones del país, que por sus competencias estén relacionadas con el uso del territorio, para disponer de información mas detallada sobre aspectos geomorfológicos del AMSS.

1.1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENÉRICA DE LA CONSULTORÍA.

La incorporación del análisis de riesgo ante peligros naturales en los estudio de planificación urbana es un área temática emergente en el país, como en la mayoría de países en Latinoamérica. En El Salvador, a raíz de los terremotos del 2001, la Oficina de Planificación Urbana del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) valoró la importancia de incorporar el análisis de riesgo en la planificación del territorio. Es en este contexto que la elaboración de la cartografía geomorfológica del AMSS constituye una herramienta necesaria a obtener, con el objeto de realizar debidamente el análisis de riesgo, el cual permitirá determinar políticas de uso del suelo y desarrollar legislación que regule el crecimiento y desarrollo urbano.

De la cartografía geomorfológica se derivan beneficios importantes relacionados, fundamentalmente, con el ordenamiento, gestión del territorio y con la prevención de los riesgos naturales. La cartografía geomorfológica representa las formas producto de los procesos geodinámicos en las zonas más superficiales de un determinado territorio. La elaboración de cartografía se realizó a una escala inferior a 1:25,000 presentando un grado de detalle suficiente de 591.8 km². Esta cartografía contiene la información que permite extraer de ella lecturas interpretativas aplicadas a la resolución de muchos problemas de la planificación del territorio. Es decir, la cartografía aporta un conocimiento preciso en la identificación y localización de una gran parte de los recursos naturales de un territorio. Adicionalmente, los

datos contenidos en los mapas permiten conocer la disponibilidad de recursos y facilitan cualquier proyecto de conservación, protección o aprovechamiento de los materiales geológicos de uso industrial o constructivo de las fuentes geoenergéticas o de los recursos hídricos del territorio.

La identificación de procesos geodinámicos activos y el reconocimiento de los riesgos a ellos asociados; así como la identificación y delimitación cartográfica de estos procesos permite evaluar su probabilidad de ocurrencia y sus áreas de afectación potencial. Entre los diversos riesgos destacan por su carácter catastrófico y extensión de los daños: la sismicidad, el volcanismo y las inundaciones. En menor grado de afectación, se incluyen los riesgos de desprendimiento y movimiento del terreno, de hundimiento por colapso, entre otros. Todos ellos son de una enorme trascendencia económica y social. La información que se extrae de la cartografía de base geomorfológica es valiosísima en la toma de decisiones respecto a calificaciones urbanísticas, planificación territorial, planes de evacuación, o valor del uso suelo, entre otras cuestiones.

La OPAMSS llevará a cabo una actualización del Plan de Desarrollo Urbano del AMSS elaborado en 1995 y valora la importancia de utilizar cartografía temática actualizada para incorporar el análisis de riesgo por peligros naturales en esta actualización.

El análisis geomorfológico pertenece a un grupo de métodos no muy costosos que aprovechan los datos que existen, los instrumentos y materiales, entre otros.

1.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El procedimiento del trabajo comprende los siguientes pasos: El primero fue la investigación de literatura de geología, geomorfología, geofísica y datos de archivo para el reconocimiento del nivel de la investigación en el área de estudio, estando la mayoría de la información ubicada en el archivo del SNET.

Un segundo paso fue la interpretación de las fotografías aéreas estereoscópicas y la elaboración de la metodología del mapa geomorfológico. Un paso muy importante fue la verificación de los conocimientos por medio de la interpretación en el campo y recolección de informaciones sobre las formas y unidades geomorfológicas. Seguidamente se hizo la aplicación y elaboración de toda la información contenida en el mapa geomorfológico y la

elaboración de la estructura del mapa, así como, su digitalización. Simultáneamente viene la elaboración del reporte final y explicación de las recomendaciones para peligros geológicos.

Para la realización del trabajo fue importante también un aseguramiento técnico y logístico, ante todo la preparación de los datos topográficos en formato análogo y digital, de las fotografías aéreas e imágenes satelitales e instrumentos como computadora, software, estereoscopio, GPS, cámara digital y vehículo para el trabajo en el campo que ayudaron en la realización del estudio.

Los técnicos de OPAMSS prepararon para el plano del mapa una combinación de datos topográficos y fueron los siguientes: modelo tridimensional con las curvas de nivel a cada 10 mts y ríos. Los datos están georeferenciados en el sistema geográfico nacional.

Para la interpretación fotogeológica fueron usadas las fotografías aéreas del archivo del SNET y las fotografías nuevas del CRN. Las fotografías aéreas antiguas son de los años: 1,949 - 1,963 - 1,976 y 1,982. Las fotografías aéreas más recientes son del año 2,000.

La preparación técnica antecede la etapa de investigación.

El trabajo de interpretación geomorfológica de las fotografías aéreas se llevó a cabo en la oficina, verificando los resultados de dicha interpretación en el campo. El trabajo de la elaboración del reporte final, las recomendaciones y elaboración digital fueron completadas en la oficina.

El trabajo estuvo parcialmente realizado en cooperación con SNET. Especialmente la investigación de literatura y reportes de geofísica, geología y geomorfología.

1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La capital de El Salvador está ubicada cerca del centro del país, casi a 30 kms de la costa pacífica. El territorio del AMSS ocupa la mayor parte de la depresión salvadoreña (Fosa Central) entre los dos centros volcánicos activos (Cadena volcánica reciente), Volcán de San Salvador y Caldera de Ilopango. Una parte sur, relativamente pequeña, ocupa las laderas de la Sierra (Cordillera) del Bálsamo (Montañas Costeras).

La diferencia de altura es relativamente alta, entre 1,967 msnm para El Picacho y el lecho de valle del Río Acelhuate, cerca de 400 msnm. Estos son los extremos, pero la mayoría del área poblada está ubicada entre 500 y 800 msnm que es un nivel común de la depresión

salvadoreña y sus planicies, esto significa que la capital ocupa las planicies, colinas, montañas, calderas y cañones.

Entre los ríos principales que drenan en el territorio se pueden mencionar: Río Acelhuate, Río San Antonio y Río Las Cañas.

2. ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL RELIEVE

El análisis del desarrollo del relieve es un método para elaboración de la cartografía geomorfológica. La meta del análisis es limitar y explicar la génesis de cada forma de superficie terrestre. Para la creación del sistema de trabajo, las unidades y formas se estudian dividiéndose según los tipos genéticos:

- a) **origen endógeno**
- b) **origen de denudación**
- c) **origen de acumulación**

Las formas y unidades geomorfológicas del origen **endógeno** para la región de San Salvador son las siguientes:

Tectónica – estructura tectónica, ubicación sobre las fallas de acuerdo con el orden.

Actividad volcánica – estructura volcánica, ubicación de las formas volcánicas, etc.

Las formas y unidades geomorfológicas del origen **exógeno** para la región de San Salvador son las siguientes:

Erosión

- erosión como el proceso dentro de la cuenca
- sistema del drenaje
- erosión de suelo
- erosión subterránea

Movimientos de ladera

- reptación (reptación de los bloques grandes, destrucción del macizo por los bloques)
- deslizamiento (deslizamientos poligenéticos, rotacional, planar, etc.)
- flujo (flujo de escombros, flowage)
- derrumbe (incluido caída de bloques)

Meteorización y alteración hidrotérmica - cambio químico y carácter mecánico de la estructura de la roca

Acumulación del aluvión

Inundación

La actividad humana

El relieve se forma en las morfoestructuras.

2.1 MORFOESTRUCTURAS BÁSICAS

En el área de AMSS hay dos grupos básicos de morfoestructuras, que son los siguientes: **laderas y formas estructurales de origen volcánico; laderas, superficies y formas de origen tectónico, que incluye las planicies volcánicas y fluviales policíclicas** que forman las depresiones tectónicas.

Es importante señalar que todas las morfoestructuras son cubiertas en su mayoría con las diferentes caídas o flujos, "surges" piroclásticos caldéricos de Ilopango, con la caída y flujos lávicos del Volcán de San Salvador. La caída y flujos de Ilopango son generalmente de pómez con un nombre común llamado "tierra blanca joven" y pertenece a los productos volcánicos más recientes en el área del AMSS.

El Volcán de San Salvador esta compuesto por productos de ceniza, escoria y flujos lávicos andesíticos.

En esta época contemporánea, las estructuras están expuestas a procesos exodinámicos muy intensivos, generalmente a la erosión y los movimientos de ladera. Actualmente la tierra blanca es la roca más erosionable.

2.1.1 Morfoestructuras Volcánicas - Laderas Estructurales

Las superficies estructurales en esta región son el resultado, generalmente, de la actividad volcánica. Son laderas de estratovolcanes, eventualmente de monovolcanes, maares, de domos dacíticos o de conos cinderíticos. Las superficies estructurales crean las acumulaciones caldéricas y cada forma estructural es consecuentemente erosionada. El nivel de degradación exogénica de la forma volcánica depende, ante todo, de la resistencia de las rocas que componen la superficie estructural. De esta forma, la superficie compuesta por ceniza se erosiona rápidamente, mientras que la superficie compuesta por flujo lávico resiste a la erosión por tiempo más prolongado. Un criterio importante es el tiempo de influencia de los procesos exógenos de las superficies estructurales volcánicas más jóvenes. La superficie estructural es

policíclica porque la actividad volcánica y, también, los procesos de erosión afectan al relieve en ciclos.

Un fenómeno muy importante en el área del AMSS es la acción de los cambios tectónicos permanentes que descomponen las formas originales de las superficies estructurales. Por eso la mayoría de las superficies estructurales son más o menos tectónicamente descompuestas.

2.1.1.a Laderas Estructurales del Volcán de San Salvador

El estratovolcán de San Salvador (1,893 msnm, Quezaltepec), incluyendo el cráter El Boquerón, forman casi un cono volcánico ideal que cubre un área de aproximadamente 18 km² (**Foto No. 1**). Se trata de un complejo, compuesto por varios centros volcánicos y estructuras de edad antigua. El volcán es joven, ya que se encuentra ubicado en su caldera. Los restos del volcán antiguo son El Picacho (1,967 msnm, **Foto No. 2**) y Jabalí (1,402 msnm). Las laderas del volcán son consolidadas por flujos lávicos y por eso no se erosionan, de esta forma los barrancos no son muy profundos. Las laderas entre el resto del volcán antiguo de El Picacho y el cráter de El Boquerón son dañadas por los movimientos tectónicos caldéricos recientes. Algunas formas tectónicas más pequeñas cortan todo el cuerpo del volcán. La ladera oriental es cubierta por los restos de las caídas policíclicas que son intensivamente erosionadas.

El estratovolcan San Salvador es un volcán activo registrándose su última actividad volcánica en el año de 1917.

2.1.1.b Laderas Estructurales de la Caldera Ilopango

La caldera Ilopango comprende de una depresión ancha, cerca de 11 kms por 8 kms, y está ocupada por el lago del mismo nombre, con una superficie de 75 km² y alcanzando en su centro una profundidad de 248 mts (Frullani A., 1988). Las laderas de la caldera son muy irregulares, porque están remodeladas por algunos domos dacíticos o colapsos separados.

Las acumulaciones gruesas de la Caldera Ilopango cubren el área del AMSS más joven (**Foto No. 3**). Alrededor de la caldera se formó una superficie estructural extensa. El material que expulso la Caldera Ilopango conocido como tierra blanca cubrió ampliamente su alrededor.



Foto No. 1

El estratovolcán San Salvador es un volcán activo. En la parte derecha hay un resto del antiguo volcán - El Picacho 1,967 msnm.



Foto No. 2

El resto de paleovolcán San Salvador de El Picacho (1,967 msnm) está marcado por la ladera caldérica en su parte occidental.

El territorio del AMSS cubre una parte extensa de las laderas estructurales de la caldera de Ilopango, entre San Martín, Soyapango, Apopa y Tonacatepeque. Este relieve está conformado por los restos de las planicies estructurales en 3 niveles que corresponden a capas de flujos piroclásticos bien consolidados que están ubicados entre los cañones bien profundos (hasta 250 mts) del Río Tomayate, Río Acelhuate y Río Las Cañas, así como, de sus afluentes.

Cerca de la caldera todavía se preservan restos de la superficie estructural original. Más lejos del escarpe de caldera por la erosión retrograda, la superficie está erosionada y se originan las planicies estructurales. Las planicies estructurales más extensas se ubican alrededor de Apopa (en 500 msnm) y Tonacatepeque (en 600 msnm).

Entre Soyapango y San Martín es posible reconocer cuatro bloques de erupción pre-Ilopango o restos de volcanes viejos (tipo Corinto, que tienen la misma edad que la formación el Bálsamo). Todas estas formas mencionadas anteriormente están cubiertas por la tierra blanca joven y están más o menos erosionadas.

La tierra blanca joven cubrió otras laderas estructurales, del relieve tectónico y las planicies volcánicas y fluviales policíclicas que ya existían antes de las erupciones.

Las últimas acumulaciones (tierra blanca joven) de Ilopango no han sido consolidadas, consecuentemente la superficie ha sido afectada por la erosión intensa. Ahora, la mayoría de las laderas estructurales cerca de la Caldera Ilopango son intensamente erosionadas y solo pocas laderas originales se conservan como restos, la erosión siempre disminuye su extensión.

La tierra blanca que cubre las laderas estructurales de las elevaciones viejas, es también muy erosionada y es preservada solo en los restos. Por ejemplo en las laderas de la Caldera Planes de Renderos (San Marcos) hay tierra blanca erosionada hasta que hace contacto con las rocas de la formación de Bálsamo. Esta fue depositada solo en el pie de la ladera inclinada, al igual que en las laderas de El Picacho, donde la tierra blanca se preserva solo en los restos ubicados al pie de las laderas.

En las planicies volcánicas fluviales de Santa Tecla y San Salvador hay tierra blanca que forma parte del ciclo más joven (erosión). En algunos lugares es retrabajada y desplazada por procesos aluviales o fluviales.

Los restos de las superficies estructurales originales de la caldera Ilopango son conservados cerca de la ciudad Ilopango y Soyapango. Otras superficies son erosionadas por el tipo de relieve llamado "badlands" (**Foto No. 4**).

La Caldera Ilopango es un centro volcánico activo registrándose su última actividad volcánica en entre los años de 1,879 y 1,880, cuando los domos dacíticos de Las Islas Quemadas se formaron.

2.1.1.c Laderas Estructurales del Paleovolcán San Salvador (de El Picacho)

El Picacho forma parte de los remanentes del paleoestratovolcán de San Salvador antiguo **(Foto No. 5)**. Sus laderas han sido erosionadas por largo tiempo, formando barrancos profundos y anchos. En algunos lugares los barrancos tienen una profundidad hasta de 50 o 60 mts. El sistema de barrancos más erosionado es la quebrada La Hermosa que continua como Quebrada Santa Cristina al Río San Antonio. Otras quebradas bastante erosionadas son: Quebrada Las Chachas, que también continúa al Río San Antonio; Quebradas Arenal de Mejicanos, Quebrada Los Amantes y Quebrada Medianera, que continúan al Río Acelhuate.



Foto No. 3
Parte sur de la caldera Ilopango.



Foto No. 4
Cerca de la ciudad de San Martín la erosión forma un relieve de tipo "badlands".



Foto No 5
Los barrancos forman las laderas estructurales de El Picacho.



Foto No. 6
Cono del volcán parasito La Joya (1221 msnm).

Los barrancos tienen una red típica radial, y estos desembocan al pie de la ladera estructural, también en forma de acumulaciones, a los conos aluviales. Los conos aluviales son parte de la planicie volcánica y fluvial políciclica entre Nejapa y Apopa.

2.1.1.d Laderas Estructurales del volcán La Joya

El volcán parásito del Volcán de San Salvador - La Joya (1,221 msnm, **Foto No. 6**) está ubicado en la parte sur del cuerpo volcánico mayor. La Joya es un cono volcánico más pequeño. Es joven y todavía no tiene las laderas muy erosionadas. El volcán está ubicado probablemente en el cruce de la falla caldérica del volcán San Salvador, que pasa por El Carmen y la falla de dirección NS que pasa por el volcán. El cráter del volcán La Joya está ubicado al sur y además no contiene agua. En la parte occidental hay tres centros volcánicos lineales, de los cuales uno aún mantiene actividad fumarólica.

Los flujos lávicos del volcán se desplazaron hasta el pie del volcán San Salvador.

Este volcán es más antiguo que la última caída volcánica de Ilopango, porque la tierra blanca cubre los flujos lávicos producto del volcán.

2.1.1.e Laderas Estructurales del Domo San Jacinto

El domo de San Jacinto (1,154 msnm, **Foto No. 7**) forma una elevación expresiva entre la caldera Ilopango y caldera Planes de Renderos (San Marcos) ocupando una superficie de aproximadamente 15 km² que se eleva sobre el valle subyacente a unos 500 mts. La estructura del domo es fraccionada por la tectónica joven que ahora cuenta con algunas elevaciones (topes) y separaciones. En la cima del Cerro San Jacinto se encuentra una parte degradada del cráter, la cual fue fuente de un flujo lávico andesítico.



Foto No 7
Domo San Jacinto es una estructura volcánica muy marcada.



Foto No. 8

Caldera Planes de Renderos (San Marcos) con ladera caldérica y depresión.

Los restos de tierra blanca son conservados en las depresiones pequeñas. En las laderas principales la tierra blanca ha sido erosionada y su espesor es reducido.

La ladera oriental tiene mucho más tierra blanca y flujos piroclásticos que cubren toda la ladera. Es lógico porque ésta ladera está ubicada muy cerca de la Caldera Ilopango.

Cerca de San Marcos hay una elevación aislada llamada Cerro Linda Vista (868 msnm) que forma probablemente un domo dacítico pequeño o resto tectónico del domo dacítico mayor. En la parte sur de la estructura de San Jacinto hay una estructura caldérica semicircular que está separada del domo San Jacinto ubicado dentro de la depresión San Marcos. La posición recíproca del domo y la estructura caldérica semicircular no se conoce bien. Probablemente el domo subió después de la explosión de la caldera. La superficie del domo está parcialmente meteorizada.

2.1.1.f Laderas Estructurales de la Caldera Planes de Renderos (San Marcos)

Las laderas del sur de la estructura caldérica forman las coladas lávicas (de la formación Bálsamo), bien meteorizadas, y que están recubiertas por algunas decenas de metros de la

tierra blanca (**Foto No. 8**). La meteorización laterítica de la lava está a algunos metros de profundidad. Juntos la tierra blanca y la lava meteorizada no son consistentes, ambas son erosionadas por la erosión vertical densa que produce el relieve del tipo "badlands". Los cortes erosionables de las laderas estructurales terminan hasta en la lava resistente. La profundidad de los cortes erosionables es cerca de 50 hasta 70 mts. La red de drenaje es radial y corresponde con la estructura caldérica total.

2.1.1.g Laderas Estructurales de Restos de Volcanes Viejos (cerca de Corinto)

Entre el Plan del Pito y Río Acelhuate están los restos de los volcanes más antiguos de esta región (**Foto No.9**). El perfil geológico esta conformado por flujos piroclásticos y flujos lávicos que son bastante meteorizados. Los flujos han sido considerablemente tectonizados y no es fácil indicar a que tipo de restos de deformaciones pertenecen. Sobre la planicie volcánica y fluvial de Apopa se elevan más de 200 mts. Las laderas de la estructura tectónica han sido erosionadas. La tierra blanca está preservada solo como restos pequeños, de la cual la mayoría también ha sido erosionada. En la parte derecha del Río Acelhuate también se encuentran restos de las formaciones antiguas, pero están cubiertas por capas de tierra blanca más profundas. El perfil está abierto por el corte de la nueva autopista (**Foto No. 10**).

Similar composición tienen los restos de las acumulaciones volcánicas cerca de Alta Vista al norte de la ciudad de Ilopango, que forman la elevación Cerro Las Delicias, 873 msnm. La mayoría de los restos también están cubiertas por la caída volcánica de Ilopango. Probablemente las elevaciones de Corinto, Cerro Las Delicias y Loma Los Palmeros, cerca de la colonia Alta Vista, son los restos de los bloques tectónicos de las acumulaciones de esta formación Bálsamo que fueron sepultados por los flujos piroclásticos, "surges" y las caídas de la Caldera Ilopango. Las partes más elevadas fueron desnudadas de nuevo por la erosión.

2.1.1.h Laderas Estructurales de los Volcanes Nejapa, Apopa (o Cerro Guaycume), Cerro Ojo de Agua, Cerro La Tabla y Volcán cerca de la Finca Buenos Aires

Los volcanes son ubicados en la parte norte del territorio cerca de las fallas principales que limitan la Fosa Central al norte. Los estratovolcanes son fósiles y su forma ha cambiado por la tectónica intensa, lo que significa que los restos tectónicos de los volcanes son bien erosionados actualmente y sus superficies están meteorizadas.



Foto No. 9

Los Cerros Carmen, cerca de Corinto, son restos tectónicos de volcanes antiguos (de formación Bálsamo).



Foto No. 10

Cerca de la nueva autopista, los restos tectónicos de formación Bálsamo son sepultados por las capas de tierra blanca.

El volcán Nejapa (919 msnm) tiene en su pie una zona formada por conos aluviales que permanentemente agradan cerca de la terminación de los barrancos.

El Volcán Ojo de Agua (646 msnm) es dividido en dos partes separados por la falla marginal de la Fosa Central. La parte norte que es poco baja se llama Loma Espino (601 msnm).

Un Volcán muy destruido por la tectónica es Apopa o Cerro Guaycume (762 msnm) y su forma volcánica es preservada solo en la parte norte. Entre de los Volcanes Nejapa y Apopa pasan los Ríos Acelhuate y Las Cañas que usan la depresión tectónica, los tramos de los ríos aprovechan las fallas con las rocas menos sólidas y compactas. Cerca de la Finca Santa Luisa se originaron dos deslizamientos en la vertiente de falla que corta la estructura del Volcán Apopa.

2.1.1.i Laderas Estructurales del Volcanes Loma Los Buyeses, Cerro Redondo y Cerro Picado

Los volcanes mencionados son conos cinderíticos con coladas lávicas a su alrededor. Las formas volcánicas son bien preservadas y sus superficies no están meteorizadas; también el impacto de la erosión es mínimo y los centros volcánicos o cráteres tienen las formas expresivas lo que significa que son formas jóvenes o casi recientes. Los volcanes son probablemente ubicados en una zona de fallas en dirección noroeste que puede limitar la continuación de la depresión tectónica "Ipala" que tiene la misma dirección de las fallas marginales de dicha depresión.

2.1.1.j Laderas Estructurales de las Calderas Jayaque y "Vieja" (Sierra de Bálsamo)

La parte sur de la capital esta ubicada en las laderas de la Sierra de Bálsamo que originalmente fueron las laderas estructurales de las calderas viejas de Jayaque, "Vieja" (sin nombre) e Ilopango viejo. Las laderas estructurales son bastante viejas y expuestas a la erosión produciendo un sistema de barrancos profundos. La erosión simplemente desnudo las capas suaves, así como, poco resistentes y desnudo las capas sólidas que siempre son los flujos piroclásticos andesíticos monolíticos o los flujos lávicos.

Los barrancos son bien profundos hasta 500 mts pero las laderas son siempre inclinadas y mantienen un equilibrio por lo que no desarrollan movimientos de laderas grandes. Los flujos piroclásticos originan las planicies con escarpes casi verticales que poco a poco se derrumban en forma de bloques separados.

Las laderas estructurales son inclinadas y continuamente bajan de la altura 1,200 msnm hasta 100 msnm en la planicie costeña.

2.1.2 Morfoestructuras Tectónicas - relieve, laderas, formas tectónicas y predisposición tectónica del desarrollo del relieve

Las morfoestructuras del relieve y laderas tectónicas encuadran las laderas que resultaron por los movimientos tectónicos, generalmente en el margen de la depresión tectónica salvadoreña y durante la formación de las laderas caldéricas.

2.1.2.a Relieve y Laderas Tectónicas del Margen de la Depresión Salvadoreña

Por el territorio del AMSS cruza el borde de una estructura tectónica muy importante de la depresión tectónica salvadoreña (Fosa Central). La depresión salvadoreña es un graben con un desarrollo tectónico complicado que también está relacionado con el desarrollo volcánico y la ampliación del margen de la depresión al suroeste. El margen tiene un carácter de *colapso de edificación geológica* y tiene dos bordes (sur y norte).

Entre las Fincas San Luis, al occidente de Santa Tecla, y la caldera Planes de Renderos (San Marcos) se encuentra un segmento del margen sur de la depresión salvadoreña. No es simple reconstruir el margen de la depresión, porque es remodelado, por ejemplo, por la estructura caldérica o es cubierto por las acumulaciones volcánicas más jóvenes del Volcán de San Salvador o de la Caldera Ilopango.

Es posible que en esta parte, el margen de la depresión salvadoreña, coincida con una estructura caldérica de un complejo volcánico más viejo del volcán San Salvador. Los flujos piroclásticos resistentes que forman las laderas en dirección a Panchimalco (de la parte sur) son productos de esta caldera “Vieja” (pero ahora lo conocemos como la capa de formación de Bálsamo).

Contemporáneamente la altura máxima del margen de depresión es cerca de 1,200 msnm, en comparación a la altura más baja de la depresión que es 400 msnm (lecho de Río Acelhuate cerca de Apopa). Lo que significa que la diferencia es cerca de 800 mts. Por eso la diferencia de altura es alta y la energía de erosión provoca procesos exodinámicos intensivos.

Las laderas de las Colinas de Santa Tecla que forman el margen de la depresión salvadoreña cerca de Santa Tecla tienen una diferencia de altura de 200 mts (**Foto No. 11**). Las laderas son, sin embargo, muy inclinadas. Las condiciones geológicas que presentan las rocas es de meteorización y la alta inclinación de las laderas provoca movimientos de ladera y erosión intensa. En el año 2001 un terremoto provocó en Santa Tecla una avalancha rocosa catastrófica. Pero las laderas escarpadas tienen muchas otras coronas de movimientos de ladera antiguas. Lo que significa que los procesos del mismo tipo se desarrollan aquí permanentemente.

La bajada tectónica cerca del margen de la depresión probablemente continúa. Los bloques tectónicos son cubiertos por las acumulaciones volcánicas recientes del Volcán de San Salvador, Maar Plan de La Laguna y la Caldera Ilopango, en donde estas acumulaciones son también tectonizadas en este lugar.

El colapso de edificio estructural siempre acompañó a la actividad volcánica. Un ejemplo de esto es el maar de Plan de La Laguna.

En las partes altas de Las Colinas de Santa Tecla están preservadas tres depresiones tectónicas – depresión de Nueva Cuscatlán, Finca Palmira y Finca Santa Rita.

Las depresiones se desarrollaron probablemente por el colapso de algunos bloques. Las rocas de la formación Bálsamo son generalmente muy meteorizadas (**Foto No. 12**).

Entre la Col. Florida, al este, y la Finca Santa Elenita al oeste, hay un área ancha de bloques tectónicos encajados (**Foto No. 13**). El relieve tiene muchos escalones caóticamente organizados. Las capas significantes de las acumulaciones freato-magmáticas del maar Plan de La Laguna y la caída del Volcán de San Salvador, que cubren los bloques tectónicos, tienen inclinaciones diferentes. La tierra blanca inferior, la cual está un poco más consolidada, es también muy tectonizada. Lomnitz y Schulz (1,966) resumen que los terremotos en el área de San Salvador tenían mayor concentración de epicentros en el año de 1,798 , cerca de Antiguo Cuscatlán que está ubicada exactamente en el centro de ésta región. Los Planes de Renderos fueron afectados por última vez por un sismo el año de 1,986.

El borde Norte tectónico de la depresión, está conformada por los vertientes de fallas entre Guaycume cerca de Ciudad Metrópoli, San José Las Flores al Este, así como, Cantón y Caserío Girón al Oeste. Esta línea de fallas principales y fallas secundarias están conectadas al margen de la Fosa Central que aquí tiene también el carácter del colapso de edificio geológica.



Foto No. 11
Laderas tectónicas de Las Colinas de Santa Tecla.



Foto No. 12
El relieve tectónico cerca de Nuevo Cuscatlán esta conformado por las rocas de la formación Bálsamo que están muy meteorizadas y tienen espesores profundos.



Foto No. 13

Evidencia de los movimientos tectónicos recientes en la parte de las Lomas de Candelaria.

2.1.2.b Laderas Tectónicas y Caldéricas del volcán San Salvador

Las laderas caldéricas de la caldera del paleovolcán San Salvador son preservadas solo en la parte occidental de El Picacho (**Foto No. 14**) que muestra dos fallas anulares concéntricas, conformando así, un colapso según el sistema de fallas anulares gradual. Las laderas son muy inclinadas casi verticales. La diferencia de altura máxima es de 250 mts. Las laderas son expuestas a la erosión intensa y a los movimientos de ladera. Los productos de la erosión y los movimientos de la ladera son retrabajados a las acumulaciones aluviales de la Quebrada Las Lajas o Quebrada Quebradona. Otro resto (Jabalí) del paleovolcán de San Salvador está ubicado afuera del área estudiada.

Las laderas caldéricas del paleovolcán de San Salvador que no fueron tan altas, ahora son cubiertas por las acumulaciones volcánicas nuevas del volcán San Salvador contemporáneo. Pero la subsidencia de la caldera continúa permanentemente y por esta razón se desarrollan las laderas caldéricas nuevas del cuerpo del Volcán de San Salvador contemporáneo.

2.1.2.c Ladera Caldérica de Ilopango

La Caldera Ilopango es una forma muy marcada, ahora cubierta por el Lago de Ilopango (**Foto No. 15**). Las laderas caldéricas son muy inclinadas casi verticales y suben hasta 350 mts sobre el nivel del Lago. La mayoría de las laderas tienen la composición rocosa, pero suave, ya que

son productos caldéricos o de domos dacíticos. La caldera de Ilopango es una forma geológicamente muy joven y las laderas son erosionadas intensivamente. Los movimientos de ladera son asimismo muy intensivos. En algunas partes que no son tan inclinadas hay acumulaciones de aluviones y se desarrollan los conos aluviales, por ejemplo, cerca de Punta Apatasco o Apulo.



Foto No. 14
Ladera caldérica de El Picacho.

La erosión retrógrada joven que siempre aprovecha las zonas tectónicas débiles o las zonas con rocas menos resistentes tiene un impacto grande en los escarpes cercanos a la Finca San Fidel. En el mismo lugar, el Río Chagüite desemboca al Lago de Ilopango y forma un pequeño delta que permanentemente agrada, ya que el río transporta muchas aluviones o el nivel del lago sube. (Foto No. 16) .

2.1.2.d Ladera Caldérica de Planes de Renderos (San Marcos)

La ladera caldérica, alrededor del domo dacítico de San Jacinto, es una estructura semicircular bien expresiva que está ubicada exactamente en la línea del margen tectónico de la depresión salvadoreña (Foto No. 17).



Foto No. 15
Laderas caldéricas de Ilopango.



Foto No. 16
La agradación de los aluviones del Río Chagüite en la delta limnica cerca de la Finca San Fidel.



Foto No. 17

Ladera de la caldera Planes de Renderos (San Marcos) tiene una diferencia de altura de 300 mts.

Todavía no se conoce si la estructura circular se originó como una caldera explosiva o como el colapso del domo dacítico de San Jacinto. Lohnitz y Schulz (1966) resumen que en el área de San Salvador, los epicentros mayores de terremotos están ubicados exactamente en la depresión caldérica de Planes de Renderos (San Marcos - de los años 1576, 1854, 1873 y 1965).

El escarpe muy expresivo de la forma caldérica tiene una altura máxima de 300 mts. Similar a otras laderas tectónicas, esta bastante erosionado y es un lugar adecuado para el desarrollo de los movimientos de ladera. Los movimientos de ladera son conocidos como derrumbes, reptación de bloques, deslizamientos y flujos de escombros, así como la erosión de suelo ó erosión de tipo de quebradas. La depresión entre el escarpe caldérico y el domo dacítico de San Jacinto ha sido rellenado por tierra blanca. Las acumulaciones de tierra blanca son muy suaves y por eso son erosionadas intensivamente hasta el tipo de "badlands". El área tiene desagüe al Río Acelhuate.

2.1.2.1. Depresión Salvadoreña y Planicie Volcánica Fluvial Policíclica

La depresión salvadoreña está rellena de acumulaciones volcánicas y fluviales policíclicas desarrollando una planicie.

Las planicies volcánicas fluviales forman los pies de los volcanes y las laderas de fallas o calderas. Siempre se forma un relieve plano y poco inclinado a los pies de los volcanes. El perfil geológico obtiene un complejo de las rocas y los sedimentos generalmente poco consolidados con los cambios de la homogeneidad.

El material que compone a las planicies volcánicas y fluviales son siempre las capas distales poco o bastante consolidadas de cenizas y otros tipos de caída volcánica como coignimbrita de pómez, la caída de pómez, la escoria o los flujos piroclásticos y los "surges" piroclásticos. Muy comunes son los sedimentos aluviales o fluviales de los conos deyección, las capas de arena y grava de lechos avulsos, las acumulaciones de los lahares y flujos de escombros. Es posible también investigar las capas de los sedimentos limnicos y cenizas retrabajadas. Muy a menudo una parte importante son los flujos lávicos sepultados.

En el territorio de AMSS el material de la planicie volcánica y fluvial tiene una cantidad de tierra blanca poco retrabajada, muchos flujos lávicos sepultados, las caídas de ceniza, pómez, flujos y "surges" piroclásticos de pómez de Ilopango. Significa que el relleno de la depresión salvadoreña es policíclico y también poligenético.

La superficie de las planicies volcánicas y fluviales siempre tienen el carácter de últimos ciclos. Ya que, la última acumulación volcánica y las caídas fueron retrabajadas, tenemos en la superficie de las planicies una red de conos aluviales. Las laderas y pie de los volcanes forman después del ciclo volcánico las acumulaciones poco consistentes o no coherentes. Por eso, seguidamente, son erosionadas y retransportadas a la planicie. Sucesivamente, los ríos y su erosión vertical cortan las acumulaciones de los conos aluviales y originan las quebradas o cañones. La proporción de la acumulación y erosión cambia siempre.

Contemporáneamente predomina la erosión vertical que corta las planicies por las quebradas y cañones profundos.

Es de suponer que la edad de las acumulaciones de la planicie volcánica y fluvial en el territorio de AMSS corresponde con su desarrollo policíclico en pleistoceno hasta la fecha. Es posible estimar el espesor de las acumulaciones policíclicas en decenas de metros, tal como

Menciona el reporte alemán (Schmidt-Tóme, 1977). La cuota y espesor de la tierra blanca, evidentemente crece cerca de la Caldera Ilopango donde se ubica su fuente.

Es posible suponer que las acumulaciones volcánicas y fluviales policíclicas nivelan y sepultan un relieve tectónico complejo formado por las rocas de la formación del Bálsamo.

Considerando que el desarrollo tectónico del territorio del AMSS permanentemente continua, las acumulaciones de la planicie son quebrantadas por las fallas jóvenes. Estas fallas se observan solo en las paredes de cañones o quebradas profundas.

Ya que contemporáneamente tenemos el ciclo de la erosión, las planicies cerca de los drenajes y bases de erosión mayores del Río Las Cañas, Río Acelhuate y del Lago de Ilopango son erosionadas intensamente hasta convertirse en el tipo de relieve "badland". Por lo general, la profundidad de los valles o los cortes de erosión dependen de la distancia del valle o cañón mayor. La erosión contemporánea es muy intensiva.

El agente geomorfológico reciente es la urbanización, ya que transforma el relieve radicalmente. Con esto, se dan cambios en la forma, pero el cambio más serio se lleva a cabo en el sistema de drenaje y la infiltración del agua de la lluvia. La causa de la erosión intensa es probablemente que una parte del área está urbanizada y la mayor parte de la superficie está pavimentada, en donde la infiltración del agua de lluvia es poca y el desagüe superficial es enorme.

La urbanización provoca cambios en la topografía natural del "badland", la canalización de los drenajes, la construcción de las terrazas etc. Comúnmente, las actividades de la urbanización no respetan las formas naturales, creando las nuevas formas del relieve.

2.1.2.1.a Planicie Volcánica Fluvial Policíclica de Santa Tecla

La ciudad de Santa Tecla está ubicada en la planicie volcánica y fluvial poco inclinada del estratovolcán San Salvador (**Foto No. 18**). Esta planicie forma una división entre el Río Acelhuate y el Río Sucio. Ya que este territorio forma una división hidrológica, aun no está erosionada o desnudada. Algunas de las capas importantes de la planicie son los flujos lávicos, los cuales ahora han sido sepultados con tierra blanca. El margen occidental que separa la planicie de la Caldera Jayaque está muy erosionado por el sistema de drenaje del Río Sucio.



Foto No. 18
Planicie volcánica y fluvial de Santa Tecla.

2.1.2.1.b Planicie Volcánica Fluvial Policíclica de San Salvador

El centro de la capital está ubicado en la continuación de la planicie volcánica y fluvial del estratovolcán de San Salvador (**Foto No. 19**). La superficie de la planicie es poco inclinada y cortada por algunas quebradas. Las quebradas permanentemente penetran a las acumulaciones volcánicas y fluviales tan profundo que, consecuentemente, se originan los cañones. Las quebradas principales son Arenal de Monserrat, Río Acelhuate, Quebrada La Mascota, Arenal Tutunichapa, Río Urbina, Arenal de Mejicanos y Río San Antonio. En el pie del estratovolcán San Salvador, después de la caída de la tierra blanca se originó la red de los conos aluviales donde se ha acumulado la tierra blanca joven re trabajada. Contemporáneamente los conos son cortados por la erosión vertical. Pero en algunos lugares todavía existe la superficie original con el sistema de drenaje típico. Es muy significativo en el sistema de drenaje de la Quebrada La Mascota que tiene algunos lechos abandonados. Actualmente este sistema ha sido cubierto o dañado por la urbanización.

2.1.2.1.c Planicie Volcánica Fluvial Policíclica de Apopa

Esta planicie, poco inclinada, está formada por acumulaciones volcánicas, conos aluviales bien extensos y flujos lávicos (**Foto No. 20**). El Picacho tiene una red de quebradas profundas que producen muchos aluviones que después acumularon en su pie. En El Salvador ahora hay un ciclo de erosión vertical, lo que significa que también las acumulaciones de los conos aluviales son cortadas por las quebradas.

2.2. PROCESOS GEODINÁMICOS CONTEMPORÁNEOS

Los procesos geodinámicos exógenos contemporáneos que impactan el relieve del territorio del AMSS son generalmente la erosión y los movimientos de ladera. También es muy importante el cambio drástico del nivel del agua subterránea por los cambios anuales de las temporadas climáticas.

Pero hay un aspecto nuevo, aspecto no natural que es la urbanización que ahora cambia bastante el sistema del relieve o topografía.

La erosión se clasifica como: erosión planar de suelo, erosión vertical, erosión lateral del río, erosión subterránea y otras.

La erosión planar de suelo es un proceso que impacta las laderas sin vegetación y muy frecuentemente inicia los flujos de tipo "flowage" o flujos de escombros más grandes. La erosión de suelo es posible observarla en todas las laderas del territorio que son bien inclinadas y sin vegetación.

La erosión vertical se encuentra intensamente en el área estudiada e impacta el sistema de drenaje. Corta los lechos de cañones y las quebradas profundas. La erosión es siempre muy selectiva y por eso procesa rápidamente las rocas suaves, deteniéndose en las rocas resistentes que hacen los saltos de ríos. En las rocas suaves la erosión vertical desarrolla el relieve de tipo "badlands".



Foto No. 19
Planicie volcánica y fluvial de San Salvador.



Foto No. 20
Planicie volcánica y fluvial de Apopa.

La erosión vertical es muy intensa cerca de la Caldera Ilopango, en las laderas bien inclinadas de El Picacho, en las laderas estructurales de la caldera Planes de Renderos (San Marcos) y en las laderas de la Sierra (Cordillera) del Bálsamo.

La erosión lateral de los ríos amplía las quebradas, cañones, y esta muy activa especialmente cuando las lluvias son muy fuertes. Muchas paredes de las quebradas y cañones se derrumban por la erosión lateral de la corriente del río. La erosión lateral es enorme en los cañones de los ríos Chagüite, las Cañas y Acelhuate.

La erosión subterránea es un proceso que no se puede ver pero trabaja permanentemente dentro del suelo o los sedimentos finos y suaves o poco consistentes. Este tipo de erosión ocurre cuando el agua que se infiltra en el suelo o en el sedimento, lentamente pero permanentemente, disuelve los minerales solubles o mueve las partículas más finas del sedimento afuera del escarpe, produciendo primero cavernas pequeñas que después se hacen más grandes.

El resultado de este proceso es la degradación de la superficie, el colapso o la erosión superficial.

La erosión subterránea es un proceso particular de los procesos tipo “mass wasting” y provoca otros procesos como los movimientos de ladera u otros tipos de erosión. Es como un proceso inicial de otros. La erosión subterránea intensa siempre influye en la proximidad de cualquier tipo de escarpe, cerca del cañón, de la cuenca alta, de un escarpe de ladera tectónica o caldérica.

Clasificación de movimientos de ladera: reptación, deslizamientos, flujos y derrumbes.

La clasificación de los movimientos de ladera con respecto a la velocidad, se estima para la reptación en años, meses o inclusive en días; para los deslizamiento en días y horas; para los flujos en minutos y en segundos para los derrumbes. Cada grupo de estos movimientos tiene muchos subtipos. Para el desarrollo de los movimientos de ladera son importantes también otros factores, como la inclinación de ladera, la estructura (geometría) y composición de la roca. Las lluvias y los terremotos juegan un papel importante para desencadenar un movimiento de ladera enorme, por eso, en el territorio del AMSS estos procesos son muy comunes, especialmente cuando las laderas son bien inclinadas, como en el caso de los escarpes de calderas, las laderas tectónicas, los escarpes de las quebradas, cañones y valles de “badlands”. El cambio drástico anual del nivel del agua subterránea provocado por el cambio de las estaciones climáticas es un proceso muy importante en todo el país, ya que el cambio del nivel del agua subterránea provoca un cambio en la **presión hidroestática**. La presión hidroestática tiene fuerza, la cual le permite mover los bloques diastróficos más grandes. La fuerza hidroestática tiene un impacto serio en las grandes edificaciones, tales como puentes, presas, túneles o edificios altos.

Los movimientos de las diferentes partes de las estructuras geológicas también degradan el ambiente geológico superficial y no influyen directamente al desarrollo del relieve.

2.3. CONCLUSIONES SOBRE ANALISIS DEL DESARROLLO DEL RELIEVE

El área de estudio del territorio del AMSS forman los siguientes morfoestructuras mayores:

- a) **Morfoestructuras volcánicas** – laderas y formas de los volcanes activos y fósiles
- b) **Morfoestructuras tectónicas** – laderas de fallas y de calderas, colapso edificial por los bloques diastróficos, depresiones tectónicas, incluyendo las planicies volcánicas y fluviales policíclicas.

Toda el área estudiada indica que las estructuras principales, están cubiertas más o menos por las acumulaciones volcánicas jóvenes e históricas de la Caldera Ilopango y del Volcán de San Salvador. Siendo, desde el punto de vista geológico, los centros volcánicos más activos.

La morfología del relieve y las formas geomorfológicas son los resultados de los procesos geodinámicos policíclicos, desde el Mioceno hasta la actualidad.

El último ciclo de los procesos geodinámicos predominante y contemporáneo del desarrollo del relieve, es una combinación de los procesos exodinámicos, en particular la erosión y los movimientos de ladera.

3. RECOMENDACIONES PARA RIESGOS GEOLÓGICOS

En la introducción del capítulo es importante aclarar dos aspectos básicos que siempre se usan. Uno de estos aspectos es la diferencia entre peligro geológico y riesgo geológico, que muchas veces son mal aplicados de acuerdo a la definición de Varnes (1,985), en las instrucciones para OSN, recomienda usar peligro geológico como un término para los procesos naturales que son de origen geológico y que son peligrosos para la sociedad humana. El término riesgo geológico se debe usar solo para el impacto de los peligros geológicos para la vida; ejemplo construcciones, agricultura, etc.

En este capítulo se discutirá, generalmente, sobre los procesos geológicos peligrosos.

El territorio del AMSS es afectado por varios peligros geológicos. Dentro de ésta óptica, es necesario estudiar los procesos geológicos en forma detallada y observar algunos de estos procesos permanentemente. Muy importante es, también, la interpretación de los resultados y sus aplicaciones en la planificación del desarrollo de la capital. La misión principal sería de prevenir y minimizar el impacto de los procesos geológicos negativos que son muy importantes para la protección de la vida y las propiedades.

3.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS GENERALES E IMPORTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS SITIOS DE EXPANSIÓN URBANA

Aspectos geológicos para la evaluación de la vulnerabilidad de los sitios nuevos planificados se dividen en dos grupos - de origen endógeno y exógeno:

Aspectos del origen endógeno:

- **Sismicidad** – estructura tectónica, ubicación sobre las fallas de acuerdo con orden, caldera, colapso edificial etc.
- **Actividad volcánica** – tipos de actividades, alteración hidrotermal de rocas, gases volcánicos, etc.

Aspectos del origen exógeno:

-Erosión

- erosión como proceso dentro de la cuenca – sistema de drenaje (ríos y quebradas, erosión retrógrada – vertical y horizontal)
- erosión de suelo
- erosión subterránea

-Movimientos de ladera

- reptación (reptación de los bloques grandes, destrucción del macizo por los bloques)
- deslizamiento (deslizamientos poligenéticos)
- flujos (flujo de escombros, flowage)
- derrumbe

-Meteorización - cambio químico y carácter mecánico de la estructura de la roca

-Acumulación de aluvión – aluvial o fluvial

-Inundación – complejo de los procesos aluvial y fluvial

-La actividad humana – urbanización, contaminación, cambios de todos tipos

3.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS IMPORTANTES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL AMSS

En este apartado se detallan los procesos geológicos que afectan la zona de estudio; así como un detalle de las zonas en los que estos procesos se encuentran activos.

Desde ésta óptica el territorio del AMSS está expuesto a un enorme peligro geológico.

La ubicación geológica en la depresión tectónica y cerca de los centros volcánicos activos hace a la capital muy vulnerable.

3.2.1 Actividad volcánica

En el territorio de AMSS están ubicados algunos centros volcánicos que se consideran activos, ya que la última actividad volcánica fue en tiempo reciente. El Volcán de San Salvador tuvo su actividad en el año de 1917. Dicha actividad volcánica fue estudiada y analizada por muchos especialistas, por esa razón no hay intención de comentar sobre los peligros geológicos

volcánicos en este reporte; la última vez fue analizado por Sofield D. y otros en Rose W.I. (2004)

Las fumarolas todavía ocurren en la Cooperativa "El Infierno", cerca de Santa Tecla. (**Foto No. 21**).

La Caldera Ilopango tuvo también su actividad histórica, pero es más antigua que la del Volcán de San Salvador. La problemática de la Caldera Ilopango fue planteada recientemente por Mann C.P., Stix J., Vallance W. y Richter M. en Rose W.I. (2004)

Recomendación: No poblar más las laderas estructurales y pie del Volcán de San Salvador y la Caldera Ilopango.

3.2.2 Tectónica contemporánea – (fallas tectónicas, fallas caldéricas)

El territorio total del AMSS está ubicado en la zona tectónica más activa de El Salvador. La mayor parte del territorio está ubicado en la depresión salvadoreña que tiene origen tectónico y su desarrollo permanentemente continúa. El origen tectónico intensivo de la depresión es originado por la relación tectónica regional de las placas Coco y Caribe. La depresión tectónica salvadoreña forma parte pequeña de esta relación.

Otros factores tectónicos son las estructuras caldéricas de Ilopango, San Marcos y San Salvador. El colapso de las estructuras caldéricas provocó la actividad sísmica antigua y puede provocar muchos nuevos temblores o terremotos, lo cuales son peligros inevitables. Nuestra meta es estudiar el mecanismo tectónico y comprenderlo mejor, siendo esta la misión de todas las disciplinas geológicas, incluso geofísica y geomorfología.

Para el territorio del AMSS existen pocos estudios tectónicos. La fuente general de los datos tectónicos está en los escritos geológicos de los geólogos Alemanes, desde el año 1966 hasta 1977 (Schmidt-Tómas). El desarrollo tectónico del territorio aun en proceso, provoca el peligro del origen de un epicentro sísmico que puede ser muy catastrófico. Lomnitz y Schulz (1966) presentan la estadística de los terremotos conocidos en San Salvador, siendo la estadística muy paralela. Por esta razón es muy importante que cada conocimiento se pueda verificar nuevamente y si es posible, respetar estos lugares, no permitiendo las construcciones en estos sitios; ya que la posibilidad de los terremotos sean más intensos en estas zonas es más alta. El riesgo de los temblores o terremotos es muy alto en el AMSS y desgraciadamente muchas zonas de mayor peligro están superpobladas.

Recomendación: Es importante no poblar más las laderas de falla, zonas y laderas caldéricas y áreas con tectónica intensa.

3.2.3 Erosión – erosión retrógrada, badlands, erosión subterránea (piping), erosión lateral de ríos

El relieve del AMSS es desde el punto de vista geológico muy joven. Su superficie esta formada generalmente por rocas sin coherencia. Por eso el efecto de la erosión es tan alto (**Foto No. 22**). La erosión es un proceso complejo dinámicos que descompone el suelo y rápidamente cambia la superficie estructural original. En el caso del territorio del AMSS, la erosión descompone las formas volcánicas y tectónicas.

La caída de tierra blanca joven de Ilopango y la caída joven del Volcán de San Salvador sucumbe a la erosión de manera muy rápida. En las laderas estructurales la caída desarrolla una red muy densa de los cortes erosionados y se origina un relieve de tipo “badlands”. Los “badlands” se distinguen de los procesos exodinámicos, por ser muy intensivos, además de ser una combinación de la erosión vertical, lateral, la erosión subterránea y los movimientos de ladera de todos los tipos.

Las planicies volcánicas y fluviales son erosionadas generalmente por la erosión lineal de las quebradas (**Foto No. 23**) y de los cañones donde la erosión vertical y lateral son muy intensas. Los márgenes o escarpes de las quebradas y cañones son expuestos por la erosión subterránea muy intensa.

La erosión en el último ciclo del origen del relieve es más fuerte. El riesgo de la erosión es muy alto y cada temporada de lluvias provoca daños considerables a las propiedades. En caso de fuertes lluvias es posible estimar que la erosión será más intensa y sus efectos más catastróficos.

Recomendación: No poblar las laderas con erosión fuerte, respetar una zona cercana del escarpe de la ladera de erosión (min. 100 mts) ya que la erosión subterránea y la erosión retrógrada pueden impactar las construcciones nuevas.



Foto No. 21
Campo de fumarolas de El Infierno.



Foto No. 22
Cañón sin nombre donde desagua la ciudad de Ilopango al Lago de Ilopango.

3.2.4 Movimientos de ladera - flujos de escombros, deslizamientos, y derrumbes

Los movimientos de ladera en el territorio del AMSS son frecuentes y su origen esta condicionado generalmente a la inclinación de las laderas, rocas no coherentes o meteorizadas, la presencia de los minerales de arcilla, las precipitaciones temporales altas y no menos importantes los temblores o terremotos.

El ambiente más conveniente para el origen de los movimientos de ladera son las laderas de fallas y las laderas caldéricas que son muy inclinadas, altas y que están conformadas por rocas muy poco coherentes. La mayoría de los movimientos de ladera son en las laderas de **la Caldera Ilopango (Foto No. 24)**. La diferencia de la altura de las laderas es de 300 hasta 400 mts. Generalmente, los flujos de escombros son muy frecuentes, pero los derrumbes y los deslizamientos poligenéticos también pueden ocurrir. Los movimientos se desarrollan siempre durante las lluvias fuertes, pero no es posible eliminar el origen de los derrumbes o deslizamientos grandes provocados por los temblores o terremotos. La inclinación y mal coherencia son características muy graves.

Otra ladera con alta inclinación de ladera es **la Caldera Planes de Renderos (San Marcos)** donde la diferencia de altura más alta es de 300 mts.

Las laderas tectónicas de Las Colinas de Santa Tecla son compuestas generalmente de toba, de flujos piroclásticos, de flujos lávicos o de las caídas diferentes (de la formación Bálsamo) y todos estos componentes son profundamente meteorizados. Sólo arriba hay una capa delgada de tierra blanca o de la caída del Volcán de San Salvador que no son meteorizadas, siendo no coherentes. Además la ladera es quebrantada por fallas menores en los bloques tectónicos. La ladera cerca de Santa Tecla tiene una inclinación bien pronunciada y la diferencia de altura es cerca de 200 mts. todos estos factores pueden dar origen a derrumbes, a los deslizamientos o a los flujos de escombros que son bastantes. En año 2001 el terremoto de no tan alta magnitud derrumbó una parte de la ladera en Santa Tecla y la avalancha rocosa mató a cientos de habitantes que se encontraban en ese momento en las casas al pie de la ladera. Las casas fueron construidas muy cerca de la ladera. Es posible que ocurra un derrumbe similar o más grande en toda ladera tectónica de Las Colinas de Santa Tecla.



Foto No. 23

Valle del Río Las Cañas con un relieve muy erosionado en su cercanía.



Foto No. 24

Escarpes de la Caldera Ilopango de nombre Lomas El Caracol cerca del Canton La Palma con lugares de erosión y movimientos de ladera intensos.

La ladera estructural de **El Picacho** se distingue a simple vista de los movimientos de ladera, con una diferencia máxima de altura de 1,700 mts. La diferencia de altura puede causar que el flujo de escombros alcance una velocidad rápida y se desplace con mucha fuerza. Consecuentemente, el flujo puede producir muchos daños cerca de su trayectoria, lo cual en la mayoría de ocasiones ocurre en las quebradas o en el lugar de su acumulación. En el año 1934 y 1982 los flujos de escombros de El Picacho causaron destrucciones con daños considerables. Las laderas casi verticales de **los cañones del Río Las Cañas, Río Acelhuate y Río Chagüite** son otros de los lugares donde se originarán los derrumbes y otros tipos de movimientos de ladera (**Foto No. 25**). La erosión vertical de los ríos continua permanentemente y por eso las orillas de ríos no están estables y se derrumban. También no están estables por la erosión lateral que resultan durante las lluvias torrenciales. Cuando la ladera de un valle no es vertical, se originan también otros tipos de movimientos de ladera generalmente flujos.

Las laderas estructurales (de sur) de **la caldera Planes de Renderos (San Marcos)** son compuestas generalmente de toba, de flujos piroclásticos, de flujos lávicos o de las diferentes caídas (de la formación Bálsamo) y todos estos componentes son profundamente meteorizados. Sólo la parte alta esta compuesta por una capa de tierra blanca joven que no es meteorizada, como también es no coherente. La ladera estructural es erosionada a los valles hasta 70 mts de profundidad, pero los valles tienen la densidad muy alta y forman un relieve de tipo "badlands". La erosión contemporánea genera laderas bien inclinadas que durante las lluvias torrenciales se derrumban o deslizan. Aquí los procesos de erosión y de movimientos de ladera tienen una intensidad muy alta.

El riesgo de los movimientos de ladera en el territorio del AMSS es generalmente muy alto, ya que las áreas de impacto están bloqueadas por construcciones en donde habita mucha gente.

Recomendaciones: No poblar las laderas con potenciales movimientos de ladera. Algunas quebradas sirven como trayectoria de los flujos de escombros y por esto es importante abandonar las quebradas !!!.

3.2.5 Inundación – erosión vertical y lateral de lecho, derrumbe, flujos de escombros, deslizamiento, acumulación, problema de la urbanización

El territorio del AMSS está ubicado en una región climática donde pueden originarse ocasionalmente lluvias torrenciales extremas que pueden crear enormes inundaciones. Durante

las lluvias torrenciales extremas se derivan procesos geológicos que tienen siempre un nivel alto de peligrosidad, como por ejemplo la erosión, los movimientos de ladera y el transporte de los aluviones. Además, los lechos de las quebradas se ahondan y los valles se dilatan (**Foto No. 26**). El río transporta muchos aluviones que pueden acumularse.

Los procesos de “mass wasting” en las partes altas de las cuencas son también muy intensivos, siendo esto la fuente de los aluviones.

El nivel de agua en el valle sube y siempre inunda la llanura aluvial, si esta existe. Es posible esperar que ocurran todos los procesos.

Recomendaciones: Ya que el riesgo de inundaciones es muy alto, se recomienda abandonar las llanuras aluviales, quebradas, cañones y mantenerlas limpias y vacías !!!.

3.2.6 El desarrollo del relieve antrópico

El desarrollo del relieve antropógeno es un fenómeno más reciente y más importante. En los cambios antropógenos, sin embargo, influyen muchos procesos naturales y de forma inversa. Son muy frecuentes las canalizaciones de los drenajes, cambios en la topografía natural de la superficie y la construcción de las nuevas formas del relieve.



Foto No. 25
Derrumbe por la erosión lateral del Río Las Cañas cerca de la Finca San Joaquín.



Foto No. 26
Llanura aluvial del Río Las Cañas cerca de la Finca San Joaquín.

La mayoría de los cambios no respetan las formas naturales y por eso provocan y pueden provocar en el futuro cambios no planificados. Por otro lado los procesos naturales impactan las construcciones y las formas artificiales. Por ejemplo, si el perfil del puente es pequeño durante la inundación, el agua corre sobre el puente o carretera, dañando o destruyendo la construcción. También, las casas o construcciones ubicadas muy cerca del escarpe provocan la destrucción del escarpe y los movimientos de ladera o erosión. Por ejemplo, el agua pluvial que no puede infiltrarse debido al pavimento y el agua pluvial que se colecta sobre las carreteras desembocan directamente al drenaje.

La pavimentación de las zonas urbanas eleva el desagüe del agua pluvial que provoca las inundaciones locales y la erosión local.

Recomendación: Es importante considerar y calcular los procesos exógenos naturales y escoger la tecnología de construcción más adecuada.

3.3. ZONAS MÁS IMPACTADAS POR LOS PELIGROS GEOLÓGICOS

Volcán San Salvador es una zona muy importante; la forma del volcán tiene laderas estructurales jóvenes, es un volcán activo y su actividad volcánica se puede despertar en cualquier momento, Además, las laderas estructurales están ubicadas en la zona de impacto de esta actividad volcánica que tiene muchas variedades. Otros peligros son las fallas caldéricas y

muchas fallas subordinadas al Volcán de San Salvador que se extienden por todo el cuerpo del volcán y pueden provocar temblores o terremotos locales.

En el cuerpo del volcán hay muchos centros volcánicos conocidos, pero también hay varios lugares en donde los centros volcánicos se puedan abrir. El volcán tiene actividad fumarólica que puede provocar la alteración hidrotermal de las rocas, dejándolas altamente vulnerables al desarrollo de movimientos de ladera.

Colinas de Santa Tecla y zona de bloques tectónicos – Santa Elena y Antiguo Cuscatlán:

es una zona única por su desarrollo tectónico, su relieve es tectónico, lo cual significa que tiene las formas de laderas inclinadas de origen tectónico, tiene las depresiones tectónicas y esta compuesto por los bloques tectónicos muy inestables. Su ubicación al margen de la depresión salvadoreña, la cual es una estructura tectónica sobrerregional, predispone un peligro serio de los temblores o terremotos de alta intensidad. Además, ya que el relieve no es estable pueden también desarrollarse los movimientos de ladera provocadas por los temblores o terremotos, especialmente las avalanchas rocosas que son muy peligrosas. Otro factor que eleva la posibilidad de movimiento de ladera es que las rocas son bien meteorizadas, así como, tectónicamente descompuestas.

Las rocas poco consolidadas en esta zona son simplemente erosionadas y la influencia de la erosión subterránea es también intensa.

En el área de Santa Elena y Antiguo Cuscatlán se forman los bloques tectónicos que subciden a la depresión y todavía son muy inestables. La probabilidad del origen de los temblores o terremotos locales es alta.

Laderas estructurales y caldéricas del Picacho. Cerro El Picacho es una estructura expresiva con las laderas bien inclinadas. La composición geológica estratovolcánica predispone que en El Picacho existan rocas resistentes como rocas mal compuestas, porque es relativamente una estructura antigua y tiene la superficie meteorizada. En las cuencas altas de los barrancos son muy activos los procesos de “mass wasting”, por estas razones la erosión y los movimientos de ladera son muy intensos y producen muchos aluviones.

Los flujos de escombros son conocidos, los barrancos en la ladera de El Picacho son justamente las trayectorias de los flujos.

Las laderas occidentales de El Picacho forman la ladera caldérica que es muy inclinada donde pueden desarrollarse derrumbes o flujos de escombros, porque El Picacho forma una parte de la caldera del volcán San Salvador donde pueden originarse los temblores o terremotos locales.

Caldera Planes de Renderos (San Marcos) es una estructura que tiene dos formas de ladera, la ladera caldérica, bien inclinada con muchos movimientos de ladera, especialmente la reptación de los bloques enormes que pueden provocar un derrumbe en cualquier momento, pero también muchos flujos de escombros o deslizamientos de suelo. Los bloques enormes de lava están ubicados al pie de la ladera, lo que significa que han existido algunos derrumbes. Las fallas caldericas son probablemente muy activas porque algunos terremotos antiguos de alta magnitud tuvieron epicentro en este lugar. Por esta razón la avalancha rocosa puede simplemente originarse sobre esta ladera caldérica.

La otra ladera se encuentra en la parte sur, dicha ladera estructural esta formada por las rocas de la formación El Bálsamo bien meteorizadas que arriba son cubiertas con tierra blanca (joven) suave. Esta ladera estructural, no es tan inclinada como ladera de falla caldérica pero bastante inclinada, por el origen de la erosión y los movimientos de ladera intensos.

Caldera Ilopango es una de las zonas más jóvenes en el territorio del AMSS. La caldera tiene sus laderas muy inclinadas, casi verticales, donde ocurren muchos procesos exodinámicos, especialmente los movimientos de ladera y erosión de suelo. Los escarpes expresivos son destruidos por la erosión subterránea que provoca la erosión del suelo y predispone los derrumbes o flujos de escombros.

Las superficies estructurales de tierra blanca, suaves y no consistentes son erosionadas como tipo “badlands” (por ejemplo, cerca de la ciudad de San Martín etc.)

Existe la posibilidad de crecimiento del nivel del Lago de Ilopango y la inundación de la costa.

La Caldera Ilopango es un lugar donde continúa la subsidencia de los bloques caldéricos y los temblores o terremotos locales pueden originarse con facilidad.

Los cañones, quebradas mayores, valles y cuencas altas de ríos – especialmente Río Las Cañas, Río Acelhuate, Río Chagüite y otras quebradas. Las cuencas altas de los drenajes principales son lugares donde los procesos de "mass wasting" durante las lluvias torrenciales son muy intensos, Incluyendo las coronas de flujos o deslizamientos. Los ríos transportan muchos aluviones.

El riesgo mayor a inundaciones esta en el territorio del AMSS, siendo este muy alto, ya que las quebradas son pobladas. Además, cerca de los escarpes de valles o cañones, existen construcciones y en donde habita bastante gente, especialmente en la Quebrada Las Lajas o Río Acelhuate. Una inundación como el Huracán Mitch (ejemplo en Nicaragua, Chinandega) puede provocar una enorme catástrofe.

Las construcciones y casas son ubicadas en las zonas de inundación o en la vía de las trayectorias de los flujos torrenciales, pero en las quebradas y cañones también se originan derrumbes y otros movimientos de ladera.

Las laderas son erosionadas y los escarpes expresivos degradados por la erosión subterránea. Los barrancos profundos de la ladera estructural caldérica "Vieja" y Jayaque son bastante viejos y equilibrados pero en su frente inicia la erosión retrograda que produce una combinación de los procesos exodinámicos tipo de "mass wasting". Por eso esta zona es impactada por los movimientos de laderas, erosión de suelo y erosión subterránea. Hay pocos derrumbes en las laderas de los barrancos donde los flujos piroclásticos forman los escarpes verticales. Cerca del Cantón El Morral hay una zona extensa de deslizamientos planares.

3.4. CONCLUSIÓN PARA RIESGOS GEOLÓGICOS

La ubicación de la capital San Salvador en la depresión salvadoreña y entre los volcanes activos hace este lugar muy vulnerable. La historia moderna de la capital ha sido afectada por los terremotos, por las erupciones volcánicas y por las inundaciones. La capital ahora tiene un desarrollo creciente y las construcciones nuevas se ubican en lugares antes poco poblados o despoblados, causando nuevos problemas, en donde todavía no se conoce de que forma los procesos geodinámicos pueden impactar estos lugares.

En vista de que todo del AMSS tiene un nivel de la vulnerabilidad geológica alta, recomendamos que cada proyecto debe evaluar los procesos geodinámicos para conocer el tipo de seguridad necesaria para proteger las construcciones y las actividades de la vida humana en el futuro, y de esta manera evitar eventuales peligros. La evaluación cuidadosa

puede ayudar a escoger las tecnologías más adecuadas para precisar el desarrollo de un proyecto.

Es mejor no poblar los lugares con vulnerabilidad muy alta y mejor usarlos solo para actividades transitorias, tales como zonas de recreación, de deportes o para jardines o bosques (por ejemplo bosques económicos).

Para concluir, presento una recomendación muy importante o principal, aunque poco filosófica, pero que frecuentemente olvidamos. El ambiente donde vivimos tiene sus reglas y sus leyes de la naturaleza, y solo tenemos una única posibilidad; probar permanentemente, descubriendo más las relaciones y reglas de la naturaleza, respetándolas al máximo posible y aprovechar los conocimientos, tal vez para la solución técnica más conveniente.

4. BIBLIOGRAFÍA

Baxter S. (1,999) : Mapa Geodinámico de El Salvador, 1: 500 000. ed. S. Baxter, Artes Gráficas, San Salvador

Baxter S. (2,001) : Mapa Geomorfológico de El Salvador, 1: 500 000. ed. S. Baxter, San Salvador.

De Vries B. van Wyk, 1,993 : Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems.– Dpt. Of Earth Sciences, Open University Milton Keynes

Durr F.,Klinge H.(1,960) : Beitrage zur Stratigraphie und zur Palaeopedologie des metttleren El Salvador.-N.Jb.Geol.Palaont.,Mh.,3,111-132, Stuttgart

Frullani A. (1,988) : Informe Vulcanologico, Consorcio Salvador E.. 88 pp., San Salvador

Hradecký P. et.al., 1,998 : Estudio geologico para reconocimiento de riesgos naturales, área de Masaya-Granada. – MS Archivo INETER, Managua.

2,000 : Estudio geológico para reconocimiento de riesgo natural y vulnerabilidad en el área de León, La Paz Centro y Malpaisillo. – MS Archivo INETER, Managua

2,003 : Estudio de riesgos naturales y vulnerabilidad, La Unión volcán Cochagüa. – MS Archivo SNET, San Salvador.

2,004 : Estudio de riesgos naturales y vulnerabilidad, volcán Guazapa. – MS Archivo SNET, San Salvador.

2,001 : Estudio de riesgos naturales y vulnerabilidad, volcán Cosigüina. – MS Archivo INETER, Managua.

Klinge H.(1,960) : Die Boden El Salvador, Zentral-Amerika.-N. Jb.Geol. Palaeont., Mh.,9,404-116, Stuttgart

Klinge H. (1,961) : Bemerkung zur Bodenkarte von El Salvador, Zentralamerika.- N.-Jb.Geol. Palaeont. Abh., 113,1,47-54, Stuttgart

Lohnitz C., Schulz R. (1,966) : The San Salvador earthquake of may 3, 1965. Bull. Seismolog. Soc. Amer. 56: 561-575, Berkeley

Meyer-Abich H., 1,956 : Los volcánes activos de Guatemala y El Salvador. – Anales del Servicio Geologico Nacional de El Salvador, San Salvador

Ramírez P., J.O. et al. (1,986): Geografía de El Salvador. 256 pp., San Salvador.

Romano E.L., 1,997 : Catálogo de desastres, accidentes y ecología (1915 - 1990). CEPRODE, 61 pp, San Salvador.

Rose W.I., Bommer J.J., López D.L., Carr M.J., Major J.J. et al. (2,004) : Natural Hazards in El Salvador. The Geological Society of America, Special Paper 378, 502 pp., Boulder

Sapper K., 1,925 : Los volcánes de la América Central. – Halle

Schmidt-Tomé M. (1,977) The Geology in the San Salvador (El Salvador, Central America) a basis for city development and planing). MOP, Centro de investigaciones geotécnicas, San Salvador

Simkin T. et al., 1,981 : Volcanoes of the world. - Smithsonian Institution, Hutchinson Ross Publishing, Stroudsburg

Stoiber R.E., Carr M.J., 1,973 : Quaternary volcanic and tectonic segmentation of Central America. – Bull. Volcanol., 37, 304-325

Weyl R., 1,980 : Geology of Central America. – Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart

Williams H., McBirney A.R., 1,969 : Volcanic history of Honduras. – Univ. Of California Press, Berkeley and Los Angeles

Wiesemann G., 1,975 : Remarks on the geologic structure of the Republic of El Salvador, Central America. – Mitt. aus dem Geol.-Paläont. Inst. Universität Hamburg, 44, 557-574, Hamburg.

Mapa

Wiesemann G. Et al., 1,978 : Mapa geologico de República de El Salvador, escala 1:100 000.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
