MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR

Investigaciones Geológicas en la región de la Ciudad Capital San Salvador y sus alrededores con indicaciones de riesgos sísmicos, de hidrogeología y de planeamiento de urbanización.

por

M. SCHMIDT - THOMÉ

Nota: En caso de duda de traducción, consultar el texto en Alemán (Págs. 34-57), que es válido.

SAN SALVADOR, 1969

I n d i c e

Resumen 3

1. Problema por resolver 4

2. Realización de los trabajos de campo 5

3. Trabajos geológicos anteriores en el área de San Salvador y sus alrededores 5

4. Orientación geográfica 5

5. Geología 7

5.1. Estratigrafía 7

5.2. Tectónica 14

5.3. Resumen abreviado paleogeográfico-tectónico . 17

6. El subsuelo de San Salvador 18

7. Indicaciones sobre las relaciones entre el subsuelo y los efectos sísmicos 22

8. Indicaciones hidrogeológicas 25

9. Daños causados por el desague superficial y subterráneo en el área urbana 27

10. Bibliografía 31

Tablas, Figuras y Anexos:

Tabla 1 : Perfil estratigráfico de la región de San Salvador 8

Fig. 1 : Mapa general de San Salvador y alrededores . 6

Fig. 2 : Espesores de tierra blanca en el área de San Salvador 13

Fig. 3 : Corrientes de lava en el subsuelo de San Salvador 20

Fig. 4 : La distribución de las intensidades del terremoto del 3 de Mayo de 1965 21

Fig. 5 : Extensión de rocas firmes en el subsuelo de San Salvador 24

Fig. 6 : Terraplenes artificiales en San Salvador y alrededores 28

Anexo 1 : Mapa geológico de San Salvador y alrededores, escala 1 : 15 000

Anexo 2 : Mapa topográfico de San Salvador y alrededores, escala 1 : 15 000

R e s u m e n :

1.) El mapeo geológico a escala 1 : 15 000 dió por resultado que las series de formación, cuya edad es desde el plioceno hasta reciente, en los alrededores de San Salvador son de origen volcánico. Hay tobas aglomeráticas, tobas fundidas, lavas, tobas de lapilli, de ceniza y de polvo, parte de las cuales han sido dislocadas fluvialmente.

2.) Las cuatro direcciones de fallas principales (E-W, NW-SE, ENE-WSW y N-S) tienen más ó menos la misma edad, pero parece que a menudo han sido revivificadas. La disposición de las fallas parece resultar del pre-plioceno. Estructuras circulares que todavía no han podido ser clasificadas son de procedencia volcano-tectónica.

3.) El subsuelo en la ciudad consiste principalmente de series de tobas de un espesor de más de quince metros. En la región mas pronunciada por corrientes de lava, especialmente en la parte SW de la ciudad, los daños producidos por el terremoto del 3 de Mayo de 1965 fueron esencialmente menores que en regiones con grandes extensiones de tobas. Especialmente resistentes contra movimientos sísmicos son la Cadena del Bálsamo, el Volcán Boquerón y vestigios volcánicos del Cerro San Jacinto y los Cerros de Mariona.

Para el mejor control de la actividad sísmica sería conveniente que los sismocopios existentes serían instalados en dos perfiles de manera que estén los mas posible perpendicular al sistema de fallas que esta orientado de NW al SE y que es muy característico.

4.) Hay fuentes con suficiente productividad durante todo el año que se encuentran sobre las bases de las tobas aglomeráticas de poca permeabilidad. Las fuentes que emanan en varios horizontes de suelos

fósiles cafes dentro de las tobas color café y dentro de la serie gris , parcialmente tienen considerables caudales de agua, en conexión con las temporadas del año una parte de aquellas oscila bastante.

La mayoría de las medidas tomadas para descartar las aguas negras de la ciudad y de las industrias son insuficientes, de manera que la contaminación de las aguas subterráneas y especialmente en la parte norte de la ciudad es muy grande.

5.) Por la erosión superficial especialmente estas áreas urbanizadas son afectadas, que se encuentran en tobas que artificialmente han sido movidas y que hasta la fecha no tienen drenaje suficiente, ni superficial, ni bajo tierra y que además no han sido protejidas por la vegetación en sus taludes escarpados. Derrumbes superficiales tales como ya han ocurrido varias veces en la ciudad, con mucha probabilidad podrían ser evitados si el terreno es drenado antes de movimientos mayores de tierra y con la subsiguiente compactación y solidificación antes de erigir construcciones.

1. Problema por resolver.

En Junio de 1968 el señor Director del CEIG, Ing. Edgar Parker Escolán, solicitó a la MGA en El Salvador levantar un mapa geológico del área de la ciudad San Salvador y sus alrededores.

El mapa tiene que servir entre otros aspectos como base para la planificación de la capital que se extiende rapidamente. Además sería objeto de observación especial, de localizar en la mejor forma posible que hasta ahora se ha hecho, las zonas amenazadas por movimientos sísmicos tanto en el tiempo actual como en el futuro, con la ayuda del mapeo geológico.

2. Realización de los trabajos de campo.

En Noviembre de 1968 el Jefe de la MGA, Dr. G. Wiesemann, encargó al autor del actual reporte el mapeo geológico del área de la ciudad. La hoja del mapa de San Salvador a escala 1 : 15 000 contiene aparte del área ya urbanizada, los alrededores cercanos a la capital que posiblemente serán urbanizados en los años próximos. En conexión con el mapeo se levantaron a) perfiles de estrato en las tobas y lavas b) se localizaron emanaciones de fuentes y c) fueron analizados perfiles y descripciones de perforaciones que se encontraban en los archivos del CEIG, hasta donde fuera posible a base de las descripciones. Así se hicieron posibles indicaciones sobre la estabilidad del subsuelo. La localización de las emanaciones de fuentes talvez podría ser útil para el aumento y mejoramiento del servicio de agua de la ciudad en el futuro.

3. Trabajos geológicos anteriores en el área de la Ciudad y sus alrededores.

a) Mapas geológicos:

1) Mapa Geológico Preliminar de San Salvador y sus alrededores 1 : 100 000, CEIG, Noviembre 1966.
2) Mapa Geológico de la Cuenca de San Salvador y alrededores 1 : 50 000, J.D.THEWS & C.VALLE; ANDA, Julio 1967.

b) Trabajos geológicos, hidrogeológicos, de estudios de suelo y de sismos en el área de San Salvador. WILLIAMS & MEYER-ABICH (1953, 1955); WEYL (1954, 1955), DURR & KLINGE (1960); HOELTING (1961); SEEGER (1961); DENGO, FIEDLER, KNUDSEN, LOMNITZ & ROSENBLUTH (1965); LOMNITZ & SCHULZ (1966), MGA (1968).

4. Orientación geográfica, (Ver Fig. 1 y anexo 2).

La ciudad está situada al norte del declive norte de la Cordillera Litoral (Cadena del Bálsamo) y se extiende actualmente con orientación principal al norte y oriente

del pié SE del Volcán Boquerón sobre una planicie que desciende planamente para oriente y está quebrada por muchos profundos ríos y arroyos (ver Fig. 1). Los Cerros de Mariona en el rumbo norte son una demarcación natural poco pronunciada de la ciudad.

La planicie que abarca la mayoría de la capital, tiene una altura media de 650 m.s.n.m., pero hay partes urbanizadas al pié del Boquerón que alcanzan una altura hasta 1000 m.s.n.m.

5. Geología

En lo sucesivo se interpretan las rocas existentes en el área de investigación y sus estratificaciones relativas.

5.1. Estratigrafía, (ver mapa geológico, anexo 1, tabla No. 1).

En todo el área observada hay series de rocas del plioceno hasta el holoceno. Las rocas mas antiguas que afloran solamente en la Cadena del Bálsamo, pertenecen a la serie de las tobas aglomeráticas inferior cuyo espesor es por lo menos 100 m. Los aglomerados contienen de preferencia fragmentos angulares de andesita y basalto, además de escorias y restos de tobas. La matriz es material de tobas muy compactadas. El diámetro de los xenolitos varía entre 5 cm. y más de 30 cm.

En la Cadena del Bálsamo hubo derrames de lava fenoandesítica, hasta aproximadamente 10 m. de espesor. En una perforación de agua a 400 m. al oriente de Antiguo Cuscatlán y por la escarpa norte de la Cadena del Bálsamo, estas lavas tienen un espesor de aproximadamente 20 m.

Durante un nuevo incremento de la actividad volcánica fueron expelidas series de polvo y de ceniza de color cafe claro además fueron depositadas tobas pumíticas de color claro y tobas aglomeráticas de grano fino, las cuales en conjunto generalmente se llaman serie de tobas aglomeráticas media.

Tabla 1: Perfil estratigráfico de la región de San Salvador y alrededores. (modificado según BOSSE)

Holoceno:	
Nivelaciones y terraplenes artificiales	hasta 20 m
Aluviones	1-3 m
Terrazas fluviales	aprox. 4 m
Tierra negra	hasta 1,5 m
Tierra blanca	0,5- aprox. 50 m
Pleistoceno:	
Suelo residual fósil de color cafe	aprox. 1,5 m
Cenizas y escorias del cráter La Laguna	hasta 25 m
Serie gris	hasta 30 m
Tobas color cafe	2- aprox. 20 m
Lavas basálticas y escorias del Boquerón (Volcán Boquerón 1958 m)	3 - 10 m
Serie de tobas aglomeráticas superior (localmente fluvial dislocada)	6- aprox. 10 m
Plioceno:	
Suelo residual fósil de color rojo	hasta 8 m
Serie volcánica vieja:	
Lavas andesíticas, basálticas y dacíticas (C. San Jacinto 1154 m, Cs. de Mariona 798 m)	hasta 15 m
Serie de tobas aglomeráticas media	aprox. 80 m
Lavas andesíticas	10- aprox. 20 m
Tobas fundidas (posición en el perfil aún dudoso)	aprox. 25 m
Serie de tobas aglomeráticas inferior	hasta>100 m

Su espesor es de aproximadamente 80 m.

Nuevas extrusiones producieron extensas lavas, las cuales localmente están puestas encima de series mas antiguas en forma de mantos extendidos de lava. En la Cadena del Bálsamo estas capas de lava tienen hasta 15 m. de espesor (en la perforación arriba mencionada fueron de 13 m.) y tienen una composición andesítica y basáltica.

Es de suponer que se formaron al mismo tiempo el Cerro San Jacinto al oriente de la ciudad y los Cerros de Mariona al norte, igualmente como el Santa Rosa cerca de Soyapango. WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, Pág. 26) interpretan estos cerros como cúpulas de lava, pero estructuras de cráter bien definidas en el Cerro San Jacinto y los Cerros de Mariona hacen dudar del origen puramente como "cúpulas de lava". Según las investigaciones, el origen del Cerro San Jacinto y sobre todo de los Cerros de Mariona aparece ser polifásico , cambiando la composición química de las extrusivas de ácido a básico.

Mientras el Cerro San Jacinto predominantemente consiste de lavas andesíticas y basálticas (ver BOSSE 1969, Pág. 16 y 40), los Cerros de Mariona se componen de lavas dacíticas (según WILLIAMS & MEYER-ABICH 1955, Pág. 26), andesíticas y basálticas. En el Río Urbina, al norte de la Colonia Las Margaritas, se puede ver ésto claramente : encima de lavas feno-dacíticas de grano grueso que son muy fisuradas y contienen muchas inclusiones de tobas, siguen feno-andesitas de grano fino y compacto, parcialmente laminadas.

Hasta la fecha no se conoce la existencia de tobas fundidas del plioceno por la pendiente norte de la Cadena del Bálsamo, que fueron encontradas al poniente de los Planes de Renderos. Las tobas fundidas tienen estructuras visiblemente paralelas con particulas de pómez y de lapilli y parcialmente de forma alargada, todo en una matriz de color gris.

Cortes delgados dejan ver resíduos de vidrio que en la mayoría estan muy descompuestos. Estas tobas fundidas, cuyos espesores son de aproximadamente 25 m., están situadas en el mencionado lugar directamente encima de las tobas aglomeráticas inferiores, su localización estratigráfica dentro del plioceno hasta la fecha no se conoce. Tobas fundidas del plioceno hasta ahora solamente comprobó GREBE, al norte de San Salvador según WEYL (1961, Pág. 25 sig.).

Entre el plioceno y pleistoceno se formaron durante un tiempo largo de poca actividad volcánica, suelos rojos de meteorización los cuales en su mayoría fueron erosionados. En el área observada la tierra roja está conservada solamente en pocos lugares: al poniente de los Planes de Renderos en la Cadena del Bálsamo, en el Cerro San Jacinto y en los Cerros de Mariona. Al oriente de la Colonia San Vicente la tierra roja tiene su mayor espesor de aproximadamente 8 m.

Siguiendo trabajos anteriores (ver DURR & KLINGE 1960, Pág. 122 sig; WEYL 1961, Pág. 101 sig.) el pleistoceno comienza al terminar la composición de la tierra roja. Pero hasta ahora no se pudo comprobar, si este horizonte que se encuentra fácilmente en el campo tiene su validez absoluta como límite cronológico geológico. Cuando falta la capa de tierra roja, no siempre es posible distinguir series de tobas aglomeráticas del plioceno de series de tobas aglomeráticas del pleistoceno. Las tobas aglomeráticas medias y superiores que en la petrografía muchas veces son muy parecidas, en el campo solamente pueden ser distinguidas a base de su diferente deformación tectónica. Buenos afloramientos existen en el Río Urbina, al oriente de la Colonia El Rosario, y en el Río Acelhuate al oriente de la Colonia San Pedro.

En el pleistoceno la expulsión de material volcánico en la cuenca de San Salvador se concentró mayormente en el Volcán San Salvador (Boquerón). Fueron expelidas tobas de ceniza y de lapilli de color café y amarillento, además tobas aglomeráticas, las cuales se comprenden como serie de tobas aglomeráticas superior. Su espesor máximo es de 10 m.

En tiempos sin actividad volcánica, las series volcánicas recién producidas fueron erosionadas y nuevamente depositadas en lugares mas bajos. Como representante local de las tobas aglomeráticas superiores resultó una serie fluvial de 6 m. de espesor aproximadamente y que se compone de una secuencia de arcillas de estratificación diagonal de arenas y de gravas.

Al regenerar la actividad volcánica, fueron expelidas predominantemente lavas porosas y escoriaceas de composición andesítica y de menor importancia basáltica (espesor 6 m. aproximadamente hasta 10 m. máximo).

Erupciones reanudadas depositaron las tobas de color cafe que consisten de tobas de cenizas color café de grano grueso y fino, tobas de lapilli y pumíticas de color cafe claro y amarillento y en las cercanías del volcán predominan escorias de color gris-negro. El espesor es de 1 m. hasta 20 m. máximo.

Durante tiempos de calma, respectivamente de disminución de la actividad efusiva y extrusiva, muchas veces se formaron horizontes de suelos color cafe, hasta un espesor de 1.50m. DURR & KLINGE (1960, Pág. 112) observaron generalmente tres y pocas veces mas horizontes de suelos color cafe.

Intercalaciones de estratificación diagonal dentro de las tobas color cafe muestran que las tobas han sido localmente y en diferentes tiempos dislocadas fluvialmente.

Una equivalencia fluvial de las tobas color café es la serie gris que está aflorada en el Río Las Cañas y al oriente del Cerro San Jacinto y en la depresión del Lago de Ilopango, teniendo un espesor hasta de 30 m. Por la transportación fluvial de tobas de polvo y de cenizas en áreas mas bajas, se depositaron predominante series de

estratificación diagonal, fina, arenas gruesas y finas, en las cuales aparecen muchas veces vacios de erosión rellenados de gravas. Intercalaciones de tobas color cafe no estratificadas que a veces se encuentran, además horizontes de suelos color cafe, indican que la sedimentación ha sido interrumpida varias veces.

WILLIAMS & MEYER-ABICH (1953, Pág. 6 y 1955, Pág. 21 sig.) ya hicieron descripción de series de tobas y de cenizas de mucho espesor que han sido trasladadas fluvialmente en la cuenca del Lago de Ilopango. Por un lado ellos demuestran que las tobas y cenizas de tobas color cafe han sido transportadas al oriente después de haber sido llevadas por los ríos (p.ej. un valle antiguo del Río Acelhuate, 1955, Pág. 21), a otro lugar (1955, Pág. 30) ellos interpretan las series fluviales en la cuenca del Ilopango como productos de dislocación de tierra blanca.

Aproximadamente al terminar el pleistoceno se formó el cráter de explosión de La Laguna al poniente de Antiguo Cuscatlán, expulsando cenizas de color cafe pero predominantemente escorias negras. La dirección de las efusiones y/o de los vientos causaron que el material se depositara de preferencia al Oeste del cráter de La Laguna. El espesor del muro de escorias en la cercanía inmediata al cráter es de 25 m. máximo.

En el holoceno, la actividad volcánica se trasladó a la cuenca del Lago de Ilopango, suponiendose que conforme WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, Pág. 33), nubes ardientes depositaron tobas de mucho espesor, blancas, dacíticas, tanto de ceniza como pumítica y de lapilli. El mayor espesor que alcanzan estas tobas pumíticas denominadas tierra blanca, es aproximadamente 50 m. en la cercanía del Lago de Ilopango, reduciéndose rapidamente al distanciarse de los centros de erupción (ver Fig. 2). Por las faldas del Boquerón y del Cerro San Jacinto, así como por la Cadena del Bálsamo, el espesor mediano es de 1 hasta 4 m. máximo. Dependiendo del relieve anterior, el espesor de la tierra blanca puede aumentar considerablemente e inesperadamente aunque esté mas distanciado del centro de erupción. Asi por ejemplo aumenta en el área urbana el espesor en valles fósiles hasta 12 m. y más

89°15'19"
13°44'55"

89°06'33"
13°44'55"

N

13°39'14"
89°15'19"

13°33'14"
89°06'33"

Cadena del Bálsamo

Volcanes y cúpulas

Ríos

Areas urbanizadas en 1968

Aeropuerto

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR-

Mapa general de San Salvador y sus alrededores

0 1 2 3 Km

N

0 - 3m.

3 - 6m.

6 - 9m.

9 - 25m.

más de 25m.

Espesores de tierra blanca

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR-

Espesores de tierra blanca en el área de San Salvador

0 1 2 3 Km.

55-B-8	Fig: Nº 2	Autor: Schmidt- Thomé	Dibujó: Jiménez	5-5-69

ocasionado de preferencia por transportación, mientras el espesor mediano en las cercanías solamente tiene un máximo de 4 a 5 m. (Colonia Escalón, Mejicanos y San Marcos; ver también fig. 2).

La expulsión de tobas pumíticas de color blanco comenzó con bombas grandes y tobas de lapilli que resultan hasta más de 20 cm. de diámetro por el Lago de Ilopango. Este horizonte pumítico cuyo espesor hallase entre 25 y 5 cm. conforme a la distancia del centro de erupción, se puede comprobar en todo el área observada y sirve como horizonte de guía (ver DURR & KLINGE 1960, Pág. 112).

Horizontes de suelo en los inferiores 10-15 m. de la tierra blanca, así como depósitos fluviales a varios horizontes, predominando en la base y en el techo, indican que la actividad volcánica varias veces se calmó y respectivamente fue interrumpida (WILLIAMS & MEYER-ABICH 1955, Pág. 34 sig.).

Después del depósito de estas tobas pumíticas de color blanco, se formaron en la superficie actual tierras negras. Estas fueron y siguen siendo destruidas en mayor escala por influencias antropógenas.

Aluviones fluviales del cuaternario inferior y superior cubren los fondos de los valles y forman diferentes sistemas de terrazas fluviales a lo largo de ríos y arroyos.

5.2. Tectónica

Desde el punto de vista tectónico-regional, el área investigada está situada en el "sistema de fosa sur" con orientación de E a W. El borde sur de la fosa esta demarcado visiblemente por la escarpa de la Cadena del Bálsamo. El borde norte esta situado al sur de los Cerros de Mariona y no esta pronunciado morfológicamente por estar tapado a los dos lados de la falla por estratos

mas recientes (tobas de color café y tierra blanca). En la inmediación de la falla norte de la fosa y predominantes en fisuras, se observa una mineralización extraña; se trata sobre todo de fisuras y vetas pequeñas rellenadas con cuarzo, carneol y limonita (Río Urbina y Acelhuate). En el Río Acelhuate al oriente de Paleca se constataron además precipitaciones de minerales de color amarillento-verdoso hasta ahora no determinadas (probablemente óxidos de hierro).y un olor aparente de H_2S.

La fosa es mas estrecha de lo que se suponia antes porque en la parte norte del área investigada ya afloran de nuevo las series de tobas aglomeráticas medias del plioceno, las cuales hasta ahora no han sido reconocidas como tales, sino calificadas como tobas color café. El ancho máximo de la fosa en el área del mapa de San Salvador de 1:15000, es de max. 5 Km.

En el área estudiada se presentan cuatro direcciones principales de fallas:

1) Una dirección orientada de E á W marca los bordes norte y sur del sistema de la fosa y probablemente es la dirección mas antigua del movimiento tectónico.

2) Un sistema de fallas mas reciente, m.ó,m. equidistante y con dirección de NW a SE está escalonando el sistema antes mencionado hacia oriente.

3) Un sistema menos característico, orientado de ENE a WSW, probablemente tiene la misma edad que el sistema NW-SE, pero su edad relativa a éste, no siempre se ha podido constar definitivamente.

4) Completamente limitada al área al norte de la fosa existe un sistema con dirección de N a S hasta casi de NNE á SSW. Parece que es mas viejo, generalmente a los sistemas anteriormente mencionados pero tambien aqui hubo movimientos mas recientes.

Los buzamientos del sistema 1) son como corresponde a su lado de fosa, orientados al norte ó al sur. Por el sistema 2) se constataron fallas con buzamientos predominates hacia SW pero sin embargo, aunque pocas veces, resultan fallas con buzamientos hacia NE. En el

sistema 3) las fallas buzan tanto hacia NNW como hacia SSE, en el sistema 4) hacia W y E. Los ángulos de buzamiento en su mayoría son muy inclinados y se encuentran aproximadamente entre 65 y 85 grados.

Las direcciones y los ángulos verdaderos del buzamiento de las fallas, los cuales solamente pueden ser observados a distancias mas largas en fotografías aéreas en el campo solamente se hacen constar excepcionalmente. Muchas veces solamente los sistemas de fisuras en las inmediaciones de una falla dan información de las direcciones del buzamiento.

La disposición del plano general del movimiento tectónico, lo cual sucedió probablemente durante el pre-pliocene, no marca una dirección preferencial de un sistema de fallas. De esto se puede deducir que las diferentes direcciones de fallas se constituyeron durante varios períodos, pero más tarde han sido revivificados. Es posible que especialmente las fallas orientadas de NW a SE han sido activas hasta en tiempos recientes (ver GREBE 1963, pag. 91). Una indicación de movimientos muy recientes probablemente son las grietas superficiales que son aproximadamente paralelas a estas fallas (ver mapa geol.; anexo 1); se abrieron durante los ultimos años varias veces en el área urbana y causaron daños considerables (ver cap. 9)

A excepción de la estructura dominante morfológicamente en el sur y en forma medio-circular abarca el Cerro San Jacinto y la cual hasta la fecha fué interpretada como falla con buzamiento al norte (p.ej. Mapa Geol. Preliminar, San Salvador 1966) solamente localmente se han observado estructuras circulares (GREBE 1963, pag. 83). En el área sudeste de la Capital, ó sea del Cerro San Jacinto al Lago de Ilopango, se han realizado en el mapeo geológico varias de estas estructuras circulares y partes de ellas fueron mapeadas. Probablemente se trata de hundimientos mas ó menos pronunciados en la morfología.

En relación con WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, pag. 38) el autor interpreta estas estructuras circulares como depresiones volcano-tectónicas. Es de notar que las estructuras círculares no dislocan ni son dislocadas por los sistemas existentes de fallas de línea recta.

WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955) explican hundimientos circulares de crateres en el Lago de Ilopango (ver pag. 15) ó Coatepeque (ver pag. 38) con recesos de magma subterráneo y por consiguiente hundimiento del "techo"; no se puede juzgar si esta teoría está correcta. Conforme SCHULZ & WEYL (1960, pag. 195) el subsuelo de la parte sur de El Salvador es poco estructurado y está lleno de centros de magma extensos. En caso que hubo recesos de magma, tal como lo supusieron WILLIAMS & MEYER-ABICH, estos deben haberse efectuado a grandes profundidades, pues se observó que cuando hay movimientos sísmicos cerca de San Salvador, se forman ondas transversales. Estas, al existir magma líquida, serían totalmente reflejadas y no se podrían registrar (información verbal del Prof. G. BAIN. MASS. USA, Marzo 1969). La teoría que un eventual receso de magma solamente puede haberse efectuado a grandes profundidades, es reforzada tambien por la profundidad de los epicentros de sismos continentales: según SCHULZ (1962, pag. 26) los centros de sismos en el continente están situados en profundidades de 3 a 15 Km., mientras sísmos con epicentros a mayores profundidades son muy raros.

5.3. Resumen abreviado paleogeográfico-tectónico

La sucesión de estratos que están afloradas en el área estudiada deja ver que por lo menos desde el tertiario superior solamente fueron depositadas piedras de origen volcánico. La actividad volcánica durante todo este tiempo consiste en un continuo cambio de erupciones de tobas aglomeráticas, pumíticas, de ceniza y de polvo, aparte de las corrientes de lava. Mientras se pueden localizar los puntos de erupción de lavas mas recientes, las extrusiones de lavas en la Cadena del Bálsamo se derramaron de varios centros que todavia son desconocidos. A veces en el área estudiada se formaron cúpulas de lava. En tanto que durante el depósito de las series de tobas y cenizas de mucho espesor la morfología antigua fue conservada, los derrames de mantos de lava transformaron parcialmente en su totalidad el relieve antiguo.

Al disminuir la actividad volcánica de preferencia fueron erosionados los productos sueltos y fueron redepositados nuevamente en terrenos mas bajos.
La frecuente alternación de incremento y disminución de la actividad volcánica probablemente esta acoplada a movimientos tectónicos.

El plano tectónico esta caracterizado por el afallamiento en bloques a cuyo efecto en el área estudiada morfologicamente aparece una fosa orientada de W a E. Esta fosa es parte del "sistema de fosa sur" que atraviesa aproximadamente en dirección poniente-oriente El Salvador interrumpido varias veces por fallas mas recientes. (ver mapa geol., anexo 1, tambien GREBE 1963, pag. 91 sig.).

La disposición de las fallas y seguido por este el desarrollo del "sistema de fosa" según GREBE (1963, tab. 1 pag. 98), sucedio durante el mioceno. Con el afallamiento en bloques (y el hundimiento de la fosa) se origino el Volcán San Salvador (Boquerón) y los Cerros de Mariona, los cuales estan enfilados directamente por el borde norte de la fosa en línea de W a E. En tiempos mas largos de calma relativa, tanto volcánica como tectónica, varias veces fueron formadas en superficies extensos, parcialmente con relieve pronunciado, formaciones de suelo de mucho espesor, las cuales parcialmente fueron erosionadas.

6. El subsuelo de San Salvador

Como indica el mapeo geológico, la mayor parte de la ciudad de San Salvador fue construido sobre el mismo subsuelo. Hasta la fecha la ciudad se extiendio principalmente por la planicie entre el Volcán Boquerón en el NW y el declive de la Cadena del Bálsamo en el sur y el Cerro San Jacinto en el oriente. Los Cerros de Mariona forman el lindero de la ciudad al norte, la mayoría de la planicie consiste de extensos estratos de tobas de color café y de color blanco.

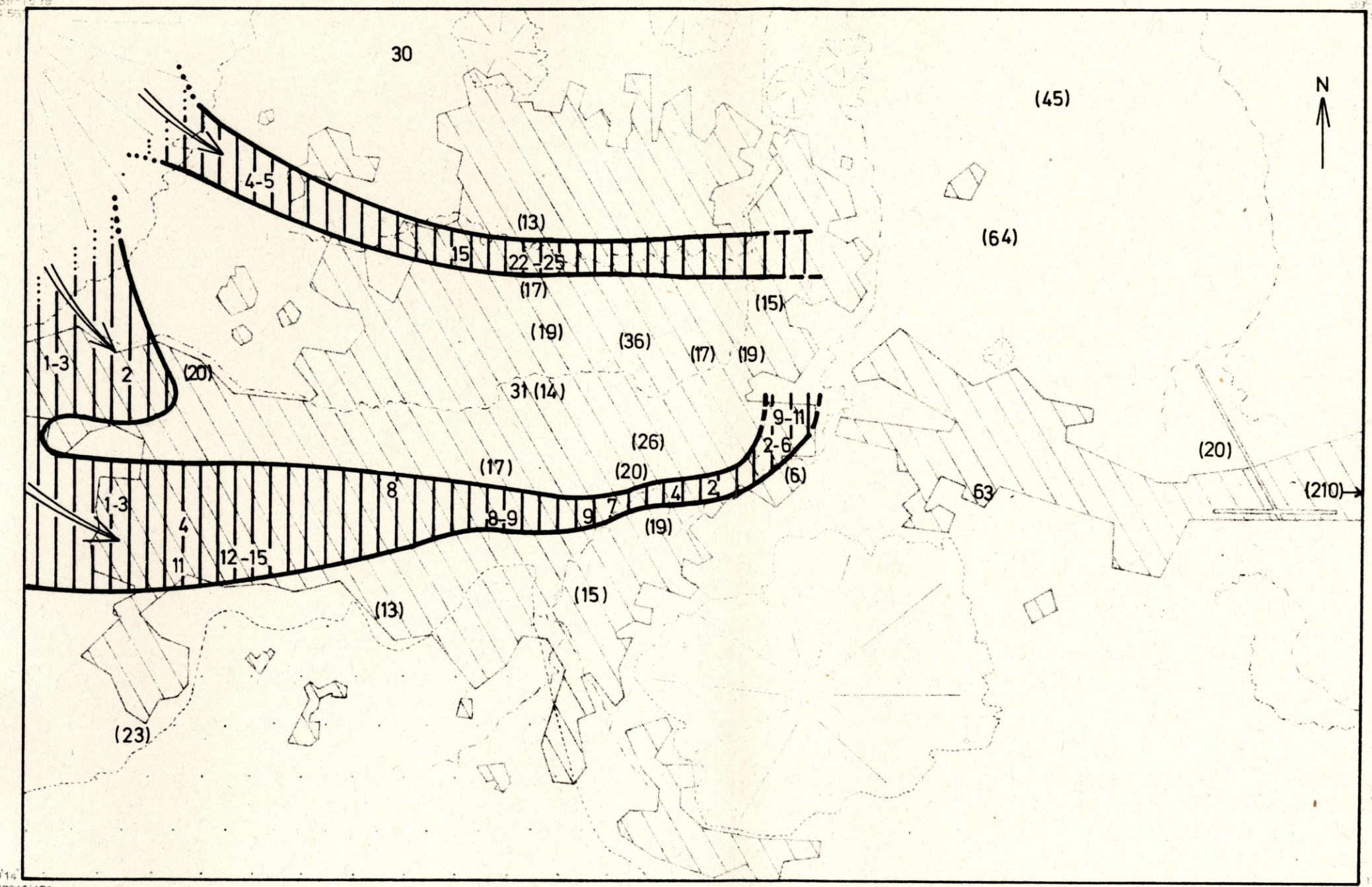
En la parte SW de la ciudad las lavas del Boquerón forman una base relativamente estable en poca profundidad debajo de las tobas de color cafe.

Los resultados obtenidos en el levantamiento geológico los cuales se pueden confirmar por los análisis de mas de 50 perforaciones, permitieron la deducción que durante el pleistoceno con procedencia del Boquerón las corrientes de lava hasta 10 metros de espesor se derramaron sobre el área de la actual capital (ver Fig. 3).

La corriente de lava del sur, la cual es mas ancha que la del norte, se derramó al sur del centro actual de la ciudad hasta aproximadamente la orilla oriental de la ciudad. La corriente de lava está mas o menos de 5 a 9 metros debajo de la superficie actual; el ancho de la corriente de lava es de 2 a 3 Km. al pié del Boquerón y se reduce a 500 m. en la Colonia La Chacra. El relieve superficial de la lava por muchas partes está superficial, cosa que se puede deducir por varios precipicios en el área de la ciudad (Colonia Escalón, San Benito, La Chacra) y por afloramientos en varias quebradas.

La corriente de lava del norte está situada por el rumbo norte de la ciudad a una profundidad de 15 a 20 m. bajo la actual superficie y se puede trazar al oriente hasta el Río Urbina. De los afloramientos y las perforaciones se puede deducir que de un ancho máximo de 500 m. por el Boquerón se reduce aproximadamente a 250 m. por su extremo en el oriente.

Las dos corrientes de lava están justamente demarcadas de lado, como lo demuestran los afloramientos y perforaciones: en la Colonia Escalón se encontraron en la quebrada La Mascota tobas hasta más de 20 m. de espesor, mientras en el Paseo General Escalón la lava está a flor de tierra y muchas veces se encuentra al hacer construcciones (ver mapa geol., anexo 1). Perforaciones un poco mas al sur del centro de la ciudad pasaron por tobas de más de 20 m. de espesor, mientras en la vecindad inmediata y aprox. 100 m.



13°39'14"
89°15'19"

13°33'14"
89°09'53"

Corrientes de lava del Boquerón

Dirección de las corrientes de lava

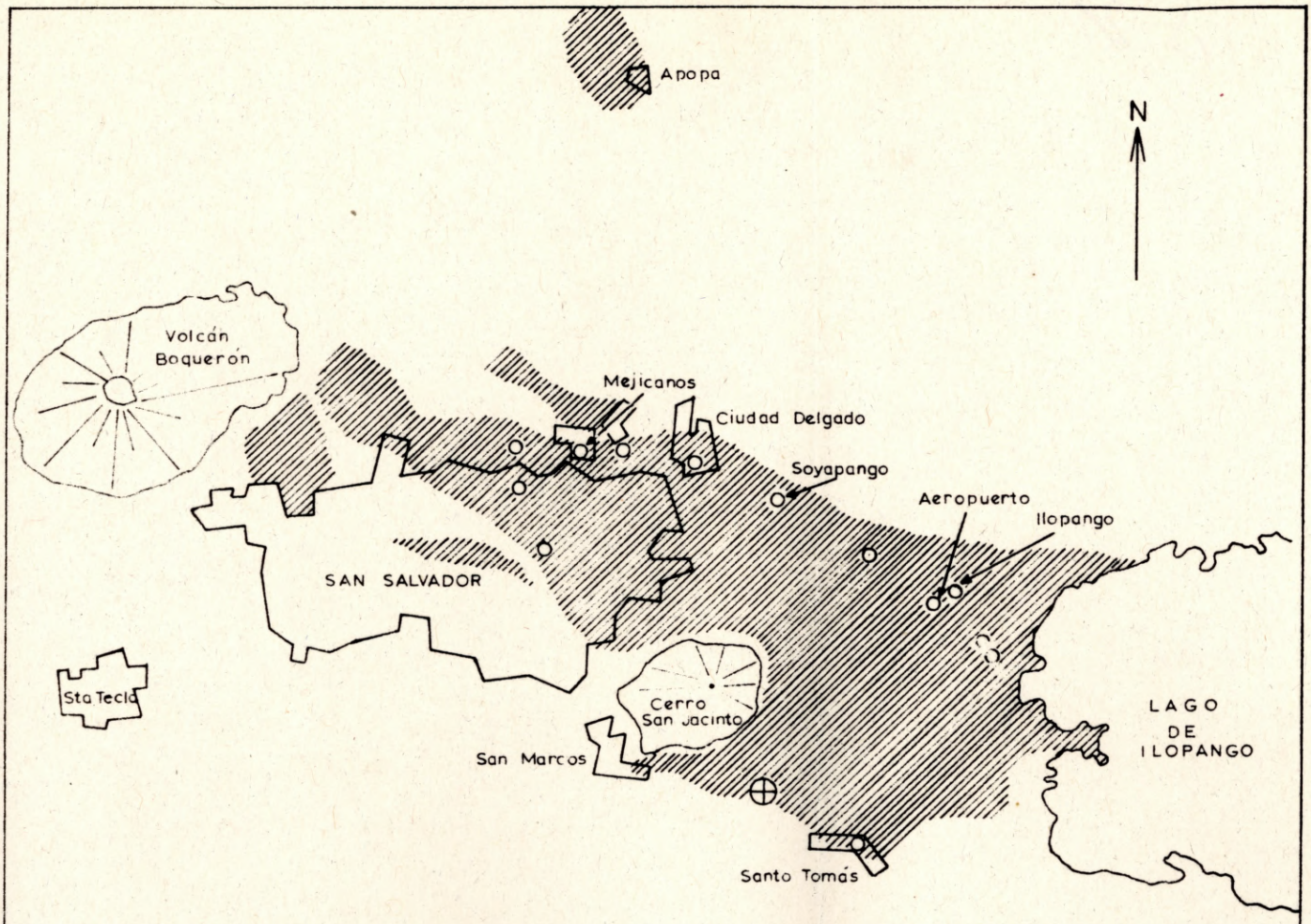
8 Profundidad en metros de lava bajo la superficie

(15) Profundidad en metros de pozos en tobas y tufitas sin alcanzar un manto de lava.

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR-

Corrientes de lava en el subsuelo de
San Salvador

0 1 2 3Km.



Areas de intensidades con más de VI en la escala de Mercalli-Sieberg

○ Lugares con intensidades muy altas

⊕ Epicentro

Nota: La limitación de San Salvador no corresponde con el área realmente urbanizada.

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR -

La distribución de las intensidades del terremoto del 3 de mayo 1965 modificado del croquis básico de R. SCHULZ y C. LOMNITZ, 1966

0 2 4 6 Km.

57 - B - 8	Figura: Nº 4	Dibujó: Jiménez	5-5-1969

de distancia ya se encontró lava a una profundidad de 9 m.

Indicaciones del espesor de las corrientes de lava en todo su recorrido no se pueden dar, pues al toparse con las lavas, generalmente se suspendieron las perforaciones. Los arroyos de todos modos en su mayor parte se atrincheraron hasta la superficie de la lava.

Pero en tres lugares parece probable que la corriente de lava en el sur esté aflorada en todo su espesor: Es al sur del Cementerio La Bermeja, en el arenal de Montserrat (aproximadamente 5 m. de espesor), en la Colonia La Chacra (máximo 5 m.) y en una pedrera abandonada, esquina 9a. Calle Poniente y 85a. Avenida Norte (aprox. 8 m.).

Los espesores de las series de tobas (tobas color café y tierra blanca) aumentan en dirección a NE y E. Una perforación por agua cerca de la población de Ilopango solamente pasó por tobas (máximo de perforación 210 m.).

7. Indicaciones sobre las relaciones entre subsuelo y efectos sísmicos.

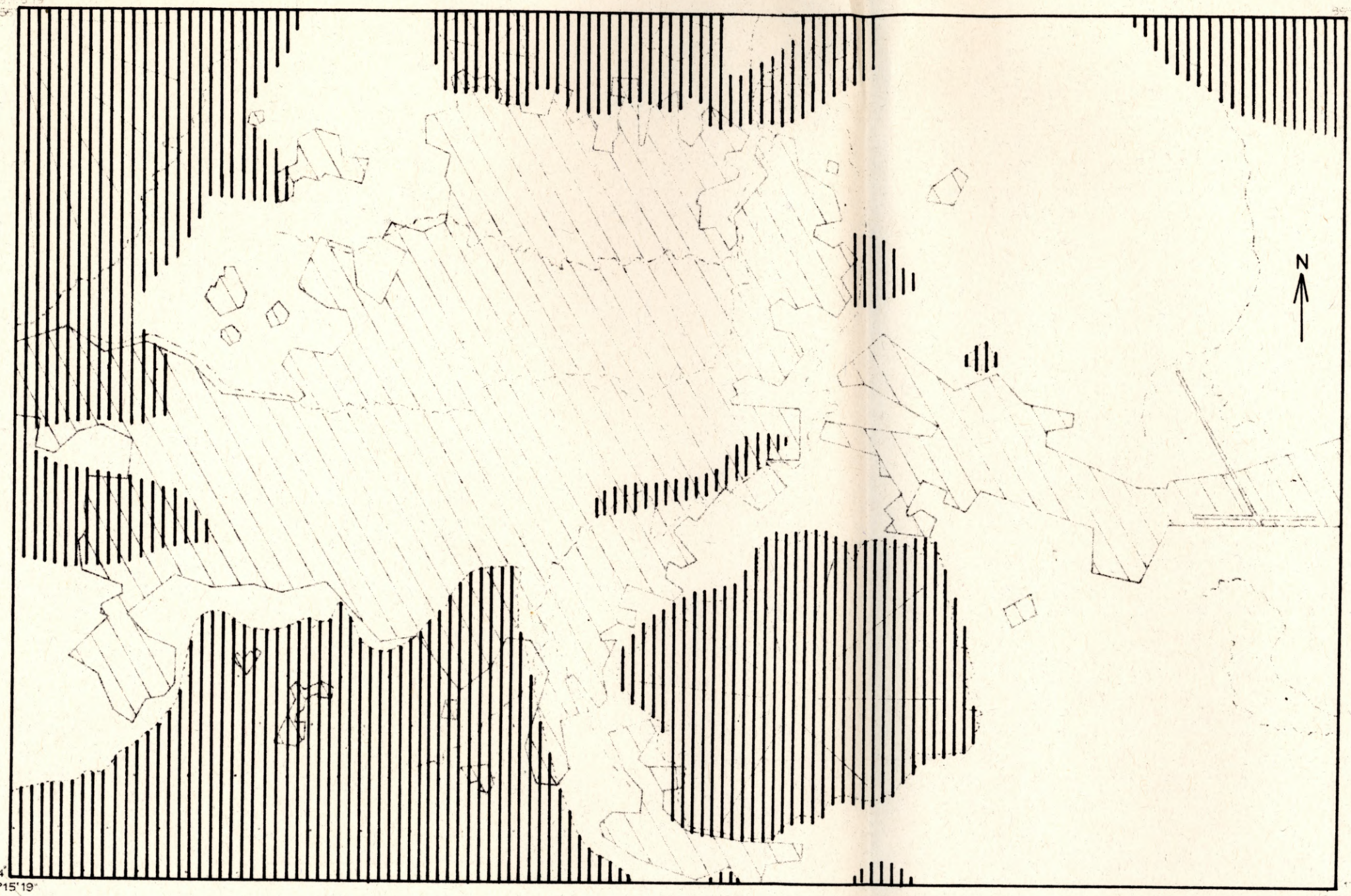
En regiones frecuentemente afectadas por terremotos, es de suma importancia investigar minuciosamente las condiciones del subsuelo y tomar las medidas de previsión correspondientes antes de comenzar a erigir construcciones (SIEBERG 1933, pág. 27 sig.). En la figura 4 las áreas estan sombreadas, en las cuales el terremoto del 3 de Mayo de 1965 de una intensidad de mas de 6 en la escala de Mercalli-Sieberg causó los mayores daños. La limitación de la ciudad no corresponde al área realmente urbanizada en aquella época. En las partes blancas la fuerza sísmica era menos del grado 6; apenas hubo daños en los edificios. En estas áreas blancas estan situadas las corrientes de lava que se ven en fig. 3; es posible que hayan contribuido a la estabilidad del subsuelo.

Pero no se descarta la posibilidad que en el lado SW la serie volcánica vieja fue el factor estabilizador por su poca profundidad. Conexiones entre los daños sísmicos y los sistemas de fallas en el mapa, hasta ahora no se pudieron comprobar. Los mayores daños sísmicos en 1965 resultaron en una zona que se extiende mas o menos de W a E, es decir del área urbana nordeste pasando por Soyapango llegando al Aeropuerto. En esta zona los espesores de tobas se aumentan rápidamente hasta mas de 30m. (ver. fig. 2 y 3). Además las series de tobas en su mayor parte han sido dislocadas y contienen agua freática en varios horizontes, cosa que puede tener influencia decisiva sobre la estabilidad del subsuelo.

La estabilidad de tobas de polvo, de ceniza y de lapilli bien compactadas se reduce esencialmente al subir su contenido de agua; y puede pasar hasta en una condición viscosa, saturada de agua: Las investigaciones después del terremoto del 3 de Mayo de 1965 dieron por resultado (DENGO et.al. 1965, pag. 5 y 8; LOMNITZ & SCHULZ 1966, pag. 571), que los mayores daños por acción sísmica se encuentran en zonas con tobas de mucho espesor poco consolidadas y habian sido dislocadas hasta en grandes profundidades y tenian mucha agua subterránea.

El Cerro San Jacinto, los Cerros de Mariona y la Cadena del Bálsamo son áreas de menor intensidad sísmica. El Volcán Boquerón se puede tomar como volcán todavía activo y una urbanización adicional en sus faldas es muy arriesgada, aunque el volcán tiene mucha resistencia contra movimientos sísmicos (erupción del Boquerón en 1917!).

La fig. 5 da una vista general sobre el suelo de cimentación de San Salvador y en la cual despues de quitar una capa de 5 m aproximadamente de tobas de cenizas y escombros de descomposición, se distinguen zonas con piedras firmes de otras de piedras sueltas.



Roca firme (tobas aglomeráticas, lavas andesíticas y basálticas)

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR -

Extensión de rocas firmes en el subsuelo de San Salvador y alrededores (eliminando aprox. 5m. de rocas sueltas: tobas pumíticas).

0 1 2 3 Km.

58-B-8	Fig: Nº 5	Autor: Schmidt-Thomé	Dibujó: Jiménez	5-5-69

Para obtener en el área de la capital mejores datos de comparación sobre la actividad sísmica permanente que hasta la fecha, seria bueno instalar los sismoscopios (25, en uso 16) sobre dos perfiles que corren aproximadamente en sentido perpendicular a los sistemas de fallas orientados de NW a SE, prestando atención especial que una parte de los sismoscopios fuera instalada encima o lo mas cerca a las fallas, mientras otra parte se instala lo mas alejada de las fallas, es decir en el centro de una faja de bloques tectónicos. Como hay que observar al instalar los aparatos para que se encuentren,a) en casa de construcción sólida b) con personas de confianza, puede haber desviaciones de importancia de una línea de perfil propuesta. Un cambio de posiciones de los sismoscopios solamente se podra proponer hasta haber tratado el asunto detenidamente con la sección de sismología del CEIG.

8. Indicaciones hidro-geológicas.

Las fuentes con las productividades mas fuertes que se quedan constantes casi todo el año, han sido observadas en las series pliocenicas (Cadena del Bálsamo), en la base de las corrientes de lava altamente porosas sobre las tobas aglomeráticas inferiores y medias de poca permeabilidad (ver SEEGER 1961, pag. 25). Tambien sobre varios suelos fósiles de color café dentro de las tobas de color café del pleistoceno que son parcialmente muy fangosas, se encuentran muchas emanaciones de manantiales cuyos flujos oscilan mucho en partes, dependiendo del tiempo del año.

En casi todas las quebradas en el área de la capital se han observado emanaciones de manantiales en los diferentes horizontes de suelo dentro de las tobas color café que a veces tenían flujos de importancia. Especialmente fueron fuertes los flujos en varios horizontes de la serie gris, al sur del Aeropuerto. El agua casi siempre esta clara, sin olor, ni sabor.

La represa mas alta de agua subterránea dentro de las tobas color café es el suelo color café que termina la serie, sobre la cual le sigue la tierra blanca. Según la permeabilidad de la tierra blanca la cual parcialmente depende tambien si las tobas fueron depositadas de nubes ardientes y de polvo, sin estar clasificadas a continuación fueron dislocadas fluvialmente, puede resultar que sobre el horizonte de suelo arriba mencionado, emane abundante agua (p.ej. quebrada al poniente por parte inferior de la Colonia Morazán).

La permeabilidad de la tierra blanca dislocada depende del grado de la clasificación del material (ver WIESEMANN y BOSSE, 1968). La permeabilidad de las tobas no clasificadas depende de la compactibilidad y del diámetro de los granos: Series de tobas que son muy densasy de grano fino que tienen poca permeabilidad.

Una gran parte de las fuentes observadas sirve a los vecinos de colonias ilegales en el área urbana para abastecer su consumo de agua. Cuando la base de erosión no esta situada suficientemente profunda, los horizontes de agua subterránea son explotados por medio de pozos que han sido ahondados hasta mas de 50 m. de profundidad (ver mapa geol; anexo 1).

De gran importancia para el abastecimiento futuro de agua de San Salvador es, que tanto el desague del agua subterránea (HOELTING 1961, pag. 49 sig.) del cual se provee el consumo de agua de la capital, como tambien el drenaje superficial que sirve para descartar las aguas negras, tienen una dirección al E y N.

Mientras los ríos y arroyos antes de llegar a la orilla sur y poniente de la capital tienen agua clara y salubre, despues de salir de la ciudad rumbo norte y oriente, estan ensuciadas de tal grado que otro uso del agua para consumo humano sin purificación es imposible.

Las aguas negras del Río Urbina y del Río Acelhuate son además tan agresivas que ocasionan en las partes metálicas de las presas al norte de la ciudad por medio de corosión daños importantes de consideración. Hasta la fecha no se han realizado análisis de las aguas negras de manera que todavía no hay indicaciones sobre el carácter químico de las mismas.

Para proteger sobre todo los horizontes de aguas subterráneas al norte de la capital contra contaminación, y así no arriesgar el abastecimiento futuro de agua de la capital, deberían hacerse las siguientes disposiciones:

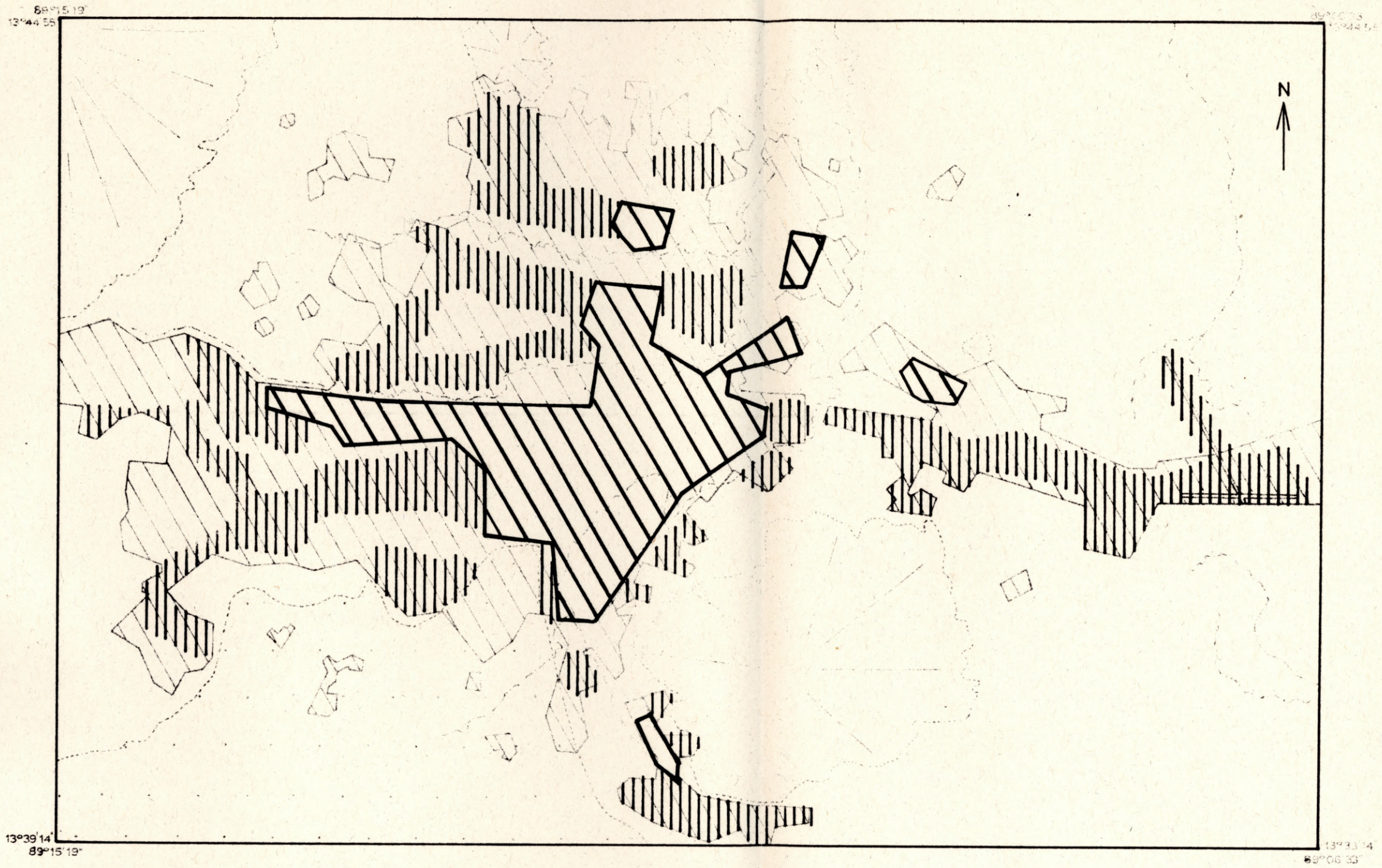
1) Completamiento de la red de cloacas y alcantarillados, sobre todo la canalización de ríos y arroyos en el área urbana, para así evitar una penetración de aguas negras al subsuelo.

2) Instalación de depósitos clarificadores de suficiente capacidad, para poder limpiar las aguas negras antes de que salgan a las salidas del drenaje natural.

3) Imposiciones a depósitos de combustible, talleres de reparación y la industria en general, permitiendo la salida al alcantarillado público y a las líneas de drenaje natural solamente después de una purificación anterior de sus aguas negras que son parcialmente altamente agresivas.

9.- Daños causados en el área urbana por el desague superficial y subterráneo.

Especialmente suceptible a la erosión por el agua superficial son las series de tobas de gran espesor, sobre todo cuando la vegetación de la superficie y con esto generalmente la capa de suelos, han sido removidos. Al sur del Aeropuerto resultaron quebradas de erosión hasta de 40 m. de profundidad en la planicie que probablemente antes no tenía quebrada.



Urbanización aproximada de San Salvador y alrededores hasta el año 1955

Areas de movimientos importantes de tierra, como consecuencia de la urbanización desde 1955

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
-MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR-

Nivelaciones y terraplenes artificiales en San Salvador y alrededores

0 1 2 3 Km.

En el área urbana actual estas partes especialmente están en peligro, donde series extensas de tierra blanca han sido o serán cortadas artificialmente y trasladadas en escala mayor para fines de urbanización (ver fig. 6). Cuando faltan medidas de previsión en las faldas y taludes que muchas veces estan artificialmente demasiado inclinadas y sin vegetación, inmediatamente la erosión comienza y puede cortar durante una sola temporada de lluvias las planicies destinadas a la urbanización (Colonias Morazán, Jiltepeque, Tepeyac, Campestre).

Aguaceros catastrofales y lluvias temporales son muchas veces en la zona urbana causa de derrumbes superficiales largos y estrechos; en áreas con series de tobas de mucho espesor que ya anteriormente fueron sujetas a movimientos tectónicos y a erosión interior que ya los redujeron a su estabilidad después de movimientos amplios de terreno y despues de lluvias temporales, partes de estas series de tobas fueron transformadas a un estado de estabilidad lábil (Hospital Misericordia 1957, Colonias Santa Lucía 1965, Las Brisas 1968, ver WIESEMANN & BOSSE 1968).

Los factores decisivos para un cambio de estado de estabilidad son: a) mayor erosión interior de material producido por un fuerte aumento del desague de aguas subterráneas y b) el sobrecargo adicional de las aguas de lluvia por falta de suficiente drenaje de la superficie. Para no poner en peligro las urbanizaciones existentes, ni las en estado de planificación que están situadas sobre tobas extensas, deberían tomarse medidas contra la influencia de la erosión de la superficie así: suficiente drenaje de la superficie de las aguas y sembrar vegetación en los taludes muy inclinados. Además sería conveniente de frenar los métodos ahora generalmente en uso, de nivelar y rellenar de una manera considerable, salvo que no se haya construido antes del relleno de arroyos profundos, sistemas subterráneos de drenaje, perfectamente suficientes. Antes de la urbanización de áreas recién planificadas habra que compactar y

solidificar suficientemente estas tobas que en muchos casos han sido revolcadas artificialmente.

San Salvador, 1 de Septiembre de 1969.

MISION GEOLOGICA ALEMANA
EN EL SALVADOR

Bosse.

(Dr. Heinz-Richard Bosse)
Jefe interino de la MGA

Autor:

M. Schmidt-Thomé

(Dr. Michael Schmidt-Thomé)

10. Bibliografía; Literaturverzeichnis

BOSSE, H.-R. : Estudios para establecer nuevas canteras de gran escala en los alrededores de San Salvador, El Salvador.- Reporte de la MGA en El Salvador, (spanisch u. deutsch) 49 Págs., San Salvador 1969.

DENGO, G., FIEDLER, G., KNUDSEN, C.F., LOMNITZ, C. & ROSENBLUTH, E. : Inf. Prelim. de la Misión de Reconocimiento Sismológico; 26 Págs., NS/0665, 131. AVS, UNESCO, Paris 1965.

DURR, F. & KLINGE, H. : Die Verbreitung der jüngsten Bims-Aschen um San Salvador, El Salvador, Zentralamerika.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 110, S. 393-396, Stuttgart 1960.

DURR, F. & KLINGE, H. : Beiträge zur Stratigraphie und zur Paläopedologie des mittleren El Salvadors.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1960, S. 111-132, Stuttgart 1960.

GRUBE, W.-H. : Zur Geologie der altvulkanischen Gebirge in El Salvador (Mittelamerika).- Beih. geol. Jb. 50, 116 S., Hannover 1963.

HOELTING, B. : El agua subterránea en los alrededores de San Salvador. Anales Serv. Geol. Nac. El Salvador, Eol. 4, Pág. 41-62, San Salvador 1961.

LOMNITZ, C. & SCHULZ, R. : The San Salvador Erathquake of May 3, 1965.- Bull. Seismolog. Soc. Amer. 56, pp 561-575; Berkeley 1966.

MEYER-ABICH, H. : Terremoto de Jucuapa en El Salvador (América Central) 6-7 de Mayo de 1951.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient. 1, No.2, Pág. 1-24, San Salvador 1952.

MÜCKENHAUSEN, E. & MÜLLER, E.H. : Geologisch-bodenkundliche Kartierung des Stadtkreises Bottrop i.W. für Zwecke der Stadtplanung.- Geol. Jb. 66, S. 179-202, Hannover 1951.

SCHULZ, R. : Mapa sísmico preliminar de la República de El Salvador.- Bol. Sismol. Serv. Geol. Nac. 7, Pág. 26, San Salvador 1962.

SCHULZ, R. & WEYL, R. : Erdbeben und Krustenaufbau im nördlichen Mittelamerika.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1960, S. 193-201, Stuttgart 1960.

SEEGER, D. : Influencia de la geología regional en la hidrología de El Salvador.- Anales Serv. Geol. Nac. El Salvador, Bol. 4, Pág. 5-40, San Salvador 1961.

SIEBERG, A. : Erdbebenforschung und ihre Verwertung für Technik, Bergbau und Geologie, 144 S., Gustav Fischer-Verlag, Jena 1933.

WEYL, R. : Beiträge zur Geologie El Salvadors. IV. Die Bimsaschen in der Umgebung San Salvadors.- N. Jb. Geol. Paläont.,,Mh. 1954, S. 49-70, Stuttgart 1954.

" " : Beiträge zur Geologie El Salvadors. V. Die Schmelztuffe der Balsamkette.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 99, S. 1-32, Stuttgart 1954.

" " : Beiträge zur Geologie El Salvadors. VI. Die Laven der jungen Vulkane.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 101, S. 12-38, Stuttgart 1955.

" " : Die Geologie Mittelamerikas, 226 S., Gebr. Borntträger-Verlag, Berlin 1961.

WIESEMANN, G. & BOSSE, H.-R. : Informe sobre el origen de la grieta en la Colonia Las Brisas y sus alrededores, al Este de San Salvador, El Salvador (spanisch u. deutsch), 69 Págs. San Salvador 1968.

WILLIAMS, H. : Diques de terremotos cerca de San Salvador.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient., 1, S. 9, San Salvador 1953.

WILLIAMS, H. & MEYER-ABICH, H. : El origen del Lago de Ilopango.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient., 2, No. 1, Pág. 1-8, San Salvador 1953.

" " : Volcanism in the southern part of El Salvador.- Univ. Calif. Publ. Geol. Sci., 32, pp. 1-54, Berkeley- Los Angeles 1955.

DEUTSCHE GEOLOGISCHE MISSION IN EL SALVADOR

Geologische Untersuchungen im Bereich der Hauptstadt San Salvador und Umgebung mit Hinweisen für Erdbebengefährdung, Hydrogeologie und Stadtplanung.

von

M. Schmidt-Thomé

(deutscher Text des spanischen Berichtes der Seiten 1-33. Die Abbildungen sind nur im spanischen Text vorhanden).

SAN SALVADOR, SEPTEMBER 1969

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 35

1. Aufgabenstellung 36

2. Durchführung der Geländearbeiten 36

3. Früher durchgeführte geologische Arbeiten 37

4. Geographischer Überblick 37

5. Geologie 38

   5.1. Stratigraphie 38

   5.2. Tektonik 44

   5.3. Kurzer paläogeographisch-tektonischer Rückblick 46

6. Der Gesteinsuntergrund von San Salvador 48

7. Hinweise auf die Beziehungen zwischen Untergrund und Erdbebenwirkungen 49

8. Hydrogeologische Hinweise 51

9. Schäden im Stadtbereich durch Oberflächen- und Grundwasserabstrom 53

10. Literaturverzeichnis 55

Tabellen, Abbildungen, Anhang.

Tabelle 1 : Standardprofil für San Salvador 39

Abb. 1 : Übersichtskarte von San Salvador und Umgebung 6

Abb. 2 : Mächtigkeiten der Tierra blanca im Bereich San Salvadors 13

Abb. 3 : Lavaströme im Untergrund San Salvadors . . 20

Abb. 4 : Verteilung der Bebenintensitäten des Erdbebens vom 3. 5. 1965 21

Abb. 5 : Verbreitung der Festgesteine im Untergrund 24

Abb. 6 : Erdbewegungen im Bereich San Salvadors . . 28

Anlage 1 : Geologische Karte von San Salvador und Umgebung, **Maßstab** 1 : 15 000.

Anlage 2 : Topographische Karte von San Salvador und Umgebung, **Maßstab** 1 : 15 000.

Zusammenfassung :

1. Die geologische Kartierung im Maßstab 1 : 15 000 ergab, daß die Gesteinsserien, deren Alter Pliozän bis rezent ist, im Bereich San Salvadors vulkanischen Ursprungs sind. Es stehen Agglomerattuffe, Schmelztuffe, Laven, Lapilli-, Aschen- und Staubtuffe an, die teilweise fluviatil umgelagert wurden.

2. Vier Haupt-Störungsrichtungen - E-W, NW-SE, ENE-WSW und N-S - sind ungefähr gleich alt, wurden aber anscheinend öfter wieder neu belebt. Die Anlage der Störungen erfolgte wahrscheinlich präpliozän.

Ringförmige Strukturen, die altersmässig noch nicht eingestuft werden konnten, sind auf vulkano-tektonische Vorgänge zurückzuführen.

3. Der Untergrund im Stadtbereich besteht vorwiegend aus Tuffserien, die im allgemeinen mehr als 15 m mächtig werden. Im weiteren Bereich der Lavaströme, insbesondere im SW-Teil der Stadt, waren die Bebenschäden des Erdbebens vom 3.5.1965 wesentlich geringer als in Gebieten grosser Tuffmächtigkeiten. Besonders resistent gegen seismische Erschütterungen sind die Balsamkette, der Vulkan Boquerón und die Lavastöcke des C. San Jacinto und der Cs. de Mariona.

Zur besseren Kontrolle der seismischen Tätigkeit sollten die vorhandenen Seismoskope in zwei Profilen möglichst senkrecht zu dem deutlich ausgeprägten NW-SE streichenden Störungssystem aufgestellt werden.

4. Quellen mit reichlicher ganzjähriger Schüttung treten an der Basis der Laven über den wenig permeablen Agglomerattuffen aus. Die auf verschiedenen fossilen Braunlehm-Horizonten innerhalb der "Tobas color cafe" und in der "Grauen Serie" austretenden Quellen erreichen teilweise sehr hohe Schüttungsmengen; in Abhängigkeit von der Jahreszeit schwanken sie jedoch z.T. erheblich.

Die Maßnahmen zur Beseitigung der städtischen und der Industrie-Abwässer sind z.Z. noch völlig unzureichend, sodaß die Grundwasserverschmutzung vor allem nördlich der Hauptstadt sehr groß ist.

5. Durch Oberflächen- Erosion sind besonders diejenigen Siedlungsgebiete betroffen, die auf künstlich umgelagerten Tuffen angelegt werden, bisher keine ausreichende ober- und unterirdische Drainage besitzen und deren übersteile Böschungen nicht durch Bepflanzung geschützt sind.

Flächeneinbrüche, wie sie schon mehrmals im Stadtgebiet auftraten, können mit großer Wahrscheinlichkeit verhindert werden, wenn das Gelände vor umfangreichen Erdbewegungen ausreichend drainiert wird und die künstlich umgelagerten Erdmassen vor Errichtung von Siedlungen genügend verdichtet und verfestigt sind.

1. Aufgabenstellung.

Im Juni 1968 wurde die DGM El Salvador vom Direktor des CEIG (Centro de Estudios e Investigaciones Geotécnicas), Ing. Edgard Parker Escolán gebeten eine geologische Kartierung des Stadtgebietes von San Salvador und seiner näheren Umgebung durchzuführen.

Die Kartierung soll bei der raschen Ausdehnung der Hauptstadt u. a. als Grundlage für die Stadtplanung dienen. Außerdem sollte darauf geachtet werden, erdbebengefährdete Bereiche im jetzigen und zukünftigen Stadtbereich mit Hilfe der geologischen Kartierung evtl. genauer zu lokalisieren als es bisher möglich war.

2. Durchführung der Geländearbeiten.

Im November 1968 beauftragte der Leiter der DGMES, Dr. G. Wiesemann, den Berichterstatter mit der Kartierung des Stadtgebietes, Blatt San Salvador, Maßstab 1 : 15 000, Außer der bebauten Stadt umfaßt die Karte noch die nähere Umgebung San Salvadors, die vermutlich teilweise in den

nächsten Jahren bebaut werden wird.

Im Zusammenhang mit der Kartierung wurden a) Schichtprofile in den Tuffen und Laven aufgenommen, b) Quellaustritte lokalisiert und c) Bohrprofile und -journale, die im CEIG vorhanden sind, ausgewertet, soweit dies aufgrund der Beschreibungen möglich war. Hierdurch werden Aussagen über die Standfestigkeit des Untergrundes möglich; die Lokalisierung von Quellaustritten könnte eventuell nützliche Hinweise bei einer zukünftigen Erweiterung und Verbesserung der Wasserversorgung der Stadt geben.

3. Früher durchgeführte geologische Arbeiten im Stadtbereich und in der Umgebung von San Salvador.

a) Geologische Karten :

1. Mapa Geológico Preliminar de San Salvador y sus Alrededores, 1 : 100 000; CEIG, Nov. 1966.
2. Mapa Geológico de la Cuenca de San Salvador y Alrededores, 1 : 50 000, ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados), J.D. THEMS & C. VALLE, Juli 1967.

b) Geologische, hydrogeologische, bodenkundliche und seismische Arbeiten im Bereich von San Salvador:

WILLIAMS & MEYER-ABICH (1953, 1955); WEYL (1954, 1955); DÜRR & KLINGE (1960); HÖLTING (1961); DENGO, FIEDLER, KNUDSEN, LOMNITZ & ROSENBLUTH (1965); LOMNITZ & SCHULZ (1966); DGMBS (1968).

4. Geographischer Überblick. (vgl. Abb. 1 und Anl. 2)

Die Stadt liegt unmittelbar nördlich des steilabfallenden Nordrandes der Küstenkordillere ("Balsamkette") und breitet sich vom SE-Fuss des Vulkans Boquerón auf einer flach nach Osten abfallenden Verebnungsfläche, die durch zahlreiche tief eingegrabene Bäche und Flüsse zerschnitten wird, zur Zeit vorwiegend nach Norden und Osten aus, (vgl. Abb. 1).

Eine weniger ausgeprägte natürliche Begrenzung der Stadt im Norden sind die Cerros de Mariona.

Die Verebnungsfläche, auf der der Hauptteil der Stadt erbaut ist, liegt in einer durchschnittlichen Höhe von 650 m ü. NN; doch reicht die bebaute Fläche am Fuß des Boquerón bis 1000 m ü. NN.

5. Geologie.

Im folgenden werden die im Untersuchungsgebiet anstehenden Gesteine und ihre Lagerungsverhältnisse besprochen.

5.1. Stratigraphie. (vgl. Geologische Karte, Anl. 1; Strat. Tabelle, Tab. 1)

Im bearbeiteten Gebiet stehen Gesteinsserien von Pliozän bis Holozän an.

Die ältesten Gesteine, die nur in der Balsamkette erschlossen sind, gehören zur Unteren Agglomerattuff-Serie, deren erschlossene Mächtigkeit mindestens 100 m beträgt. Die Agglomerate setzen sich vorwiegend aus eckigen Basalt- und Andesitbrocken sowie aus Schlacken und Tuffresten zusammen. Die Grundmasse ist fest verbackenes Tuffmaterial. Der Durchmesser der Xenolithe liegt zwischen 5 cm und mehr als 30 cm.

In der Balsamkette erfolgten lokale, ca. 10 m mächtige phaeno-andesitische Lavaergüsse. In einer Wasserbohrung 400 m östlich Antiguo Cuscatlán, die am Nordabfall der Balsamkette niedergebracht wurde, erreichen diese Laven eine Mächtigkeit von etwa 20 m.

Während erneuter Zunahme der vulkanischen Tätigkeit wurden hellbraune Staub- und Aschenserien gefördert, ferner wurden helle Bimstuffe und kleinkörnige Agglomerattuffe abgelagert, die als Mittlere Agglomerattuff- Serie zusammengefaßt werden; ihre Mächtigkeit beträgt maximal ca. 80 m.

Tabelle 1: Stratigraphisches Standardprofil für San Salvador und Umgebung. (abgeändert nach BOSSE)

Holozän:	
Künstliche Aufschüttungen und Erdbewegungen	bis 20 m
Alluvionen	1-3 m
Flußterrassen	ca. 4 m
Schwarzerde	bis 1.5 m
Weiße Bimstuffe (Tierra blanca)	0.5- ca. 50 m
Pleistozän:	
Fossiler Braunerde-Horizont	ca. 1.5 m
Aschen und Schlacken des Kraters La Laguna	bis 25 m
Graue Serie	bis 30 m
Braune Tuffe (Tobas color cafe)	2- ca. 20 m
Basaltische Laven und Schlacken des Boquerón (Vulkan Boquerón 1958 m)	3- 10 m
Obere Agglomerattuff-Serie (lokal fluviatil umgelagert)	6- ca. 10 m
Pliozän:	
Fossiler Rotlehm-Horizont	bis 8 m
Altvulkanische Serie:	
Andesit-, Basalt- und Dazit-Laven (C. San Jacinto 1154 m, Cs. de Mariona 798 m)	bis 15 m
Mittlere Agglomerattuff-Serie	ca. 80 m
Andesit-Laven	10- ca. 20 m
Schmelztuffe (Stellung im Profil noch unsicher)	ca. 25 m
Untere Agglomerattuff-Serie	bis > 100 m

Erneute Extrusionen förderten mächtige Laven, die teilweise als augedehnte Lavadecken auf den älteren Serien liegen. In der Küstenkordillere werden diese Lavadecken bis zu 15 m mächtig- (in der oben genannten Bohrung wurden 13 m festgestellt)- und haben andesitische und basaltische Zusammensetzung.

Vermutlich gleichzeitig entstanden der Cerro San Jacinto im Osten der Stadt und die Cerros de Mariona nördlich der Stadt sowie der Sta. Rosa bei Soyapango. WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, S. 26) deuten diese Berge als Staukuppen, doch lassen deutlich erkennbare Kraterstrukturen auf dem C. San Jacinto und den Cerros de Mariona ihre Genese als reine Staukuppen fraglich erscheinen. Nach den bisherigen Untersuchungen ist die Genese des C. San Jacinto, vor allem aber der Cerros de Mariona anscheinend mehrphasig, wobei sich der Chemismus der geförderten Extrusiva von sauer nach basisch veränderte. Während der C. San Jacinto überwiegend aus andesitischen und basaltischen Laven besteht (vgl. BOSSE 1969, S. 16 u. 40), setzen sich die Cs. de Mariona aus dazitischen (WILLIAMS & MEYER-ABICH 1955, S. 26), andesitischen und (?) basaltischen Laven zusammen. Im Río Urbina, nördl. Col. Las Margaritas, ist das deutlich zu sehen: Auf grobkörnigen, stark geklüfteten, an Tuffeinschlüssen reichen phaenodacitischen Laven liegen feinkörnige, dichte, z.T. plattig absondernde Phaeno-Andesite.

Unbekannt war bisher das Vorhandensein <u>pliozäner Schmelztuffe</u> am Nordrand der Balsam-Kette, die westlich Los Planes de Renderos auskartiert wurden. Der Schmelztuff zeigt deutliches Parallelgefüge durch parallel angeordnete, z.T. stark ausgelängte gelbliche Bims- und Lapillifetzen in grauer Grundmasse. Im Dünnschliff sind meist stark zersetzte Glasreste zu erkennen. Diese Schmelztuffe, deren Mächtigkeit ca. 25 m beträgt, liegen an der genannten Lokalität direkt auf den Unteren Agglomerattuffen; ihre genaue stratigraphische Zuordnung innerhalb des Pliozäns ist z.Z. noch unbekannt. Schmelztuffe pliozänen Alters waren bisher nur nördlich San Salvadors nach WEYL (1961, S. 25 u.) von GRUBE nachgewiesen worden.

An der Wende Plio-Pleistozän bildeten sich in einer (? längeren) Zeit vulkanischer Ruhe ausgedehnte Rotlehm- und Roterdeböden, die größtenteils wieder abgetragen wurden. Im bearbeiteten Gebiet ist die Roterdebedeckung nur noch an wenigen Stellen erhalten: westl. Los Planes de Renderos in der Balsamkette, auf dem C. San Jacinto und auf den Cs. de Mariona. Östl. Col. San Vicente erreichen sie mit ca. 8 m ihre grösste Mächtigkeit.

Den bisher vorliegenden Arbeiten folgend (vgl. DÜRR & KLINGE 1960, S. 122 f.; WEYL 1961, S. 101 f.) beginnt das Pleistozän nach Abschluß der Rotlehmbildung. Es ist jedoch bisher nicht nachzuweisen, ob dieser bei der Kartierung leicht auffindbare Horizont als geologische Zeitmarke absolute Gültigkeit hat. Fehlt die Rotlehmbedeckung, ist es nicht immer ohne weiteres möglich, die Agglomerattuff-Serien des Pliozäns von den pleistozänen zu unterscheiden. Die petrographisch oft sehr ähnlichen Mittleren und Oberen Agglomerattuffe können im Gelände dann nur aufgrund der unterschiedlichen tektonischen Beanspruchung unterschieden werden. Gute Aufschlüsse sind im Río Urbina, östl. Col. El Rosario, und im Río Acelhuate, östl. Col. San Pedro, vorhanden.

Im Pleistozän konzentrierte sich die Förderung vulkanischen Materials im Raum von San Salvador hauptsächlich auf den Vulkan San Salvador (Boquerón). Es kam zur Förderung von braunen und gelblichen Aschen- und Lapillituffen sowie Agglomerattuffen, die als Obere Agglomerattuff-Serie zusammengefasst werden; die max. Mächtigkeit beträgt 10 m.

In Zeiten vulkanischer Ruhe wurden die frisch geförderten vulkanischen Serien abgetragen und in Tiefgebieten erneut abgelagert. Als lokale Vertretung der Oberen Agglomerattuffe entstand eine Fluviatile Serie von max. 6 m Mächtigkeit, die aus einer Wechselfolge von z.T. schräggeschichteten Tonen, Sanden und Kiesen besteht.

Bei erneuter vulkanischer Tätigkeit wurden vorwiegend schlackige und poröse andesitische und untergeordnet basaltische Laven gefördert (Mächtigkeit ca. 6- max. 10 m).

Neu einsetzende Aschenauswürfe führten zum Absatz der Braunen Tuffe ("Tobas color cafe"), die sich aus braunen grob- und feinkörnigen Aschentuffen, hellbraunen und gelben Bims- und Lapillituffen und, vor allem in Vulkannähe, aus

schwarzgrauen Wurfschlacken zusammensetzen.

Die Mächtigkeit liegt zwischen 1 m und max. 20 m.

Während Ruhezeiten bzw. Nachlassen der Effusions- und Extrusionstätigkeit kam es mehrfach zur Bildung von Braunerdehorizonten, die bis 1,5 m mächtig werden können. DÜRR & KLINGE (1960, S. 112) beobachteten i.a. drei, selten mehr Braunlehmhorizonte.

Schräggeschichtete Zwischenlagen in den Braunen Tuffen lassen erkennen, daß die Tuffe lokal und zu verschiedenen Zeiten fluviatil umgelagert wurden.

Ein fluviatiles Äquivalent der Braunen Tuffe ist die Graue Serie ("Serie gris"), die im Río Las Cañas und östlich des C. San Jacinto in der Depression des Ilopango-Sees aufgeschlossen ist und dort bis zu 30 m mächtig wird. Durch die fluviatile Verfrachtung von Staub- u. Aschentuffen in tiefer gelegene Gebiete kamen überwiegend grau gefärbte Serien von schräg- und feingeschichteten Tonen, Grob- und Feinsanden zum Absatz, in die als Rinnenfüllungen öfters Kiesbänke eingelagert sind. Gelegentliche braune ungeschichtete Tuffeinschaltungen sowie braune Bodenhorizonte deuten an, daß die Sedimentation mehrmals unterbrochen war.

Mächtige, fluviatil umgelagerte Tuff- und Aschenserien im Bereich des Ilopango-Sees wurden bereits von WILLIAMS & MEYER-ABICH (1953, S. 6 u. 1955, S, 21 f.) beschrieben. Einmal legen sie dar, dass die Tuffe und Aschen der "Tobas color cafe" nach ihrem Absatz durch Flüsse (u.a. ein altes Acelhuate-Flusstal; 1955, S. 21) nach Osten transportiert wurden, an anderer Stelle (1955, S. 30) fassen sie die fluviatilen Serien im Ilopangobecken als Umlagerungsprodukte der Tierra blanca auf.

Etwa gegen Ende des Pleistozäns entstand der Sprengkrater La Laguna, westl. Antiguo Cuscatlán, aus dem braune Aschen und Tuffe, überwiegend aber schwarze Wurfschlacken gefördert wurden. Effusions-und/oder Windrichtung ließen das Auswurfmaterial vorzugsweise westlich des Kraters La Laguna zum Absatz gelangen. Die Mächtigkeit des Schlackenwalls in unmittelbarer Kraternähe beträgt max. 25 m.

Im **Holozän** verlagerte sich die vulkanische Tätigkeit in den Bereich des Ilopango-Sees, wobei nach WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, S. 33) mächtige, weiße, dazitische Aschen-, Bims- und Lapilli-Tuffe vorwiegend durch Glutwolken abgelagert worden sein sollen. Die größte Mächtigkeit erreichen diese Weißen Bimstuffe ("Tierra blanca") im Bereich des Ilopango-Sees mit ca. 50 m; mit zunehmender Entfernung von den Ausbruchszentren nimmt sie ziemlich rasch ab (vgl. Abb. 2). An den Hängen des Boquerón und des C. San Jacinto sowie in der Balsam-Kette beträgt die durchschnittliche Mächtigkeit noch 1 bis max. 4 m. Abhängig vom alten Relief kann die Mächtigkeit der Tierra blanca auch weiter entfernt vom Ausbruchzsentrum plötzlich erheblich ansteigen. So steigt die Mächtigkeit im Stadtbereich in fossilen Tälern - vorwiegend verursacht durch Umlagerung - auf 12 m und mehr an, während die durchschnittliche Mächtigkeit in der Umgebung nur noch max. 4-5 m beträgt (Col. Escalón, Mejicanos, San Marcos; vgl. auch Abb. 2).

Die Förderung der hellen Tuffe begann mit groben Bomben und Bimslapillis, die am Ilopango-See Durchmesser von mehr als 20 cm erreichen können. Dieser Bimshorizont, dessen Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung des Förderzentrums zwischen 25 und 5 cm liegt, ist im gesamten Arbeitsgebiet nachweisbar und dient als Leithorizont (vgl. DÜRR & KLINGE 1960, S. 112).

Bodenbildungen in den unteren 10-15 m der Tierra blanca sowie fluviatile Umlagerungen in verschiedenen Niveaus, vor allem an der Basis und im Hangenden, deuten darauf hin, dass die vulkanische Tätigkeit mehrmals nachließ bzw. unterbrochen war (WILLIAMS & MEYER-ABICH 1955, S. 34 f.).

Nach Ablagerung dieser hellen Tuffe bildeten sich auf der heutigen Landoberfläche Schwarzerdeböden, die durch anthropogene Einflüsse großflächig zerstört wurden und werden.

Alt- und jungquartäre Fluß -Ablagerungen verhüllen die Talböden und bauen verschiedene Terrassensysteme entlang den Bach- und Flußläufen auf.

5.2. Tektonik.

Regionaltektonisch gesehen liegt das bearbeitete Gebiet im E-W-streichenden "Südlichen Grabensystem" von El Salvador.

Der Südrand des Grabenzugs wird durch den Steilabfall der Küstenkordillere deutlich gekennzeichnet; der Nordrand verläuft südlich der Cs. de Mariona und tritt infolge Verhüllung durch jüngere Tuffschichten (Tobas color cafe + Tierra blanca) zu beiden Seiten der Störung morphologisch nicht hervor. Im Bereich der Graben-Nordrand-Störung ist, vorwiegend auf Kluftflächen, eine auffällige Mineralisation zu beobachten; es handelt sich vor allem um Quarz-, Karneol- und Limonit- gefüllte Klüfte und Gängchen (Río Urbina und Río Acelhuate). Im Río Acelhuate, östl. Paleca, sind außerdem stark gelblichgrün gefärbte, nicht näher bestimmte Mineralbeschläge (vermutlich Fe- Oxyde) und ein deutlicher H_2S-Geruch festzustellen.

Der Grabenzug ist wesentlich schmäler als bisher angenommen wurde, da im Nordteil des kartierten Gebiets bereits wieder die Mittlere Agglomerattuff-Serie des Pliozäns zutage tritt, die bisher nicht erkannt und daher den Braunen Tuffen zugerechnet wurde. Die Gesamtbreite des Grabens im Bereich des Blattes San Salvador, 1 : 15 000, beträgt max. 5 km.

Im Arbeitsgebiet treten 4 Haupt-Störungsrichtungen auf:

1) Eine E-W streichende Richtung markiert den Nord- und Südrand des Grabenzuges und ist wahrscheinlich eine der frühesten angelegten Beanspruchungsrichtungen.

2) Ein jüngeres, NW-SE streichendes, ungefähr äquidistantes Störungssystem staffelt das vorher genannte System in östlicher Richtung nach Norden vor.

3) Ein ENE-WSW verlaufendes, weniger deutlich ausgeprägtes System ist wahrscheinlich etwa gleichalt wie das NW-SE-System; die relative Altersstellung zu diesem ist

jedoch nicht immer eindeutig festzustellen.

4) Völlig auf den Bereich nördlich des Grabens beschränkt ist ein N-S bis steil NNE-SSW streichendes Störungssystem; es scheint im allgemeinen älter als die vorher genannten Systeme zu sein, doch haben auch hier später noch Bewegungen stattgefunden.

Die Einfallsrichtungen des Systems 1) sind, entsprechend der zugehörigen Grabenseite, nach N oder S gerichtet. Beim System 2) wurden vorzugsweise SW fallende Störungsflächen festgestellt, doch treten, wenn auch weniger häufig, NE fallende Störungen auf. Im System 3) fallen die Störungen sowohl nach NNW als nach SSE ein, im System 4) nach W und nach E. Die Einfallswinkel sind meist steil und liegen bei ca. 65-85°.

Die tatsächlichen Einfalls-Richtungen und-Winkel der Störungen, die nur im Luftbild über weitere Entfernungen verfolgt werden können, sind im Gelände i.a. nur selten festzustellen. Oft geben nur die Kluftsysteme im Bereich einer Störung Aufschlüsse über die Einfallsrichtungen.

Der gesamte tektonische Bewegungsplan, dessen Anlage wahrscheinlich bereits prä-pliozän erfolgte, zeigt keine eindeutige Vorzugsrichtung eines Störungssystems. Das läßt darauf schließen, daß die einzelnen Störungsrichtungen zwar zu verschiedenen Zeiten angelegt, später aber öfter wieder neu belebt wurden. Dabei können vor allem die NW-SE gerichteten Störungen bis in jüngste Zeit hinein aktiv gewesen sein (vgl. auch GREBE 1963, S. 91). Ein Hinweis für jüngste Bewegungen sind höchstwahrscheinlich die Erdspalten, die etwa parallel zu diesen Störungen verlaufen (vgl. Geol. Karte, Anl. 1); sie rissen in den letzten Jahren verschiedentlich im Stadtbereich auf und verursachten z.T. erhebliche Schäden (vgl. Kap. 9).

Mit Ausnahme der morphologisch beherrschenden Struktur, die den C. San Jacinto im Süden halbkreisförmig umfaßt, und die bisher als N-fallende Störung gedeutet wurde (z.B. Mapa Geol. Prelim., San Salvador 1966), sind nur lokal ringförmige Strukturen beobachtet worden (GRÖBE 1963, S. 83). Im Raum südöstlich der Hauptstadt - vom C. San Jacinto bis zum Ilopango-See - wurden nunmher mehrere solcher Ringstrukturen - bzw. Teile von ihnen - in der vorgelegten geologischen Kartierung ausgehalten. Wahrscheinlich handelt es sich um morphologisch mehr oder weniger deutlich ausgebildete Einbrüche. Im Anschluss an WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955, S. 38) deutet der Autor die Ringstrukturen als vulkano-tektonische Depressionen. Bemerkenswert ist, daß die Ringstrukturen die vorhandenen geradlinigen Störungssysteme weder versetzen noch von diesen versetzt werden.

WILLIAMS & MEYER-ABICH (1955) erklären ringförmige Kratereinbrüche am Ilopango-See (S. 15) und am Coatepeque-See (S. 38) mit unterirdischer Magmenabwanderung und anschliessendem Einbruch des "Daches". Inwieweit diese Deutung richtig ist, kann nicht beurteilt werden. Nach SCHULZ & WEYL (1960, S. 195) ist der Untergrund des südlichen El Salvador nur wenig gegliedert und mit ausgedehnten Magmenherden durchsetzt. Falls Magmenabwanderungen, wie sie WILLIAMS & MEYER-ABICH annahmen, stattgefunden haben, müssen sie bis in sehr grosse Tiefen erfolgt sein, da bei Erdbeben um San Salvador Transversalwellen auftreten: diese würden beim Vorhandensein flüssigen Magmas total reflektiert und könnten nicht registriert werden (mündl. Mitt. von Prof. G. BAIN, Mass./USA, März 1969). Die Annahme, daß eine evtl. aufgetretene Magmenabwanderung nur in sehr große Tiefen erfolgt sein kann, stützen auch die Tiefenlagen der Epizentren kontinentaler Beben: Nach SCHULZ (1962, S. 26) liegen die Bebenherde auf dem Kontinent in Tiefen von 3-15 km, Beben mit Epizentren in größeren Tiefen sind dagegen sehr selten.

5.3. Kurzer paläogeographisch-tektonischer Rückblick.

Die im Arbeitsgebiet erschlossene Schichtfolge läßt erkennen, daß zumindest ab dem jüngeren Tertiär ausnahmslos vulkanische Gesteinsserien abgelagert wurden. Die vulkanische Tätigkeit während der gesamten Zeit ist ein ständiger Wechsel von Agglomerat-, Bims-, Aschen- und Staub-Tufferuptionen sowie Lavaergüssen.

Während die Ausbruchspunkte der jüngeren Lavaergüsse zu lokalisieren sind, erfolgten die Lavaextrusionen in der Balsamkette aus verschiedenen, noch nicht bekannten Ausbruchszentren. Vereinzelt kam es im Arbeitsgebiet auch zur Bildung von Staukuppen..

Während bei der Ablagerung der mächtigen Aschen- und Tuffmassen meist die alte Morphologie erhalten blieb, wurde durch die großflächigen Lavaergüsse das alte Relief z.T. vollkommen verändert.

Beim Nachlassen der vulkanischen Tätigkeit wurden vorwiegend die Lockerprodukte sofort abgetragen und in tiefer gelegenen Gebieten erneut abgesetzt.

Die oft wechselnde Zu- und Abnahme der vulkanischen Tätigkeit ist wahrscheinlich mit tektonischen Bewegungen gekoppelt.

Der tektonische Bau wird von Bruchschollenbildung gekennzeichnet, wobei im Arbeitsgebiet ein W-E streichender Grabenzug morphologisch besonders hervortritt. Dieser Graben ist ein Teil des "Südlichen Grabensystems", das El Salvador in etwa westöstlicher Richtung durchzieht, wobei er durch jüngere Störungen mehrfach versetzt wird (vgl. Geol. Karte, Anl. 1; ferner GREBE 1963, S. 91f). Die Anlage der Störungen und damit zusammenhängend die Ausbildung des "Grabensystems" erfolgte nach GREBE (1963, Tab. 1, S. 98) bereits im Miozän.

Mit der Bruchschollenbildung (und der Einsenkung des Grabenzugs) hängt wohl auch die Entstehung des Vulkans San Salvador (Boquerón) und der Cs. de Mariona zusammen, die direkt am Graben-Nordrand in einer W-E-Linie aufgereiht liegen.

In Zeiten längerer relativer vulkanischer und auch tektonischer Ruhe kam es auf ausgedehnten Landoberflächen mit z.T. starkem Relief mehrmals zu mächtigen Bodenbildungen, die aber teilweise wieder erodiert wurden.

6. Der Gesteinuntergrund von San Salvador.

Wie die geologische Kartierung ergab, ist die Stadt San Salvador überwiegend auf dem gleichen Untergrund erbaut worden: Bisher breitete sich die Stadt hauptsächlich auf der Verebnungsfläche zwischen dem Vulkan Boquerón im NW, dem Steilabfall der Balsamkette im Süden und dem C. San Jacinto im E aus; die nördliche Stadtbegrenzung bilden die Cs. de Mariona. Die Verebnungsfläche wird überwiegend von mächtigen braunen und weißen Tufflagen eingenommen. Im südwestlichen Teil der Stadt bilden Boquerón-Laven etwa an der Basis der Braunen Tuffe ein relativ stabiles Unterlager in geringer Tiefe. Die Ergebnisse der Kartierung, die anhand der Auswertung von mehr als 50 Bohrungen bestätigt werden konnten, lassen erkennen, daß sich während des Pleistozäns vom Boquerón zwei bis zu 10 m mächtige Lavaströme in den Bereich der heutigen Hauptstadt ergossen (vgl. Abb. 3).

Der südliche Lavastrom, der wesentlich breiter als der nördliche ist, floß südlich des Stadtzentrums bis etwa an den östlichen heutigen Stadtrand. Der Lavastrom liegt etwa 5-9 m unter der heutigen Erdoberfläche; die Breite des Lavastroms nimmt von 2-3 km am Fuß des Boquerón auf 500 m in der Col. La Chacra ab. Das Oberflächenrelief der Lava ist oft sehr unregelmässig wie mehrere Steilstufen im Stadtgebiet (Col. Escalón, Col. San Benito, Col. La Chacra) und Aufschlüsse in verschiedenen Quebradas erkennen lassen.

Der nördliche Lavastrom liegt im nördlichen Stadtbereich in einer Tiefe von 15-20 m unter der heutigen Oberfläche; er ist nach Osten bis in den Río Urbina zu verfolgen; soweit die Aufschlüsse und Bohrungen erkennen lassen, nimmt dabei seine Breite von max. 500 m am Boquerón auf etwa 250 m an seinem Ostende ab.

Beide Lavaströme sind seitlich scharf begrenzt, wie Aufschlüsse und Bohrprofile direkt am Rand der Lavaströme zeigen: In der Col. Escalón wurden in der Quda. La Mascota Tuffmächtigkeiten von mehr als 20 m festgestellt,

während am Paseo Gral. Escalón die Lava noch zutage tritt und bei Neubauten oftmals angeschnitten wird (vgl. Anlage 1; Geol. Karte). Bohrungen etwas südlich des Stadtzentrums durchörterten über 20 m mächtige Tufflagen, während direkt daneben in ca. 100 m Abstand bereits in 9 m Tiefe Lava angefahren wurde.

Mächtigkeitsangaben für die Lavaströme in ihrer gesamten Länge sind nicht möglich, da die Bohrungen beim Erreichen der Lava grundsätzlich eingestellt wurden; die Bäche haben sich ebenfalls meist nur bis auf die Lava-Oberfläche eingeschnitten. An drei Stellen jedoch ist der südliche Lavastrom wahrscheinlich in seiner gesamten Mächtigkeit erschlossen: südl. Friedhof La Bermeja im Arenal Montserrat (ca. 5 m mächtig), Col. La Chacra (max. 5 m), aufgelassener Steinbruch Ecke 9. Ca. Pte./85. Ave. Nte. (ca. 8 m).

Die Mächtigkeiten der Tuffserien (Tobas color cafe + Tierra blanca) nehmen nach NE und E zu; eine bei der Ortschaft Ilopango niedergebrachte Wasserbohrung (Endteufe 210 m) durchörterte nur Tuffe.

7. Hinweise auf die Beziehungen zwischen Untergrund und Erdbebenwirkungen.

In Erdbebengebieten ist es besonders wichtig, vor der Errichtung von Bauwerken die Beschaffenheit des Untergrundes genauer zu erforschen und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen (SIEBERG 1933, S. 27 ff.).

Auf Abb. 4 sind die Areale schraffiert dargestellt, in denen das Erdbeben vom 3. 5. 1965 mit einer Intensität von mehr als 6 der Mercalli-Sieberg-Skala die größten Zerstörungen verursachte; die Umrisse der Stadt entsprechen jedoch nicht der tatsächlichen damaligen Bebauungsgrenze. In den weißen Flächen lag die Bebenstärke unter 6; es traten hier kaum Gebäudeschäden auf. In diesen weißen Arealen im Stadtbereich liegen die in Abb. 3

dargestellten Lavaströme; es ist möglich, daß sie zur Stabilisierung des Untergrundes beigetragen haben.

Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß im SW außerdem die Altvulkanische Serie durch ihre geringere Tiefenlage als stabilisierender Faktor wirkte. Zusammenhänge der Bebenschäden mit den auskartierten Störungssystemen konnten bisher nicht festgestellt werden.

Die größten Bebenschäden entstanden 1965 in einer etwa W-E streischenden Zone, vom nordöstlichen Stadtbereich über Soyapango zum Flugplatz hin. In diesem Gebiet steigen die Tuffmächtigkeiten rasch auf über 30 m an (vgl. Abb. 2 u. 3). Außerdem sind die Tuffserien grossenteils umgelagert und führen in verschiedenen Horizonten Grundwasser, das entscheidenden Einfluß auf die Standfestigkeit des Baugrundes haben kann. Die Standfestigkeit dichter, fest gepackter Staub-, Aschen- und Lapillituffe sinkt mit steigendem Wassergehalt beträchtlich; sie kann in einen wassergesättigten plastischen Zustand übergehen: Die Untersuchungen nach dem Erdbeben vom 3. 5. 1965 ergaben (DENGO et. al. 1965, S. 5 u. S. 8; LOMNITZ & SCHULZ 1966, S. 571), daß die größten Bebenschäden in Gebieten großer Tuffmächtigkeiten auftraten, die wenig konsolidiert waren, bis in große Tiefen umgelagert sind und reichlich Grundwasser führen.

Der C. San Jacinto, die Cs. de Mariona und die Balsamkette sind Gebiete geringerer Bebenintensitäten. Der Vulkan Boquerón ist als noch tätiger Vulkan anzusehen; eine weitere Bebauung seiner Flanken ist daher trotz der Resistenz gegen seismische Erschütterungen sehr riskant (Ausbruch des Boquerón 1917!!)

Einen zusammenfassenden Überblick über den Baugrund San Salvaodrs gibt Abb. 5, auf der, nach Abdeckung von ca. 5 m Tuffen, Aschen und Verwitterungsschutt, Gebiete mit Festgesteinen von Gebieten bestehend aus Lockergesteinen unterschieden wurden.

Um über die ständige seismische Tätigkeit im Bereich der Hauptstadt bessere Vergleichsdaten als bisher zu erhalten, sollten die vorhandenen Seismoskope (25, davon 16 in Betrieb) in zwei Profilen aufgestellt werden, die annähernd senkrecht zu dem NW-SE streichenden Störungssystem verlaufen sollten. Dabei sollte darauf geachtet werden, daß ein Teil der Seismoskope auf, bzw. möglichst nahe an Störungen aufgestellt wird, der andere Teil jedoch möglichst weit entfernt von Störungen, d.h. im Zentralteil eines Schollenstreifens. Da bei der Aufstellung der Geräte darauf geachtet werden muß, daß sie a) in festen Häusern, b) bei vertrauenswürdigen Personen untergebracht werden, kann es z.T. erhebliche Abweichungen von einer vorgeschlagenen Profillinie geben. Eine Neuplazierung der Seismoskope kann jedoch erst nach eingehender Rücksprache mit der seismologischen Abteilung des CEIG vorgeschlagen werden.

8. Hydrogeologische Hinweise.

Die Quellen mit den stärksten Schüttungen, die auch das ganze Jahr über ziemlich konstant bleiben, wurden in den pliozänen Serien (Balsamkette) an der Basis der hochdurchlässigen Lavaströme über den wenig permeablen Schichten der Unteren und Mittleren Agglomerattuffe beobachtet (vgl. SEEGER 1961, S. 25). Auch über den verschiedenen fossilen Braunlehm- und Braunerdeböden innerhalb der pleistozänen, z.T. stark verlehmten Braunen Tuffe finden sich zahlreiche Quellaustritte, deren Schüttungsmengen jedoch, abhängig von den Jahreszeiten, teilweise erheblich schwanken: In fast allen Quebradas im Bereich der Hauptstadt wurden Quellaustritte auf den verschiedenen Bodenhorizonten in den Tobas color cafe beobachtet, die z.T. beträchtliche Schüttungen hatten. Besonders stark waren die Schüttungen in mehreren Horizonten der Grauen Serie südlich des Flugplatzes. Das Wasser ist fast immer klar, geschmack- und geruchlos.

Der höchste Grundwasserstauer in den Braunen Tuffen ist der hangende, die Serie abschließende Braunlehm, über dem die Tierra blanca folgt. Je nach der Wasserdurchlässigkeit der Tierra blanca, die u.a. davon abhängig ist, ob die hellen Tuffe aus Glut- und Staubwolken unsortiert abgesetzt wurden

bzw. anschliessend fluviatil umgelagert wurden, kann auf dem oben genannten Bodenhorizont z.T. sehr reichlich Wasser austreten (z.B. Graben westl. unterhalb Col. Morazán).

Die Permeabilität der umgelagerten Tierra blanca ist vom Sortierungsgrad des Materials abhängig (vgl. WIESEMANN & BOSSE 1968). Bei den unsortiert abgesetzten Tuffen hängt die Permeabilität von der Packungsdichte und von der Korngröße ab: Sehr dicht gepackte und feinkörnige mächtige Tuffolgen sind wenig permeabel.

Ein Großteil der beobachteten Quellen dient vor allem den Bewohnern wilder Siedlungen im Stadtbereich zur Deckung ihres Wasserbedarfs. Wenn die Erosionsbasis nicht tief genug liegt, werden die Grundwasserhorizonte durch Brunnen erschlossen, die bis mehr als 50 m Tiefe gegraben werden (vgl. Geol. Karte).

Von grosser Bedeutung für die zukünftige Wasserversorgung San Salvadors ist, daß sowohl der Abstrom des Grundwassers (HOELTING 1961, S. 49 f.), aus dem der Wasserbedarf der Hauptstadt gedeckt wird, als auch die Oberflächen-Entwässerung, die zur Beseitigung der Abwässer dient, nach E und N gerichtet ist.

Während die Bäche und Flüsse vor Erreichen des südlichen und westlichen Stadtrandes noch klares und sauberes Wasser führen, sind sie nach Verlassen der Stadt in nördlicher und östlicher Richtung durch Abwässer so verschmutzt, daß eine weitere Verwendung des Wassers für menschliche Bedürfnisse ohne Reinigung unmöglich geworden ist. Die Abwässer im Río Urbina und Río Acelhuate sind außerdem so agressiv, daß sie an den Metallteilen der Staustufen nördlich der Stadt durch Korrosion erhebliche Materialschäden verursachen. Analysen der Abwässer wurden bisher nicht durchgeführt, so daß über ihren Chemismus noch keine Angaben vorliegen.

Um vor allem die Grundwasserhorizonte nördlich der Hauptstadt vor Verschmutzung zu bewahren und damit die zukünf-

tige Wasserversorgung San Salvadors nicht zu gefährden, müßten folgende Vorkehrungen möglichst bald getroffen werden:

1) Vervollständigung des Kanalisationsnetzes, vor allem aber Kanalisierung der Bäche und Flüsse im Stadtbereich, um ein Eindringen der Abwässer in den Untergrund zu verhindern.

2) Anlage von Kläranlagen genügend großen Fassungsvermögens, um die Abwässer vor ihrem Einleiten in das natürliche Entwässerungsnetz zu reinigen.

3) Auflagen für Tankstellen, Reparaturwerkstätten und die Industrie, ihre z.T. hochagressiven Abwässer erst nach einer Vorklärung in das allgemeine Kanalisationssystem bzw. in das natürliche Entwässerungsnetz einzuleiten.

9. Schäden im Stadtbereich durch Oberflächen- und Grundwasserabstrom.

Besonders anfällig für die Erosionswirkung des Oberflächenwassers sind die mächtigen Tuffserien, vor allem dann, wenn der Oberflächenbewuchs und damit meist auch die Bodendecke beseitigt worden ist. Südlich des Flugplatzes schnitten sich in die wohl ehemals unzertalte Verebnungfläche bis zu 40 m tiefe Erosionsschluchten ein. Im heutigen Stadtbereich sind besonders solche Gebiete gefährdet, in denen mächtige Serien der Tierra blanca künstlich angeschnitten und für Bebauungszwecke großräumig umgelagert werden bzw. würden (vgl. Abb. 6). Wenn Sicherungen an den oft künstlich übersteilten, unbewachsenen Hängen und Böschungen fehlen, greift die Erosion sofort an und kann innerhalb einer einzigen Regenzeit die für Siedlungen angelegten Plateaus zerschneiden (Col. Morazán, Col. Jiltepeque, Col. Tepecayc, Col. Campestre).

Katastrophale Regenfälle lösten im Stadtgebiet mehrfach lange und schmale Flächeneinbrüche aus: In Gebieten mächtiger Tuffolgen, die vorher tektonisch beansprucht und durch innere Erosionsvorgänge in ihrer Standfestigkeit

bereits beeinträchtigt waren, wurden nach und während umfangreicher Erdbewegungen nach schweren Regenfällen Teile dieser Tuffolgen in einen labilen Gleichgewichtszustand versetzt (Krankenhaus Misericordia 1957, Col. Sta. Lucía 1965, Col. Las Brisas 1968; vgl. WIESEMANN & BOSSE 1968). Die entscheidenden Faktoren für die Änderung des Gleichgewichtszustandes sind a) erhöhte innere Materialerosion, verursacht durch stark erhöhten Grundwasserabstrom, und b) die zusätzliche Auflast des Regenwassers infolge mangelnder Oberflächendrainage.

Um bestehende Siedlungen und die Anlage neuer Siedlungen auf mächtigen Tuffolgen nicht zu gefährden, müssen Vorkehrungen gegen die Einwirkung der Oberflächen-Erosion getroffen werden: Ausreichende Oberflächenwasser-Drainage und sofortige Bepflanzung der übersteilen Böschungen. Außerdem sollten die bisher üblichen Planierungs- und Aufschüttungsarbeiten ganz erheblich eingeschränkt werden, falls nicht vor dem Zuschütten tiefer Quebradas ein voll ausreichendes unterirdisches Drainagesystem angelegt wird. Vor der Bebauung neu planierter Gebiete sollte der Untergrund, der meist aus künstlich umgelagerten Tuffen besteht, ausreichend verdichtet und verfestigt werden.

San Salvador, 1.September 1969.

DEUTSCHE GEOLOGISCHE MISSION
IN EL SALVADOR

Berichterstatter:

gez. Unterschrift
(Dr. Heinz-Richard Bosse)
-stellv. Leiter der DGMEC-

gez. Unterschrift
(Dr. Michael Schmidt-Thomé)

10. Bibliografía; Literaturverzeichnis

BOSSE, H.-R. : Estudios para establecer nuevas canteras de gran escala en los alrededores de San Salvador, El Salvador.- Reporte de la MGA en El Salvador, (spanisch u. deutsch) 49 Págs., San Salvador 1969.

DENGO, G., FIEDLER, G., KNUDSEN, C.F., LOMNITZ, C. & ROSENBLUTH, E. : Inf. Prelim. de la Misión de Reconocimiento Sismológico; 26 Págs., NS/0665, 131. AVS, UNESCO, Paris 1965.

DURR, F. & KLINGE, H. : Die Verbreitung der jüngsten Bims-Aschen um San Salvador, El Salvador, Zentralamerika.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 110, S. 393-396, Stuttgart 1960.

DURR, F. & KLINGE, H. : Beiträge zur Stratigraphie und zur Paläopedologie des mittleren El Salvadors.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1960, S. 111-132, Stuttgart 1960.

GRIBBE, W.-H. : Zur Geologie der altvulkanischen Gebirge in El Salvador (Mittelamerika).- Beih. geol. Jb. 50, 116 S., Hannover 1963.

HOELTING, B. : El agua subterránea en los alrededores de San Salvador. Anales Serv. Geol. Nac. El Salvador, Bol. 4, Pág. 41-62, San Salvador 1961.

LOMNITZ, C. & SCHULZ, R. : The San Salvador Erathquake of May 3, 1965.- Bull. Seismolog. Soc. Amer. 56, pp 561-575; Berkeley 1966.

MEYER-ABICH, H. : Terremoto de Jucuapa en El Salvador (América Central) 6-7 de Mayo de 1951.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient. 1, No.2, Pág. 1-24, San Salvador 1952.

MÜCKENHAUSEN, E. & MÜLLER, E.H. : Geologisch-bodenkundliche Kartierung des Stadtkreises Bottrop i.W. für Zwecke der Stadtplanung.- Geol. Jb. 66, S. 179-202, Hannover 1951.

SCHULZ, R. : Mapa sísmico preliminar de la República de El Salvador.- Bol. Sismol. Serv. Geol. Nac. 7, Pág. 26, San Salvador 1962.

SCHULZ, R. & WEYL, R. : Erdbeben und Krustenaufbau im nördlichen Mittelamerika.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1960, S. 193-201, Stuttgart 1960.

SEDGER, D. : Influencia de la geología regional en la hidrología de El Salvador.- Anales Serv. Geol. Nac. El Salvador, Bol. 4, Pág. 5-40, San Salvador 1961.

SIEBERG, A. : Erdbebenforschung und ihre Verwertung für Technik, Bergbau und Geologie, 144 S., Gustav Fischer-Verlag, Jena 1933.

WEYL, R. : Beiträge zur Geologie El Salvadors. IV. Die Bimsaschen in der Umgebung San Salvadors.- N. Jb. Geol. Paläont.,,Mh. 1954, S. 49-70, Stuttgart 1954.

" " : Beiträge zur Geologie El Salvadors. V. Die Schmelztuffe der Balsamkette.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 99, S. 1-32, Stuttgart 1954.

" " : Beiträge zur Geologie El Salvadors. VI. Die Laven der jungen Vulkane.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh. 101, S. 12-38, Stuttgart 1955.

" " : Die Geologie Mittelamerikas, 226 S., Gebr. Borntträger-Verlag, Berlin 1961.

WIESEMANN, G. & BOSSE, H.-R. : Informe sobre el origen de la grieta en la Colonia Las Brisas y sus alrededores, al Este de San Salvador, El Salvador (spanisch u. deutsch), 69 Págs. San Salvador 1968.

WILLIAMS, H. : Diques de terremotos cerca de San Salvador.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient., 1, S. 9, San Salvador 1953.

WILLIAMS, H. & MEYER-ABICH, H. : El origen del Lago de Ilopango.- Com. Inst. Trop. Invest. Cient., 2, No. 1, Pág. 1-8, San Salvador 1953.

" " : Volcanism in the southern part of El Salvador.- Univ. Calif. Publ. Geol. Sci., 32, pp. 1-54, Berkeley- Los Angeles 1955.