

7.GEOLOGÍA

En el presente capítulo se realiza una caracterización de la geología, tectónica, geomorfología, hidrogeología y sísmica tanto regional, para la república de El Salvador como local, para la zona de estudio.

7.1.Marco geológico regional

Resultado de la subducción en dirección NE, de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe, se genera una cadena volcánica Centroamericana que se extiende desde Guatemala hasta Costa Rica con una longitud de 1.100Km, estando El Salvador situado aproximadamente en la parte central. La compresión producida por la subducción genera un intenso fallamiento en todo el país y es también el origen de la acentuada actividad volcánica y sísmica. Se define por ello la geología general del país por la masiva presencia de rocas volcánicas y su morfología por la alternancia de edificios volcánicos elevados sobre las planicies.

El Salvador es, desde el punto de vista geológico, un país extremadamente joven si se considera que una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando las de época pliocénica.

Los terrenos más antiguos son de edad cretácica y cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño. Solamente estos últimos son de origen sedimentario marino, las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En algunos puntos aparecen además rocas intrusivas que pertenecen a la época miocénica (también terciarias).

A continuación se describen las principales formaciones sedimentarias descritas en El Salvador.

Rocas Sedimentarias

Se trata de una sucesión de rocas sedimentarias marinas, formada por rocas clásticas y calizas que solamente aparecen en el extremo NW cerca de Metapán, donde cubren un área aproximada de 200 km². La edad de estos materiales ha sido comprobada por medio de fósiles y pertenecen principalmente al Albiense-Medio (Cretácico), aunque afloran también materiales del Jurásico.

A parte de estas series marinas, en el país solamente se conocen rocas sedimentarias lacustres y fluviales que tienen extensiones muy limitadas. Se trata de productos piroclásticos redepositados de menor importancia y algunos depósitos de diatomita y lignito de carácter calcáreo. Estos sedimentos lacustres y fluviales cuentan con intercalaciones de productos piroclásticos, lo que indica que son contemporáneos con la actividad volcánica joven.

También se encuentran aluviones recientes a lo largo de los ríos más importantes y en depresiones locales, sobre todo en las planicies costeras de la parte suroeste y sureste donde cubren un área aproximada de 3.500 Km².

Rocas Volcánicas

La mayor parte del territorio nacional está cubierta por rocas de origen volcánico de carácter riolítico a basáltico.

Al Norte de los ríos Lempa y Torola afloran rocas de carácter ácido, se trata de productos piroclásticos que litológicamente se consideran de riolitas a dacitas.

Una gran parte de El Salvador está cubierta por una serie volcánica que consiste en una sucesión compuesta de andesitas a basaltos hasta aglomerados de carácter andesítico. El espesor de esta sucesión es mayor de 1500 m. Con estos tipos de rocas están formadas algunas regiones como la Sierra Tacuba, Cordillera del Bálsamo, Cordillera Jucuarán-Intipucá y la parte Norte de Santa Ana.

Las formaciones volcánicas hasta aquí descritas se presentan siempre en forma de extensiones considerables, sin que haya sido posible reconocer los centros de actividad volcánica que produjeron estas series.

También existen en El Salvador formaciones volcánicas originadas por un vulcanismo individual, en las que es fácil localizar el centro de actividad. Se distinguen dos zonas volcánicas de este tipo:

La primera, al Sur de las montañas norteñas en forma de faja de volcanes individuales que atraviesa toda la República. A esta faja pertenecen, por ejemplo, el Volcán de Guazapa y el Volcán Cacahuatique. Éstos se caracterizan por su alto grado de erosión. Sus productos efusivos son lavas de carácter predominantemente basáltico y tobas de diferente grado de consolidación.

La segunda zona de volcanes individuales se halla al Sur y se orienta paralelamente a la anterior. A esta faja pertenecen más de 50 volcanes, tales como: Laguna Verde, Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, Tecapa, San Miguel y Conchagua, algunos de los cuales todavía se encuentra activo. Existen también depresiones volcano-tectónicas, tales como los Lagos de Ilopango y Coatepeque. El carácter de las lavas originadas es basáltico y la mayoría de los productos piroclásticos son de carácter dacítico. También se conocen productos piroclásticos de erupciones lineares (fisurales) como los que se encuentran cerca de Zaragoza y Comalapa.

El vulcanismo Sur es más variado que el de la zona Norte, sin embargo, en ambas zonas el tipo de estructura volcánica predominante es la de estrato-volcanes.

Rocas Intrusivas

En las montañas Norteñas, cerca de Metapán y Chalatenango, se conocen rocas intrusivas de carácter granítico- diorítico. En el lugar de contacto de éstas últimas con las series sedimentarias marinas existe un metamorfismo de contacto que puede ser observado en los niveles calcáreos.

Al Sur, desde San Miguel hasta San Isidro, se encuentran afloramientos de carácter muy ácido. La característica principal de estos afloramientos es que corren paralelos a las fajas volcánicas y están conectados a yacimientos metalíferos subvolcánicos que se encuentran bajo las cubiertas basalto-andesíticas.

7.1.1.Elementos Estratigráficos

Los materiales geológicos que forman el país de El Salvador han estado descritos por varios autores, en los últimos cincuenta años. La secuencia litológica del mesozoico, el terciario y las unidades cuaternarias más recientes ha sido clasificada por DÜRR (1960), WEISEMANN (1975), WEISEMANN et al (1978) y WEBER (1979). A continuación se muestran en una tabla las diferentes unidades litológicas, BAXTER (1984).

CRONOLOGÍA	WIESEMANN et al. (1978)
Unidades sedimentarias terciarias-cuaternarias	FORMACIÓN SAN SALVADOR FORMACIÓN CUSCATLAN FORMACIÓN BÁLSAMO FORMACIÓN CHALATENANGO FORMACIÓN MORAZÁN
Unidades sedimentarias mesozoicas-terciarias	GRUPO VALLE DE ÁNGELES GRUPO YOJOA FORMACIÓN TODOS SANTOS- FORMACIÓN METAPÁN ESTRATOS DE METAPÁN

Fig1-Unidades litológicas en El Salvador. BAXTER (1984).

7.1.2. Historia geológica del Terciario-Cuaternario

La fase eruptiva ignimbrítica ha caracterizado el episodio final del vulcanismo del Terciario superior. Durante esta fase se depositaron grandes cubiertas piroclásticas, emitidas en su mayor parte a lo largo de fracturas y en menor proporción desde aparatos centrales, y potentes depósitos de lahares. Los productos de esta fase son cartografiados como formación Bálsamo, en el mapa geológico (E 1:100.000) de El Salvador, aflorando en la Cordillera Costera.

La emisión de grandes volúmenes de ignimbritas en un régimen distensivo dio origen al fallamiento con el consecuente hundimiento y formación de la fosa central (Plioceno-Pleistoceno), depresión estructural llamada por Williams y Meyer Abich (1953) graben, posteriormente (1955) Fosa central o depresión central, y por Dengo (1968) "depresión de Nicaragua".

La formación Cuscatlán es producto de una fase posterior a la formación de la fosa, en la que tuvieron lugar la emisión de cubiertas piroclásticas desde centros ubicados en su interior, y formación de domos y aparatos volcánicos centrales. En esta formación también están comprendidos los depósitos lacustres y fluviales (originados a raíz de la erosión del material de la fosa) que se depositaron en cuencas con dirección O-E.

Los terrenos más recientes en el interior de la fosa, componentes de la formación San Salvador, son atribuibles a la actividad de los aparatos activos (Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, Usulután, San Miguel). Autores como WILLIAMS Y MEYER-ABICH (1953) y Weyl (1955) suponen que la depresión está asociada a unas fallas por las que se alinean los centros eruptivos anteriormente citados. Se caracterizan por la presencia de lavas (basaltos, andesitas y dacitas) y piroclastos ácidos y básicos.

7.2.Marco geológico local

El área de estudio se encuentra situada en la cadena volcánica reciente, que se extiende desde Guatemala, cruza El Salvador y continúa al E a través de Nicaragua y Costa Rica. Este sistema se encuentra representado por volcanes aislados, grupos de volcanes y calderas volcánicas, con sus respectivos altiplanos y lomeríos intermedios. El macizo volcánico de Tecapa o sierra Tecapa-Chinameca comprende un conjunto de volcanes, Tecapa y Usulután y de cerros, El Tigre, El Taburete, Cerro Pelón, Las Palmas, Alegría, La Manita y Oromontique.

7.2.1.Litología y estratigrafía del área de estudio

Concretamente en la zona de estudio aflora la Formación San Salvador, del periodo Holoceno a Pleistoceno. Esta Formación se encuentra en toda la cadena volcánica joven que atraviesa la parte Sur del país. Está compuesta por productos extrusivos volcánicos: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, en los que a veces se encuentran intercalaciones de sedimentos lacustres. El espesor de los estratos y la sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles color café y negro.

La Formación San Salvador se ubica en una franja de rumbo noroeste sureste, limitando al norte con las unidades mesozoico-terciarias inferior y al sur con la Formación Bálsamo. Sobreyace principalmente a la Formación Cuscatlán. Su formación se atribuye a una edad Pleistoceno superior o reciente, caracterizada por una intensa actividad volcánica de lavas (basaltos, andesitas y dacitas) y piroclastos ácidos y básicos. De acuerdo con el mapa geológico de El Salvador escala 1:100.000 (Bosse, H.R. 1978) y el Léxico Estratigráfico (Baxter, 1984) la Formación San Salvador se divide en los miembros que se describen a continuación, siendo s1, s2, s3'a y s5'b los presentes en el área de estudio.

Edad	Formación	Miembro	Litología
Holoceno	FM. SAN SALVADOR	Qf	Gravas, arenas y limos de origen fluvial, aluvial y coluvial
		S5b	Materiales piroclásticos básicos: brechas, bombas, lapilli y cenizas
		S3a	Piroclastitas ácidas y epiclastitas (tobas color café)
Pleistoceno		S2	Volcánicas básicas-intermedias, piroclastitas subordinadas.
		S1	Efusivas básicas-intermedias y piroclastitas ácidas

Fig-5. Miembros de la Fm.San Salvador.Léxico Estratigráfico (Baxter, 1984)

Los materiales volcánicos que constituyen el edificio del estratovolcán de Usulután son principalmente intercalaciones de depósitos piroclásticos, coladas de lava o tefras buzando radialmente hacia la parte exterior del aparato volcánico. Una característica común entre estos materiales es que son de naturaleza máfica y por tanto el color predominante es de gris oscuro a negro, aunque aparecen tonalidades rojizas debido a oxidaciones de hierro.

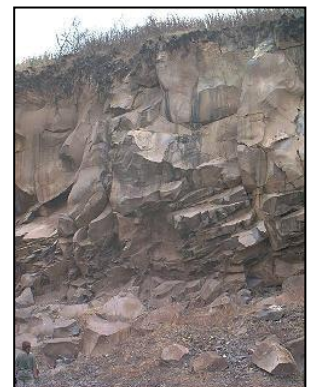
Los tipos de rocas que predominan son calco-alcalinas, principalmente basaltos y andesitas basálticas. El cono volcánico está básicamente formado por lavas efusivas básicas-intermedias y rocas piroclásticas tipo escorias, lapilli y cenizas.

Alrededor del edificio volcánico se extienden terrenos deprimidos topográficamente y formados por rocas piroclásticas ácidas y epiclastitas volcánicas (“tobas color café”). Estos también forman parte de la *Formación San Salvador*, dispuestos alrededor del volcán y ocupando una extensión más amplia, hacia el sector occidental del mismo.

A continuación se facilita una breve descripción de las litologías predominantes en el área de estudio con más detalle.

Niveles de coladas basáltico-Andesítica

Se trata de roca ígnea efusiva básica, negruzca, con textura porfídica, constituida esencialmente por fenocristales de plagioclasas y piroxenos, incluidos en una matriz microcristalina. Se observan diaclasas de enfriamiento concoideas, además de estar afectados por un sistema de fracturas con orientaciones medidas de 77/67 y 347/62 (que varían según la disposición de los niveles con relación al edificio volcánico). Intercalados con piroclastos ya sean de caída o coladas piroclásticas, presentan unas potencias variables 0.3m-2m en ladera media-alta, llegando a 8m-10m en las partes bajas de las laderas (estas potencias pueden observarse a lo largo de la carretera que une la Litoral con Santiago de María, especialmente en la Cantera la Hulera). En las partes altas, cabeceras y crestas, aflora de forma masiva, presentado en estas zonas un grado de alteración muy alto.



Fotos 1-Basaltos: masivos alterados en cabecera (izq), alternancia con piroclastos (centro), masivos en ladera baja (derch).

Colada y oleada piroclástica

Debido al colapso de las columnas eruptivas, domos o coladas basálticas, se forman nubes eruptivas formadas por piroclastos y gases calientes, que controladas por la gravedad viajan a gran velocidad a ras del suelo, como una corriente densa a gran temperatura en un flujo esencialmente laminar, en el que la fase continua entre las partículas es el gas. Cuando la relación de partículas/gas es elevada se habla de colada piroclástica, en cambio, cuando la relación es baja, hablamos de oleada piroclástica. Ambas, se encuentran aflorando en las zonas de mayor encajamiento de los cauces. Se trata de acumulaciones de partículas piroclásticas semiconsolidadas con alto contenido en matriz (ceniza fina y gruesa y lapilli fino) donde se encuentran flotando piroclastos, de tamaño de grano heterogéneo y mal clasificados, en ocasiones en grandes proporciones (predominantemente lapilli vesicular, escoria y bloques de hasta 1m).



Foto 2- Oleada piroclástica. El Cargadero

Piroclastos de caída

Los piroclastos son fragmentos de magma o roca encajante de dimensiones muy variables proyectados al aire durante las explosiones volcánicas. El tamaño que encontramos en forma de caídos es predominantemente lapilli (2-64mm), y en algunas ocasiones bloques y bombas (>64mm). Su aspecto es negro-rojizo y muy vesiculado. Se encuentra litificado sólo en contactos puntuales entre ellos, granosoportados sin matriz, por lo que dan una permeabilidad muy alta. Normalmente se encuentran dispuestos en la base y techo de coladas basálticas.



Foto 3- Paleodepósitos. El cargadero

Paleodepósitos

Depósitos con alto contenido en matriz fina en los que se encuentran englobados clastos con tamaño de grano heterogéneo, predominantemente bloques de roca basáltica de gran tamaño (de hasta 5m), dispuestos de manera semicaótica. Al encontrarse a la altura del ápice de los conos de deyección, podrían asociarse a depósitos de origen torrencial.

Depósitos torrenciales

Acumulaciones de material, ya sea detrítico (arena, grava, bloques), ya sea materia vegetal, inmersos en una matriz fina con disposición caótica, de potencias variables de hasta 5m. de alto, 6m. de ancho y 10m. de largo. Se encuentran principalmente en las partes altas o cabeceras de las quebradas, en puntos donde el flujo, de carácter fuertemente torrencial y con un porcentaje importante de carga sólida, pierde su capacidad de arrastre. Se encuentran, al mismo tiempo, erosionados por los flujos hídricos posteriores. Se presentan en ocasiones formando represas naturales.

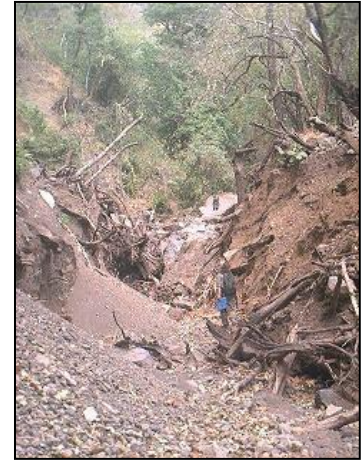


Foto 4- Depósitos torrenciales.
Quebrada El Cargadero.

Depósitos en barras



Foto 5- Barra lateral. El Cargadero.

Depósitos predominantemente constituidos por arena, grava y bloques, granosoportados, en una matriz areno-limosa sin consolidar, que dan lugar a barras, ya sean laterales o centrales, de potencias variables de aproximadamente 1m. de alto, 2m. de ancho y 20m. de largo. Se encuentran en la parte media-baja de las quebradas. Suelen distinguirse dentro de una misma barra varios niveles de depósito. Corresponde a depósitos de temporada de lluvias, debido a un flujo semipermanente, no torrencial.

Depósito de talud o coluvión

Depósito a pie de las inestabilidades, compuestos por los materiales que componen los taludes bajo los cuales se encuentra. Los componentes son variados: piroclastos de tamaño de grano variable, bloques de roca basáltica... Se encuentran formando grandes volúmenes en forma cónica que son erosionados o bien arrastrados y retrabajados por propio flujo hídrico, que los deposita en las partes más bajas, en los momentos en los que se produce una pérdida de la capacidad de arrastre.



Foto 6- Depósito a pie de
inestabilidad. El Cargadero.

7.3. Tectónica

El origen de la intensa fracturación existente en la zona de estudio hay que buscarlo en las características geodinámicas de esta región geológica. Como se ha explicado anteriormente, estas corresponden a las de una zona de convergencia entre dos placas, concretamente a la subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe.

La fracturación de la roca se produce por la compresión que sufren los materiales debido a la intensa presión que supone la fricción de una placa al desplazarse bajo la otra. La dirección de máxima deformación coincidirá aproximadamente con la dirección perpendicular a la fosa tectónica del Pacífico, donde subduce la placa de Cocos, produciendo fracturas de dirección perpendicular a este desplazamiento y planos de fracturación oblicuos. Otras direcciones de deformación importantes corresponden a la de las fallas transformantes, normalmente paralelas a la dirección del movimiento y que acompañan y acomodan el movimiento relativo de los diferentes bloques.

Ya en superficie, una gran diversidad de fallas se producirán por respuesta frágil de la roca a los esfuerzos producidos por el movimiento de las fallas principales.

Se conocen tres sistemas de debilidad tectónica, siendo el más importante el sistema tectónico con dirección E-O, caracterizado por desplazamientos verticales considerables que atraviesan la República. Estos desplazamientos darán origen a la formación del graben o fosa tectónica. Se reconocen cinco ejes principales dentro de este sistema:

- Primer eje: Forma el límite Sur de las montañas Norteñas.
- Segundo eje: Se caracteriza por un vulcanismo individual apagado en la parte Norte del país.
- Tercer eje: Se ubica al sur del segundo eje. Es el más prominente, con dislocaciones tectónicas (la más importante de ellas atraviesa el país, la fosa central) y con un vulcanismo individual joven, en parte todavía activo. También se encuentran depresiones volcano-tectónicas y cúpulas de lava. Los eventos sísmicos que aún ocurren en esta zona, indican que los movimientos tectónicos continúan.
- Cuarto eje: Se localiza en el Océano Pacífico a una distancia de 25 Km. de la costa salvadoreña y se caracteriza por una actividad sísmica frecuente.
- Quinto eje: Se encuentra al Sur del anterior, formando una fosa marina que corre paralela a la costa salvadoreña y muestra cierta actividad sísmica. Existen elevaciones de forma cónica que se levantan desde más de 3000 metros de profundidad hasta el nivel del mar, considerándose éstas como volcanes.

La segunda dirección de debilidad tectónica más importante es NW-SE, con un sistema de fallas que algunas veces tienden a nortearse. Estas fallas se extienden a lo largo del país y en ocasiones aparecen como fisuras y alineamientos de eventos eruptivos, como el complejo volcánico de Santa Ana, San Salvador, San Vicente, Tecapa y San Miguel.

El tercer sistema, de fallas subordinadas, presenta una dirección NE-SW. Es menos evidente que los anteriores y se detecta principalmente en el centro y este de El Salvador.

La localización de los mayores volcanes, refleja, aparentemente, lugares de intersección entre las dos direcciones principales. Volcanes tales como San Vicente, Tecapa, San Salvador, Usulután y San Miguel, yacen en el límite sur del graben central, donde existe un control tectónico debido a las fallas de dirección NW-SE.