REPUBBLICA ITALIANA
MINISTERO DEGLI AFFARI ESTERI
Direzione Generale
per la Cooperazione allo Sviluppo

SAN SALVADOR
PROGRAMMA DI RICOSTRUZIONE

INFORME VULCANOLOGICO

+ Apendices I-II-III-IV

Geotermica
Italiana srl

consorzio salvador e.
ITALTEKNA ITALCONSULT

1.	**INTRODUCCION**
2.	**SITUACION GEOLOGICO ESTRUCTURAL**
3.	**EL SISTEMA VOLCANICO DEL VOLCAN SAN SALVADOR**
3.1	Estructura volcanica y lineamientos tectonicos asociados.
3.2	Estratigrafia e historia eruptiva
3.2.1	El antiguo edificio del San Salvador
3.2.2	El Boqueron
3.2.3	Erupciones historicas.
4.	**EL VOLCAN DE SAN JACINTO**
5.	**LA CALDERA DEL ILOPANGO**
5.1	Estructura volcanica
5.2	Historia eruptiva
5.3	Erupciones historicas: Islas Quemadas
6.	**PETROGRAFIA Y PETROLOGIA**
6.1	Petrografia
6.2	Petrologia
6.2.1	San Salvador-Boqueron-Pequenos centros volcanicos
6.2.2	Volcan de San Jacinto
6.2.3	Caldera del Ilopango
7.	**EVALUACION DEL RIESGO VOLCANICO**
7.1	Riesgos relacionados con la actividad del complejo volcanico San Salvador
7.1.1	Peligrosidad de los flujos lavicos
7.1.2	Peligrosidad de los fenomenos piroclasticos
7.1.2.1	Peligrosidad de la caida de material piroclastico
7.1.2.2	Peligrosidad de los "surges" piroclasticos
7.1.2.3	Peligrosidad de los flujos de lodo
7.2	Riesgos relacionados con la actividad del San Jacinto
7.3	Riesgos relacionados con la actividad de la caldera del Ilopango
7.4	Peligrosidad de erupcion del area metropolitana de San Salvador

8.	**EFECTOS DE LOS FENOMENOS ERUPTIVOS MAS PROBABLES Y MEDIDAS DE PROTECCION CIVIL RELACIONADAS**
8.1	Flujos de lava
8.2	Caida de ceniza
8.3	"Surges" piroclasticos
8.4	Flujos de lodo
8.5	Erupciones cataclismicas
9.	**PROGRAMA DE INVESTIGACIONES VOLCANOLOGICAS COMPLEMENTARIAS Y DE PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA INSTRUMENTAL**
9.1	Investigaciones volcanologicas complementarias
9.2	Sistema de vigilancia instrumental
9.2.1	Vigilancia sismica
9.2.2	Control de las deformaciones del suelo
9.2.3	Elaboraciones de datos
9.2.4	Vigilancia geoquimica
9.2.4.1	Estudio de la geoquimica de los fluidos circulantes en los aparatos y en su inmediatas cercanias
10.	**BIBLIOGRAFIA**
APENDICE I	Anexo fotografico
APENDICE II	Lista de las muestras
APENDICE III	Descripcion petrografica de algunas muestras representativas
APENDICE IV	Analisis quimicos y normas CIPW (Fe_2O_3 = 15% FeOtot)

LISTADO DE LAS FIGURAS

Fig. 2.1 Esquema volcano - tectonico de El Salvador.

Fig. 2.2 Secciones esquematicas indicantes las fases sucesivas de formacion de la fosa mediana

Fig. 3.1 Complejo volcanico San Salvador. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

Fig. 3.2 Evolucion estructural del complejo volcanico San Salvador. Seccion esquematica interpretativa E-W.
A - Antiguo edificio del San Salvador
B - Formacion de la caldera
C - Formacion del Boqueron.

Fig. 3.3 Sistemas de fracturacion principales que interesan el complejo volcanico San Salvador y relativos centros eruptivos.

Fig. 3.4 Ubicacion y espesores en centimetros de los afloramientos de Talpetate. Es de notar como el area de distribucion interesa solo marginalmente al area metropolitana de San Salvador (Modificada de Hart, Steen Mc Intyre 1983).

Fig. 3.5 Columna estratigrafica medida a una altura de 1505 m sobre la desviacion que llega al "mirador" del crater del Boqueron.

Fig. 3.6 A: Danos causados en San Salvador por los terremotos que precedieron la erupcion de 1917.
B: Via ferrea Quetzaltapeque-Ciudad Arce obstruida por el flujo lavico de 1917.

Fig. 3.7 A: Crateres y "hornitos" laterales de Los Chintos (erupcion 1917).
B: Crater "El Tronador"; se puede notar la fractura que lo interesa (erupcion 1917).

Fig. 3.8 A: Lago existente en el crater del Boqueron ante de la erupcion de 1917.
B: Lago en el crater en ebullicion durante la primera fase de la erupcion de 1917.
C: Fases finales (fin de Junio de 1917) de la evaporacion del lago con aparicion de un conito (Boqueroncito).

Fig. 3.9 A,B: Distintas fases de actividad explosiva del "Boqueroncito" hasta Nov. 1917.
C: El "Boqueroncito" despues de la erupcion.

Fig. 5.1 Caldera Ilopango. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

Fig. 5.2 Lago de Ilopango. Carta de profundidades (profundidades relacionadas a nivel de agua = 438 m sobre nivel del mar) M. Meyer-Abich, Lotungen (1952).

Fig. 5.3 Caldera de Ilopango. Estructuras volcanicas y sistemas de fallas.

Fig. 5.4 Facies deposicionales de la Unidad Tierra Blanca Joven (W.J.E. Hart, V. Steen-McIntyre 1983, modificada)

Fig. 5.5 Columnas estratigraficas (Distrito Sanitario A3)

Fig. 6.1 Diagramas clasificativos K2O-SiO2 y K2O/Na2O-SiO2

Fig. 6.2 Diagrama Na2O + K2O - SiO2 (Irvine & Baragar, 1971).
A = campo alcalino; B = campo subalcalino.

Fig. 6.3 Diagramas de variacion.

Fig. 6.4 Diagrama FeOtot/MgO - SiO2

Fig. 6.5 Diagrama AFM.

Fig. 7.1 Complejo vulcanico San Salvador. Mapa de peligrosidad relativo a la abertura de fracturas e invasion de lavas. Los numeros del menor al mayor, indican, niveles de peligrosidad en aumento.

Fig. 7.2a,bBoqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos por una columna de 5 km de altura y masa total de 4 x 10^{10} kg con viento del este a 1.5 m/seg. Los valores se expresan en kg/m2. El punto indica la posicion del crater de emision.

Fig. 7.3a,bBoqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos. Datos como en la fig. 7.2 pero con velocidad del viento de 5 m/seg.

Fig. 7.4 Boqueron. Modelo del "cono de energia" para la peligrosidad de "surges" piroclasticos en el Distrito 7.
H = altura de la columna eruptiva y del "cono de energia".
α = pendiente del "cono de energia".
(Figura fuera del texto).

Fig. 7.5 Boqueron.Modelo del "cono de energia" para la peligrosidad de "surges" piroclasticos en la ciudad de San Salvador.
H = altura de la columna eruptiva y del "cono de energia".
α = pendiente del "cono de energia".
(Figura fuera del texto).

Fig. 7.6 Mapas de peligrosidad de los "lahares". Las lineas separadas por puntos indican los rios. Las lineas continuas indican las vertientes y la linea a trazos el limite aproximado de la ciudad de San Salvador.

3
↑

Fig. 7.7 Mapa de peligrosidad de erupcion (preliminar) para el area metropolitana de San Salvador.

Fig. 7.8 Secciones esquematicas de las distintas fenomenologias eruptivas.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido efectuado en el ambito del programa de reconstruccion promovido del "Ministero degli Affari Esteri" de la Republica Italiana a consecuencia del terremoto del 10/10/86.
El estudio geologico y vulcanologico, con el fin de evaluar el riesgo sismico y volcanico ha conducido a elaborar tres informes, con los correspondientes mapas, que en el conjunto definen la situacion geologica, vulcanologica y estructural del area de San Salvador y de las areas objeto del programa de la intervencion italiana: Distrito Sanitario A3 (S.Salvador) y Distrito 7 Italia.
Los tres informes elaborados son:
- informe geologico: en el informe esta reportada la estratigrafia de las areas del Distrito Sanitario A3 y del Distrito 7 poniendo particular atencion a las situaciones volcanicas locales (campo volcanico Apopa-Tonacatepeque)
- informe neotectonico: en el informe estan reportados los resultados del analisis de imagines de satelite, del estudio de las aerofotos y de las investigaciones de campo con el objeto de individuar fallas, lineas de fractura y elementos morfologicos relacionados a la actividad tectonica que puede referirse a los ultimos 10.000 annos.
- informe vulcanologico; en el informe esta reportado el estudio de la actividad de los tres volcanes que se encuentran en el area de San Salvador (San Salvador, Ilopango, San Jacinto) poniendo particular atencion a sus historia eruptiva, al tipo y al quimismo de sus productos emitidos y a las areas afectadas por sus depositos. Esto informe comprende tambien una primera evaluacion de peligrosidad y una descripcion de los escenarios mas probables de las futuras erupciones.

El objetivo del estudio vulcanologico, objeto de esto informe, ha sido la profundizacion en el conocimiento sobre la historia eruptiva de los tres volcanes (San Salvador, Ilopango y San Jacinto) situados en los alrededores de la

ciudad de San Salvador, para efectuar una evaluacion de su probable comportamiento futuro.
El caracter de urgencia de este trabajo no ha permitido una indagacion completa de los tres sistemas volcanicos, pero ha dado una primera evaluacion de su peligrosidad y ha permitido delinear los escenarios mas probables de las futuras erupciones los cuales deben hacer referencia en la predisposicion de planes para la proteccion civil. Ha estado ademas definido un programa de investigacion complementario y de sistemas de vigilancia de los tres volcanes a desarrollar en un estudio final de riesgo volcanico referido a toda el area metropolitana.

El estudio se ha dividido en cuatro partes principales:
1) Descripcion de los volcanes, de su estratigrafia e historia eruptiva y de su evolucion volcano-tectonica.
Esta parte ha comprendido:
- una esmerada recoleccion bibliografica ya sea por lo que se refiere a los datos vulcanologicos existentes que por la reconstruccion de las erupciones historicas.
- un estudio de fotointerpretacion para identificar las estructuras volcanicas e individualizar las principales lineas de debilidad tectonica que representan las zonas donde mas probablemente podran formarse centros de emision.
- un trabajo de campo: el que ha permitido controlar la fotointerpretacion, estudiar la secuencia de productos piroclasticos y definir su distribucion y caracteristicas (erupciones freaticas, freatomagmaticas y magmaticas).
Durante este trabajo de campo, se han recolectado muestras de rocas para el estudio petrologico y muestras para dataciones K/Ar y C14 para efectuar la reconstruccion de la historia eruptiva del volcan.

Un comentario especial merece el problema de las dataciones. Se ha intentado analizar 5 paleosuelos (P1, Pz2, Pz3, Pz4, P5) con el metodo del C14 (en ausencia de restos de carbon en las secuencias estudiadas) y 5 rocas con el metodo K/Ar (Tab.1).

El metodo del C14 no ha dato ningun resultado debido a la escacez de materia organica contenida en los paleosuelos; por lo que respecta al K/Ar se han tenido problemas ya sea debidos a la edad demasiado joven de la roca (SS13; mas alla del limite minimo de resolucion del metodo) o por problemas de ausencia de potasio o exceso de Ar; (Es. muestras SS16).
Pâra una mejor resolucion de los problemas de datacion, seria necesaria una indagine ad "hoc" que consiste en el muestreo sistematico de todas las series aflorantes y en la ejecucion de decenas de dataciones K/Ar en modo de obtener una evaluacion estadistica de la edad; pero este asunto sale de los objetivos urgentes del presente trabajo y en este caso se ha basado esencialmente sobre criterios cronostratigraficos.
Esta parte inicial del trabajo, junto al informe, a llevado a elaborar un mapa vulcanologico con escala 1:50.000 relativo al area de S.Salvador.
2) Reconstruccion de la evolucion magmatica.
Este objetivo ha sido desarrollado mediante:
- un estudio petrografico sobre algunas muestras representativas de los varios volcanes.
- analisis quimico sobre algunas muestras por integrar a las ya existentes en la literatura.
El estudio petrologico, tambien necesariamente limitado por obvios motivos de urgencia, sin embargo ha delineado el tipo de evolucion magmatica de los tres principales aparatos volcanicos.
3) Evaluacion de los eventos eruptivos mas probables.
En este capitulo se han tomado en consideracion las caracteristicas vulcano-tectonicas y morfo-estructurales de los varios aparatos, la distribucion de los productos volcanicos de las erupciones anteriores, su historia eruptiva con particular atencion a la frecuencia de los varios tipos de erupcion, los factores climaticos, (vientos dominantes); todas esta informacion se ha utilizado para preparar los mapas que indican, en terminos de probabilidad relativa, las areas expuestas al peligro de erupciones futuras con particular enfasis en S. Salvador y el Distrito 7.

4) Sugerencias y recomendaciones para las medidas de proteccion civil y definicion de los criterios y de la modalidad ejecutiva de los por sistemas de monitoreo para un estudio final de riesgo volcanico en toda el area metropolitana.

En este capitulo se describen los escenarios mas probables de erupciones futuras con indicaciones de los fenomenos previstos y de su consecuencia pratica y se han establecido sugerencias para efectuar una futura vigilancia volcanica.

Estas indicaciones son fundamentales para que los estudios vulcanologicos no queden solo un ejercicio cientifico pero sirvan para la realizacion de los relativos programas de intervencion para proteccion civil.

PROCEDENCIA	MUESTRA	TIPO DI ROCA	% K	Ar ^40 rad mol/glO ^-12	% rad	Edad MA	
CERRO SAN JACINTO	SS11	LAVA	0,24	0,319	3,1	0,77 +- 0,1	P
	SS12	LAVA	0,78	1,28	1,6	0,94 +- 0,4	P
				1,57	5,2	1,16 +- 0,4	P
BOQUERON	SS13	LAVA	1,09	0,161	1,9	< 0,1	RT
				0,226	2	< 0,1	RT
DISTRITO 7 (Troncal del Norte)	SA15	LAVA	0,74	1,88	5,5	1,47 +- 0,12	RT
				1,92	8,1	1,49 +- 0,12	RT
BOQUERON (Colada en San Salvador)	SS16	LAVA	0,21	4,13	19,7	11,3 +- 0,5	P
				4,17	34	11,4 +- 0,5	P

Tab. 1 Dataciones K/Ar efectuadas por la Geotermica Italiana
P = Datacion efectuada sobre plagioclasa
RT = Datacion efectuada sobre roca total

2. SITUACION GEOLOGICO ESTRUCTURAL

El area de estudio esta situada a lo largo del eje de la cadena volcanica Centroamericana, siendo el resultado de la subduccion en direccion NE, de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe. La cadena volcanica se extiende desde Guatemala hasta Costa Rica con una longitud de 1.100 km, estando El Salvador situado aproximadamente en la parte central.

Una depresion estructural, llamada por Williams y Meyer-Abich (1955) "fosa mediana" y por Dengo (1968) "depresion de Nicaragua", coincide con gran parte del frente volcanico, especialmente en Nicaragua y en El Salvador.

Esta depresion se formo probablemente despues de la fase eruptiva ignimbritica que ha caracterizado el episodio final del vulcanismo del Terciario superior. Durante la fase ignimbritica se depositaron grandes cubiertas piroclasticas emitidas ya sea a lo largo de fracturas que en minor parte desde aparatos centrales y la deposicion de espesos depositos de lahares.

En al mapa geologico (1:100.000) de El Salvador los productos de esta fase son mapeados como formacion Balsamo aflorando en corispondencia de la omonima Cordillera costiera. La emision de grandes volumes de ignimbritas en un regimen de distension ha dado origen al fallamiento con consecuente hundimiento y formacion de la fosa mediana.

Despues de la formacion de la fosa (Plioceno- Pleistoceno) ha tenido lugar de nuevo la emision de cubiertas piroclasticas desde centros ubicados en su interior, y formacion de domos y aparatos volcanicos centrales. Los productos de esta fase son indicados en el mapa geologico (1:100.000) de El Salvador como formacion Cuscatlan. En esta formacion estan comprendidos tambien los depositos lacustres y fluviales (que se originaron de la erosion del material de la fosa) que se depositaron en cuencas a direccion O-E; afloran en particular en la cuenca del rio Lempa.

Los terrenos mas recientes al interior de la fosa indicados en el mapa geologico (1:100.000) de El Salvador como formacion San Salvador son atribuibles a la actividad de los

aparatos activos, fig. 2.1 (Santa Ana, Izalco, San Salvador etc.) y son caracterizados por lavas (basaltos, andesitas y dacitas) y piroclasticos ya sea acidos que basicos.
En la fig. 2.2 estan reportadas tres secciones esquematicas que muestran las fases sucesivas de formacion de la fosa mediana.
Mas informacion por lo referente a la estructura general del area ha sido proporcionada por el estudio gravimetro de CEL de 1986.
Tal estudio ejecutado a lo largo de las lineas Acajutla-Anguiatu y La Libertad-El Poy perpendiculares a la fosa mediana, identifica en el basamento estructuras "horst y graben" de gran tamano.
Los eventos que generaron tales estructuras han sido discutidos por Dengo (1968), y pueden ser esquematizados en dos fases principales:
a) Eventos post-orogenicos relacionados a la evolucion tectonica del geosinclinal Paleozoico, durante los cuales hubo un levantamiento general de la region con fallamiento, erosion y deposicion de sedimentos continentales a lo largo de depresiones orientadas E-O.
b) Eventos post-orogenicos de la evolucion tectonica del geosinclinal Mesozoico, durante los cuales hubo un levantamiento y fallamiento regional de tipo normal, con la formacion de graben. En la fase inicial hubo sedimentacion en ambiente marino mientras sucesivamente occurrió la acumulacion de sedimentos continentales controlada por la geometria de los bloques dislocados. Es probable, que los bloques levantados formaron barreras de rumbo aproximado E-O y estructuras N-S limitando en ciertas areas las invasiones marinas. El marco paleogeografico asumido entonces, es el de islas rodeadas por areas marinas, con una sedimentación controlada por las estructuras preexistentes. Se desconoce sin embargo, el rumbo que tuvieron tales invasiones y la extensión de esas areas continentales.
Por lo que se refiere a las secciones gravimetricas debe notarse que entre Acajutla y Los Naranjos (Cordillera del Balsamo) hay una fuerte anomalia gravimetrica que sugiere una gran estructura. Esta no está en su totalidad reflejada

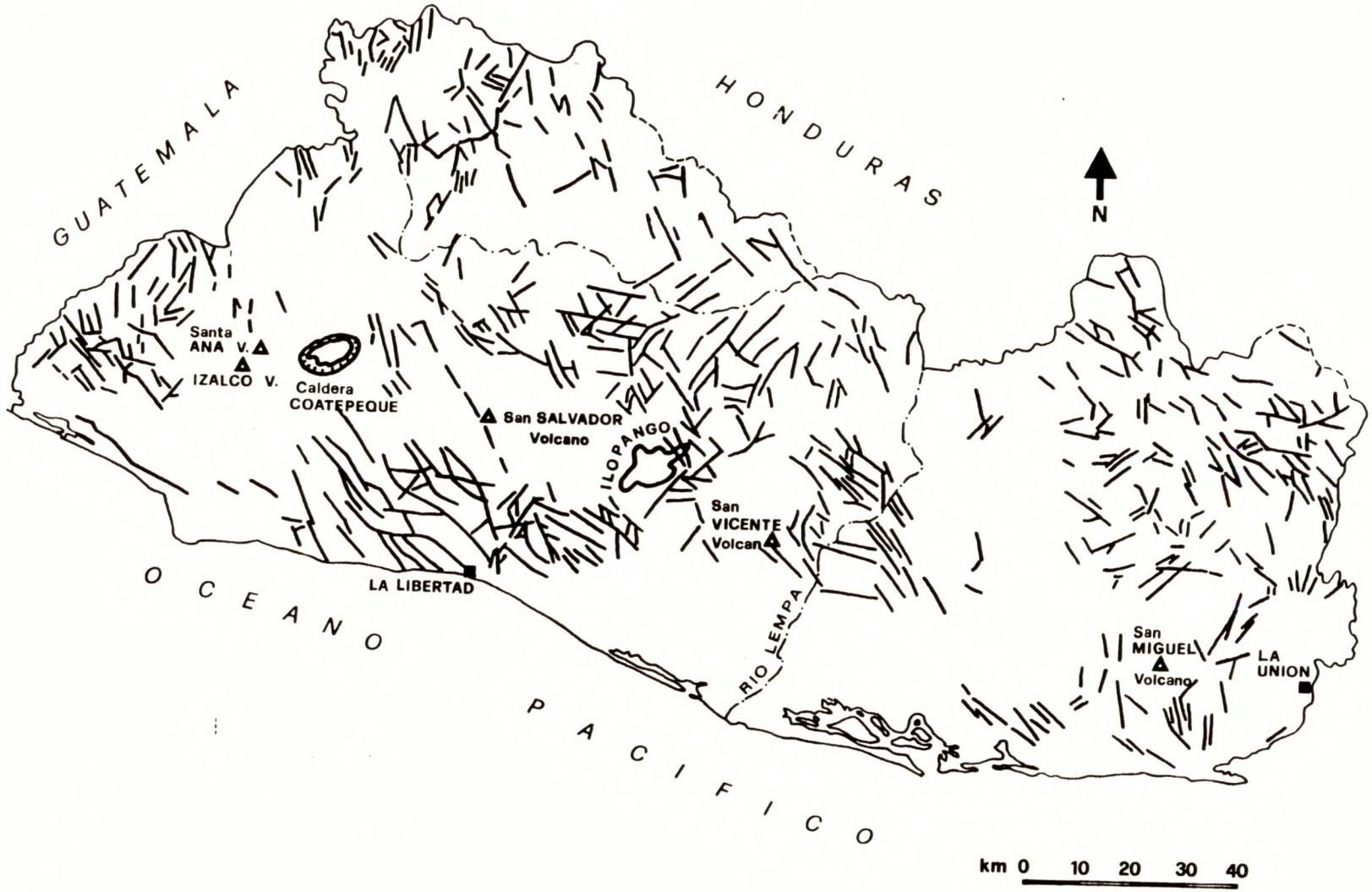


Fig. 2.1. Esquema volcano - tectonico de El Salvador.

en la geologia de superficie, dado que no hay evidencias morfologicas de una estructura de tal magnitud; ademas no se ha observado en el perfil La Libertad-El Poy.
Grandes anomalias negativas estan centradas en correspondencia de los aparatos volcanicos activos (Santa Ana y S. Salvador) siendo toda el area de la fosa mediana afectada por anomalias negativas aun si de intensidad menor.
Es interesante notar como el espesimiento de las isoanomalas en direccion NE en el lado SE de la anomalia negativa del volcan S. Salvador confirma la presencia de una gran estructura transversal a la fosa ya (vease informe neotectonico) sugerida por el estudio de imagenes Landsat.

El area de estudio esta situada sobre el lado sur de tal depresion estructural y comprende 3 grandes centros volcanicos recientes: en el sector W-NW el volcan San Salvador, con el reciente cono del Boqueron; en la parte este, la caldera del Ilopango y en la parte central el cerro de San Jacinto.
La caldera del Ilopango y el volcan San Salvador senalan los limites E y W del area de estudio; los limites N y S estan sanalados respectivamente por los cerros Nejapa y Guaycume y por la cadena del Balsamo.
El area en examen esta enteramente constituida por rocas volcanicas en las que predominan los productos piroclasticos. Las unidades mas viejas son las formaciones Mio-Pliocenicas (formacion Balsamo) relacionadas al periodo precedente y/o contemporaneo de la fosa mediana, esencialmente lavas basicas y aglomerados subordinados.
Relacionables, en cambio, al periodo sucesivo de la formacion de la fosa hasta el Plioceno e inicio del Pleistoceno, son las lavas de composicion basica e intermedia, los domos daciticos (cerros de Mariona, domos de Soyapango, etc.), los piroclastos acidos (ignimbritas tambien) del primer periodo de actividad del Ilopango (formacion Cuscatlan). Las formaciones mas jovenes del area en examen, estan en cambio constituidas por productos esencialmente lavicos, Pleistocenicos y Olocenicos, del antiguo edificio del San Salvador y del mas reciente el

Boqueron y de las piroclastitas acidas provenientes de la caldera del Ilopango (formacion San Salvador).
A la epoca historica y prehistorica son referibles algunos depositos freatomagmaticos (Talpetate) y coladas lavicas del Boqueron, los productos piroclasticos acidos (TBJ) de la caldera del Ilopango (260 AD +/- 114) y la formaccion de las Islas Quemadas.
Como se ha definido anteriormente, las estructuras volcanicas mas importantes del area en examen, son el complejo volcanico San Salvador, el cerro San Jacinto y la caldera del Ilopango. Ademas de estos, existe toda una serie de pequenos centros recientes y antiguos cuya formacion es, en algunos casos, relacionada a los aparatos mas importantes. Omitiendo los mas recientes que seran descritos con mayor detalle en los capitulos que siguen, vale la pena aqui mencionar los domos daciticos de Soyapango y Ciudad Delgado; la pequena cadena de domos daciticos y centros lavicos basicos de los cerros de Mariona situados al norte de Ayutuxtepeque y Cuscatancingo, al este del volcan San Salvador.
La hipotesis de Williams y Meyer-Abich (1955) indica que la formacion de estos, se ha originado inmediatamente despues de la formacion de la fosa mediana.
Otro centro volcanico, el crater de Montserrat, esta situado en la ciudad de San Salvador, en la zona ocupada por la colonia del mismo nombre.
Los productos asociados a este aparato, afloran a lo largo de la autopista, siendo lavas basicas con tipica estructura en bloques y productos piroclasticos. En particular en esta zona bajo la secuencia de las Tobas inferiores, aflora un deposito de "fall proximal" muy alterado pero en el cual son todavia bien reconoscibles, pomez y liticos con diametros hasta de 30 y 60 cm respectivamente.
Por lo que concierne a las estructuras volcanicas, siempre en la ciudad, al sur de San Marcos, esta presente una estructura circular bastante grande y bien conservada.
Esa circunda al San Jacinto por el S y el W, y representa el borde de una vieja caldera.

Al intenso volcanismo de la zona, se acompana tambien un intenso tectonismo.
Cuatro principales "trends" de fallas estan representados en el area en examen:

1."Trend" E-W: aparentemente es el mas viejo y marca los bordes N y S de la fosa mediana. Al S caracteriza a la morfologia de la Cordillera del Balsamo (Terciario Sup.).

2."Trend" N-S: es un sistema de fallas menos definido del precedente y probablemente bastante viejo. Se encuentra solo localmente y con extension limitada.

3."Trend" NW-SE: es un sistema de fallas recientes y todavia activo.

4."Trend"ENE-WSW:es un sistema meno definido de los precedentes y probablemente contemporaneo al sistema NW-SE.

Todos los sistemas de fallas emergen con inclinaciones muy fuertes (entre los 65 y 90°) en las dos direcciones posibles. Las fallas del sistema E-W definen claramente la estructura de la fosa. Segun Schmidt-Thome (1975) los "trends" N-S y E-W, a pesar de que son cortados por los "trends" NW-SE y ENE-WSW, resultan todavia activos; por este motivo, aun cuando se hubieran originados en tiempos diferentes, deben haber sido recientemente renovados.

3. EL SISTEMA VOLCANICO DEL VOLCAN SAN SALVADOR (O QUETZALTEPEQUE)

El macizo volcanico del S. Salvador (o Quetzaltepeque, que en lengua pipilnahuatl significa: montana de los Quetzales) cubre un area de aproximadamente 18 km2 limitando toda la parte occidental de la capital, donde se encuentran situados varios barrios, en pendientes de hasta aproximadamente 900 m., s.n.m.; igualmente se encuentra ubicada en las faldas del flanco sur, la ciudad de Santa Tecla (o Nueva San Salvador).

Se trata de un estratovolcan complejo, compuesto por varios aparatos y estructuras de edad y significado bien definido (fig. 3.1). Entre estas, el mas caracteristico es el Boqueron, que es el cono volcanico que ocupa la parte central del macizo y que contiene al grande y profundo crater. El borde del crater se encuentra ubicado entre los 1780 y 1880 m. de altura s.n.m.; tiene una forma casi circular con un diametro de 1500 m., encontrandose su fondo, aproximadamente a 1340 m s.n.m.

En el centro de la depresion se encuentra un pequeno cono de escoria de unos 30 m. de altura, llamado Boqueroncito, formado en el curso de la ultima erupcion en 1917. A una distancia de aproximadamente 2.5 km al ENE del borde del crater, se eleva un pico aislado llamado Picacho, que con sus 1967 m., s.n.m, constituye la cima mas alta de todo el complejo; 3 km al oeste se encuentra otra cima completamente separada del cono del Boqueron de la cual se eleva a unos 240 m, denominada Jabali o Amatepeque (1937 m., s.n.m.).

Vale la pena recordar que, sobretodo en la parte septentrional, el flanco del aparato muestra una marcada discontinuidad morfologica que se extiende aproximadamente de la base interna del Picacho (a unos 1300 m de altura) hasta el pie del Jabali. Tal discontinuidad tiene una forma subcircular con un diametro de 5-6 km; en la parte alta, la pendiente de los flancos del volcan tiene cerca de 7-5°, mientras que en la parte baja es casi el doble (15°). En la interpretacion mas conocida (Williams y Meyer-Abich, 1955)

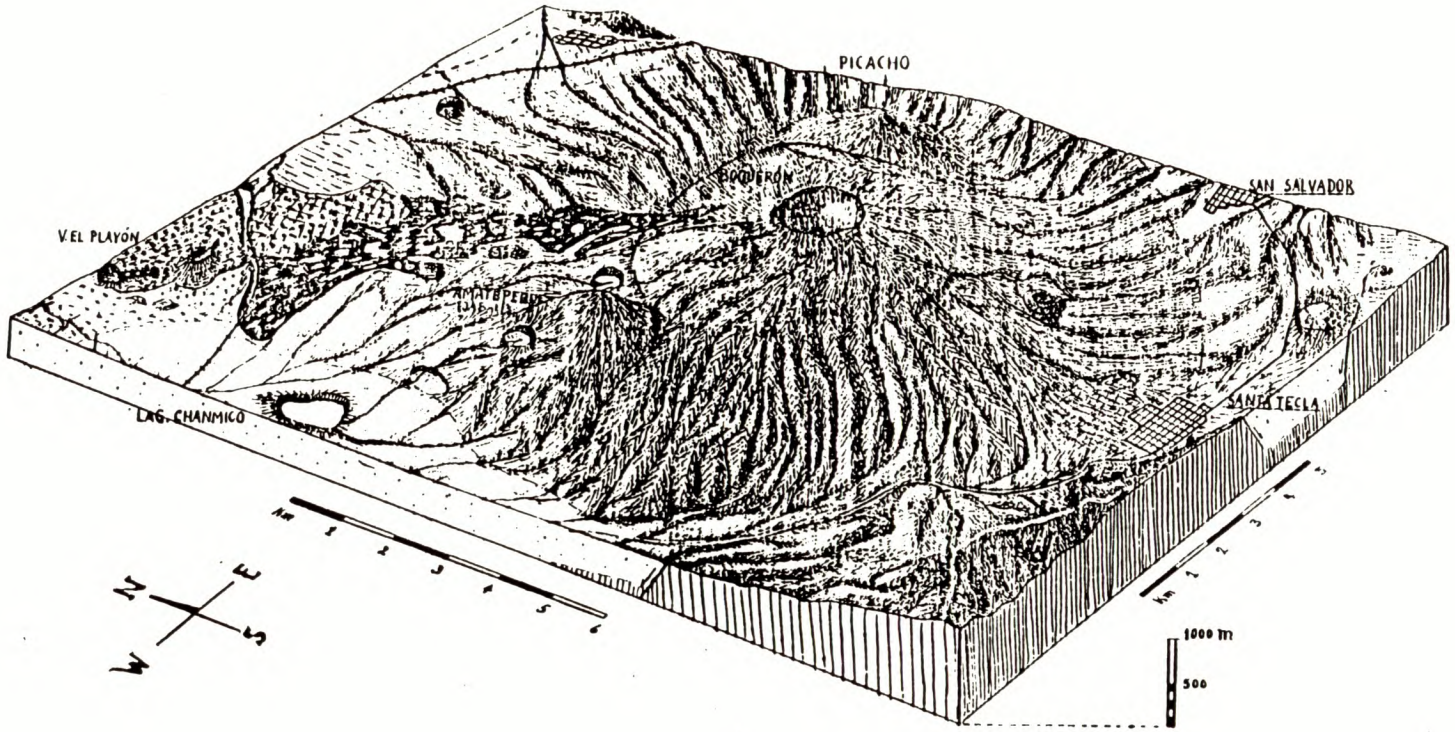


Fig. 3.1. Complejo volcanico **San Salvador**. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

la separacion de los declives antes descrita, representa la expresion morfologica del borde de una caldera que ha estado despues casi totalmente rellenada del Boqueron.
En sus flancos y a la base del macizo, se encuentra una gran cantidad de pequenos centros adventicios, en general alineados segun una direccion bien precisa de fractura.
Sobre el lado nor-occidental se encuentran:
- el Playon, un cono de escorias con una gran colada asociada, ubicado inmediatamente al norte de la via ferrea;
- la serie de conitos (hornitos) denominados Los Chintos, ubicados al S de la via ferrea, ya sobre las faldas del volcan.
- el crater de la laguna de Chanmico y los tres crateres de explosion asociados que de este se alinean en direccion al Jabali, hasta una altura de cerca 1100 m., s.n.m.

Sobre el lado sur-oriental se reconocen:
- un pequeno cono de escorias denominado La Joya, ubicado a una altura aproximada a 1200 m., s.n.m. inmediatamente a la derecha de la calle que de S. Tecla conduce al Boqueron.
- el "pit crater" llamado Puerta de la Laguna, ubicado al SW de Antiguo Cuscatlan; este tiene un diametro de unos 700 m. y paredes semiverticales de varias decenas de metros de altura.

Otros pequenos craters y conos estan distribuidos ya sea al lado occidental del Boqueron, como en direccion NNE (al sur de la ciudad de Quezaltepeque).

3.1 Estructura volcanica y lineamientos tectonicos asociados

La descripcion de la morfologia y de la fisiografia volcanica del San Salvador, hace evidente la complejidad de su estructura volcanica.
La interpretacion estructural, implica obviamente, tambien la reconstruccion de su historia eruptiva y de la relativa estratigrafia, que despues seran ilustradas con mayor detalle en el siguiente capitulo, haciendo referencia al tipo de productos y a la modalidad eruptiva.

La parte mas antigua del edificio, esta constituida por dos bastiones rocosos, el Picacho y el Jabali (fig 3.2). Estos representan los restos mas evidentes del estratovolcan inicial que debia tener la clasica forma de cono, de los estratovolcanes calco-alcalinos, con una altura total probablemente cercana a los 2500-3000 m., s.n.m.. El edificio interrumpia el amplio valle, parte del graben centroamericano, que unia las cuencas actuales de Zapotitan al oeste e Ilopango al este, ocupando casi completamente el espacio en direccion sur, donde se encontraba en contacto con las primeras ramificaciones de la cadena del Balsamo.
Sucesivamente se ha tenido el colapso volcano-tectonico de la porcion central del antiguo edificio, con la formacion de una estructura calderica de forma casi circular cuya expresion morfologica esta constituida por la escarpada mas marcada, que corre de la base interna del Picacho al Jabali. Que profundidad, tenia tal depresion, es imposible decirlo con precision, pero probablemente debia ser de varios centenares de metros.
El Picacho muestra dos porciones de fracturas anulares concentricas, confirmando asi, un mecanismo de colapso segun el sistema de fallas anulares en gradas, que representan la superficie de deslizamiento de una serie de "conos solapados concentricos" con mayor desplazamiento desde el exterior al interior.
Al interno de esta gran depresion, comenzo en seguida a crecer el edificio del Boqueron y su desarrollo fue controlado por la interseccion de 3 sistemas de fisuras principales (fig. 3.3). El primero con direccion WNW-ESE, es paralelo al eje volcanico activo, y es representado localmente por el alineamiento de los crateres, que de la Laguna de Chanmico, se alejan en direccion a los flancos del volcan (Williams y Meyer-Abich, 1955).
El segundo, con direccion NW-SE y NNW-SSE, corta completamente al Boqueron y esta definido por el alineamiento: Playon, conitos Los Chintos de la erupcion de 1917, Boqueroncito, cono la Joya y el crater pozo de Puerta de la Laguna a la base sur-oriental del Boqueron (Williams y Meyer-Abich, 1955).

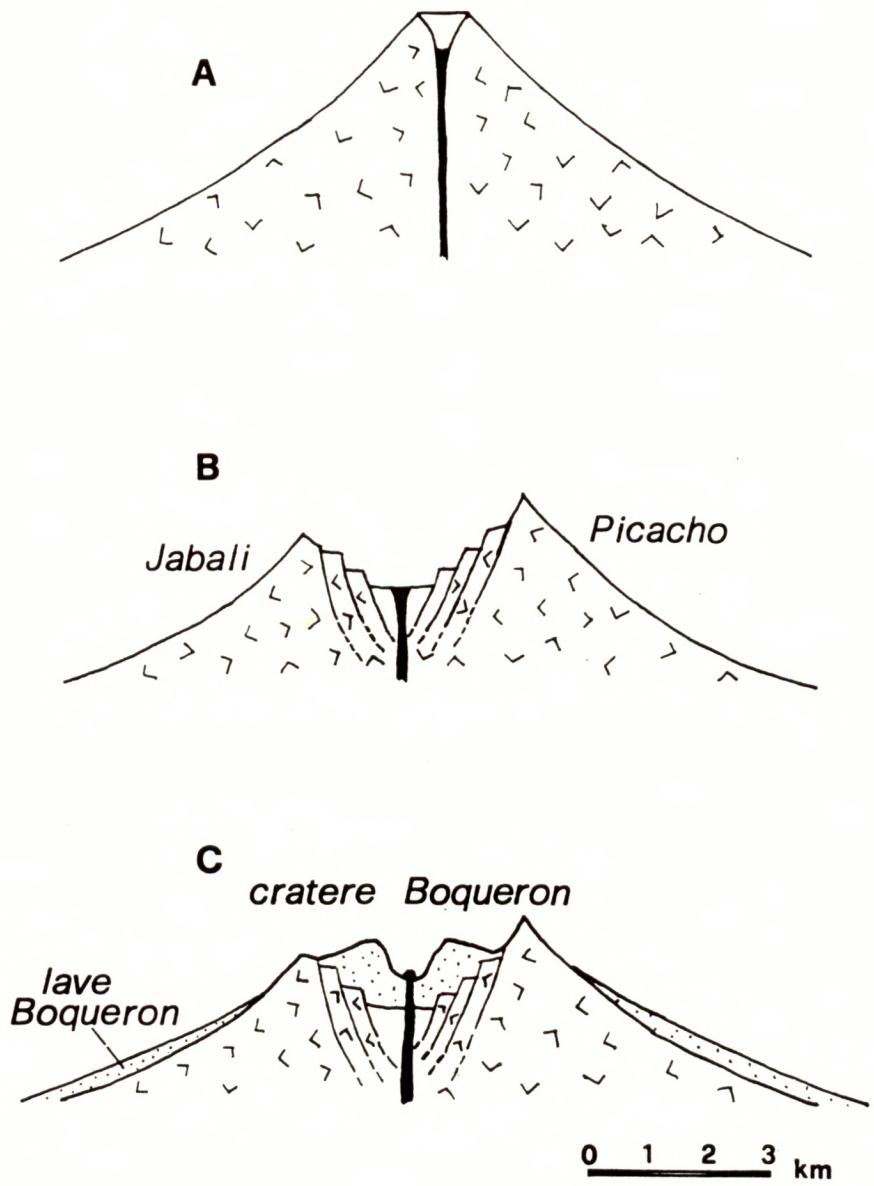


Fig. 3.2. Evolucion estructural del complejo volcanico San Salvador. Seccion esquematica interpretativa E-W. A - Antiguo edificio del San Salvador. B - Formacion de la caldera. C - Formacion del Boqueron.

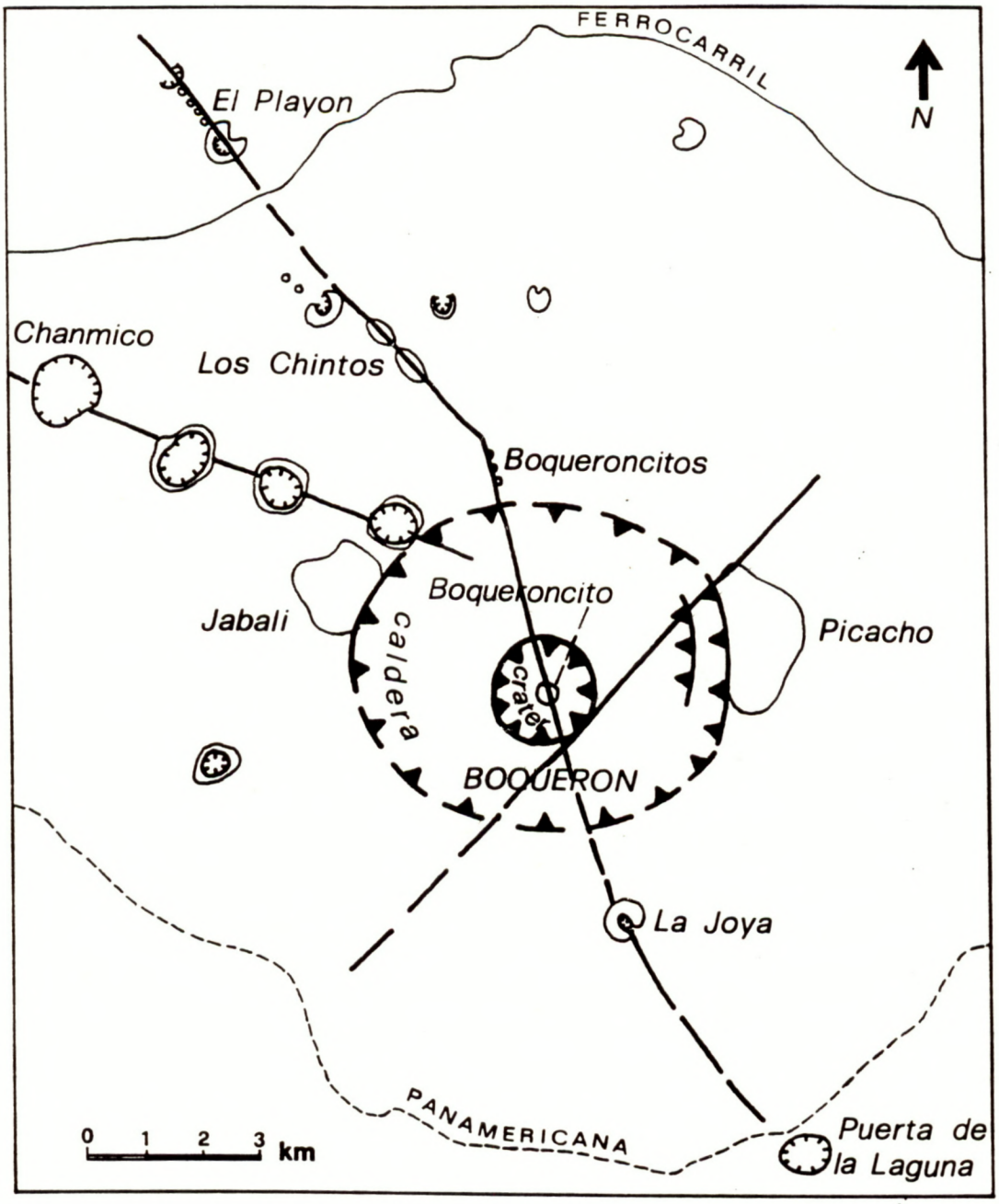


Fig. 3.3. Sistemas de fracturacion principales que interesan el complejo volcanico San Salvador y relativos centros eruptivos.

La fotointerpretacion de imagines de satelite individualiza tambien un tercer sistema ademas de los dos precedentemente identificados por los antes mencionados autores: una direccion NE-SW representada por una fractura que se extiende del borde septentrional del Picacho en direccion al crater del Boqueron. Mientras que el Boqueron se estaba construyendo, la depresion calderica venia rellenada por coladas lavicas y piroclastitas, hasta que una vez ocupada totalmente, la lava comenzo a derramarse a lo largo de los flancos, cubriendo la morfologia calderica y dejando descubiertos solo los dos picos del Picacho y del Jabali. La situacion actual, estructuralmente no presenta variaciones significativas respecto a la anteriormente descrita. Es necesario hacer notar, como el crater del Boqueron, a pesar que tenia una forma casi cilindrica, presenta sobre su lado meridional, aproximadamente a una altura de 1620 m., una especie de estrecha "terraza" que sugiere que este se habia formado por lo menos en dos fases, por explosiones y colapsos. A esta fase final, pertenecen tambien, los varios centros adventicios de reducida dimension que circundan al Boqueron y que representan distintos episodios eruptivos.

3.2 Estratigrafia e historia eruptiva

3.2.1 Antiguo edificio San Salvador

El antiguo edificio del San Salvador esta en gran parte cubierto por depositos mas recientes del Boqueron que hacen dificil el reconocimiento de la naturaleza de sus productos. Reducidos afloramientos se reconocen sobre las paredes de sus canones profundamente incisos, sobretodo al E y NE del Picacho. Segun Williams y Meyer-Abich, 1955, se trata principalmente de flujos lavicos de naturaleza prevalentemente andesitica con basaltos subordinados y andesitas basalticas alternadas con depositos de lapilli y cenizas de caida.
Tales alternancias, clasifican al S. Salvador como un clasico estratovolcan. No se tiene informacion a cerca de su

edad absoluta. La fase de construccion del estratovolcan ha estado seguida por el colapso de la parte central del cono, formando asi la caldera circular de cerca de 5 km de diametro. Como es sabido, los colapsos caldericos son generalmente precedidos y causados por erupciones explosivas con emision en breve tiempo, de grandes volumenes de material piroclastico quimicamente diferenciado; en el caso de la caldera del volcan S. Salvador, Williams y Meyer Abich, 1955, no han identificado depositos con tales caracteristicas, ni aun en el presente trabajo de campo, no se han podido reconocer con seguridad. La dificultad esta sobretodo por la gran cantidad de erupciones piroclasticas acidas, presentes en la zona y provenientes de la caldera del Ilopango.
El unico deposito que presenta caracteristicas de un evento potencialmente asociado al colapso calderico es el "fall" gris de escorias pomiticas que sera descrito en seguida. Para resolver este problema seria necesario una mas completa reconstruccion de la actividad volcanica del San Salvador.

3.2.2 Boqueron

Despues del colapso calderico, la actividad comenzo intensamente al interno de la depresion formando el cono del Boqueron. Las paredes del crater muestran casi completamente la historia eruptiva del volcan. Alli se ha fechado una muestra de lava recogida del fondo del crater, en modo de determinar el inicio de la actividad del Boqueron, inmediatamente despues de la formacion de la caldera.
La medicion de K-Ar (roca total sobre la muestra SS13, ver tabla 1) ha dado un resultado de edad < 100,000 a. ya que la muestra es muy joven y al limite de deteccion del metodo. Parte de los productos iniciales, cuando las erupciones surgian todavia al interno de la misma caldera, estaban constituidos por depositos en bloques de naturaleza monolitologica en una fina matriz soldada muy abundante, siendo interpretable como depositos tipo "avalancha ardiente" producidos por explosiones intracaldericas. Probablemente, es tambien una componente de retrabajamiento

contemporaneamente a la deposicion que confiere a ello un aspecto casi de "lahar"; en efecto, es asi como ha sido descrito por Fairbrothers et al., 1978.
La naturaleza monolitologica y la angulosidad de los bloques, sugieren sin embargo que la componente de redeposicion ha estado limitada.
Sobre estos productos de no muy clara identificacion, se inicia la alternacia de coladas lavicas y depositos piroclasticos asociados (ver foto 2 y 3).
Las lavas de naturaleza prevalentemente andesiticas y en menor cantidad, las andesitico-basalticas y basalticas, tienen espesores de cerca 10-20 m por cada unidad de flujo y muestran amplias secciones escoriaceas en la base y el techo (foto 4). Optimos afloramientos de tales lavas se encuentran en el lado sur en correspondencia al estrecho valle entre el Boqueron y la Cordillera del Balsamo y sobre el lado E en direccion a la Capital.
Por este proposito, vale la pena subrayar la presencia de una gran colada que aflora en varias localidades de la ciudad (particularmente en correspondencia al rio Acelhuate con una notable evidencia en la Chacra en los predios de los pozos de la ANDA) y que representa la ultima fase efusiva del Boqueron en direccion a San Salvador (ver mapa geologico Distrito A3). Una muestra de tal lava (sobre la cual se encuentra la secuencia completa de las Tobas superiores) extraida en un sondeo geotecnico efectuado en los predios del "Hogar del Nino" se ha escogido pora la datacion absoluta con el metodo K-Ar. La muestra desafortunadamente ha resultado afectada por un exceso de Ar, dando una edad demasiado alta (11 Ma., muestra SS16, tabla 1).
En muchos afloramientos las lavas del Boqueron exhiben en modo muy evidente los efectos del movimiento laminar y de "shearing" formados durante las fases finales de flujo. La parte basal sometida a fuerte friccion esta senalada por planos paralelos bien definidos y aproximados, que confieren al material una marcadisima fisibilidad, tanto que viene extraido como piedra ornamental. A medida que se alcanzan porciones superiores de la colada, los planos se hacen mas distanciados y tienden a encurvarse hasta perder cada

sistematicidad, como viene a ejemplo en la colada aflorante en la Chacra.

Los depositos piroclasticos intercalados a las lavas estan constituidos por cineritas, lapilli, y en la parte proximal, por escorias relacionadas a la actividad estromboliana o ultraestromboliana, moderadamente explosiva y asociada a las efusiones lavicas. Fairbrothers et al., (1978) reportan un espeso deposito (100 m) cineritico en la secuencia al interno del crater. Nuestra observacion no concuerda absolutamente, a cerca del espesor de tal deposito, y los niveles de cineritas observados en la pared del crater, tienen en efecto espesores mucho mas reducidos.

Sobre el flanco occidental del Boqueron es posible ver secciones muy amplias de los depositos de cineritas y lapilli de la actividad estromboliana; cada estrato, referible a una sola erupcion, es de espesor en general reducido (no mas de 1-2 m), estando separado del precedente y del sucesivo por un paleosuelo rojizo.

En la seccion de Tobas superiores que se encuentran en la ciudad, es posible reconocer un deposito de caida denominado "fall" gris (ver reporte geologico) que probablemente proviene del Boqueron. Este esta formado por escorias muy vesiculadas de naturaleza andesitica, sueltas, con dimensiones variables de 1 a 3 cm y con un espesor de 80-100 cm en el area urbana.

En el curso superior de la quebrada La Mascota (ya sobre la pendiente del Boqueron) aflora un deposito de flujo piroclastico que puede ser asociado a la misma erupcion; siendo en cada caso de reducidas dimensiones areales (espesor de 3-4m) estando limitado en el paleovalle cortado por La Mascota. Toda la parte alta del Boqueron, y en particular el lado oriental en direccion al Picacho, esta cubierta por la Tierra Blanca Joven que es el deposito piroclastico mas reciente de la caldera del Ilopango (foto 4 y 7), estando fechada en 1700 anos +/- 114. Encima de tal deposito, sobre un paleosuelo muy reducido, se notan dos erupciones freatomagmaticas separadas por un nivel de pequenas escorias y lapilli.

Estas dos erupciones conocidas en la literatura como Talpetate o "S. Andres tuff" estan distribuidas principalmente sobre el borde y sobre el flanco occidental y meridional del Boqueron y al interno del crater, encubriendo las paredes con espesores que van de 6 m en la vecindad del borde craterico (Hart, 1983) para disminuir hasta a pocas decenas de cm en el valle de Zapotitan al W; al NW de Santa Tecla los espesores llegan a 1.5 m. El lado oriental del Boqueron en direccion a San Salvador, esta solo parcialmente interesado del Talpetate; tambien en los barrios cercanos a la base del Boqueron, han estado reconocidos solo afloramientos despreciables (pocos cm., fig 3.4).

La superficie total cubierta por tales depositos es de cerca 300 km2, alcanzando hasta la Cordillera del Balsamo al S y a las ruinas de San Andres al oeste. El horizonte freatomagmatico inferior (mucho mas espeso) esta constituido (ver fig 3.5) por una brecha de explosion basal (solo en las facies proximales) que se apoya sobre abundantes restos vegetales; tal brecha esta formada por bloques fumarolizados y bombas, hasta 3-10 cm de diametro, en matriz arenosa.

Despues sigue la secuencia mas tipica caracterizada por niveles delgados grisaceos alternados de cineritas y arenas de caida y por "surges" con estratificacion cruzada muy cementados (ver foto 6 y 7) con abundantisimas pisolitas que a veces forman estratos delgados autonomos; la componente freatica en esta erupcion esta confirmada por la presencia de burbujas de gas (vapor) que le confieren a cierta porcion del deposito el aspecto de tobas vesiculadas.

Bastante frecuentes son las bombas y bloques que han deformado por impacto de caida los niveles subyacentes.

El horizonte superior, mucho mas reducido, tiene caracteristicas similares; esta cubierto por depositos de escoria, lapilli y cenizas obscuras que representan problablemente la fase explosiva de erupciones efusivas prehistoricas.

La probable explicacion de tales depositos freatomagmaticos esta ligada a la presencia de un lago sobre el fondo del crater (como aquel existente antes de la erupcion de 1917);

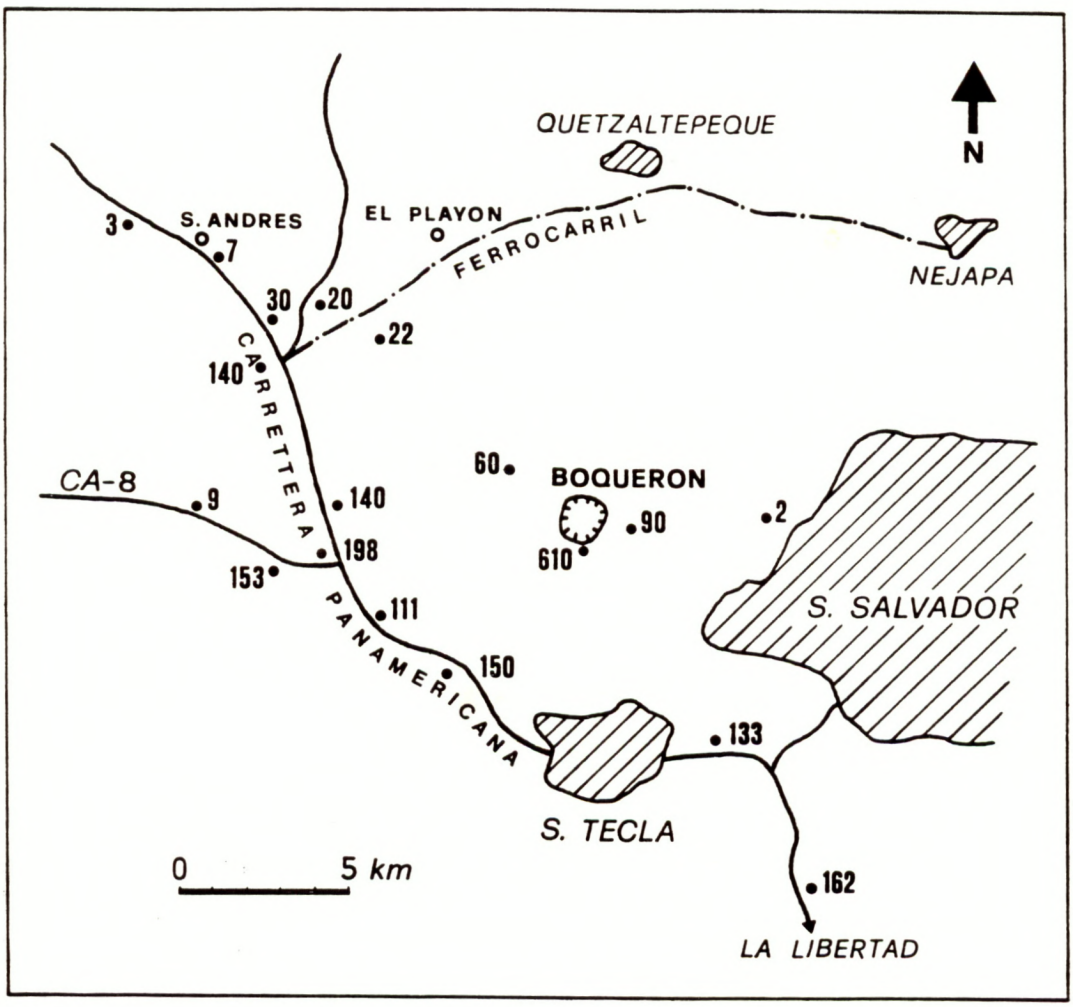


Fig. 3.4. Ubicacion y espesores en centimetros de los afloramientos de Talpetate. Es de notar como el area de distribucion interesa solo marginalmente al area metropolitana de San Salvador (Modificada de Hart, 1983).

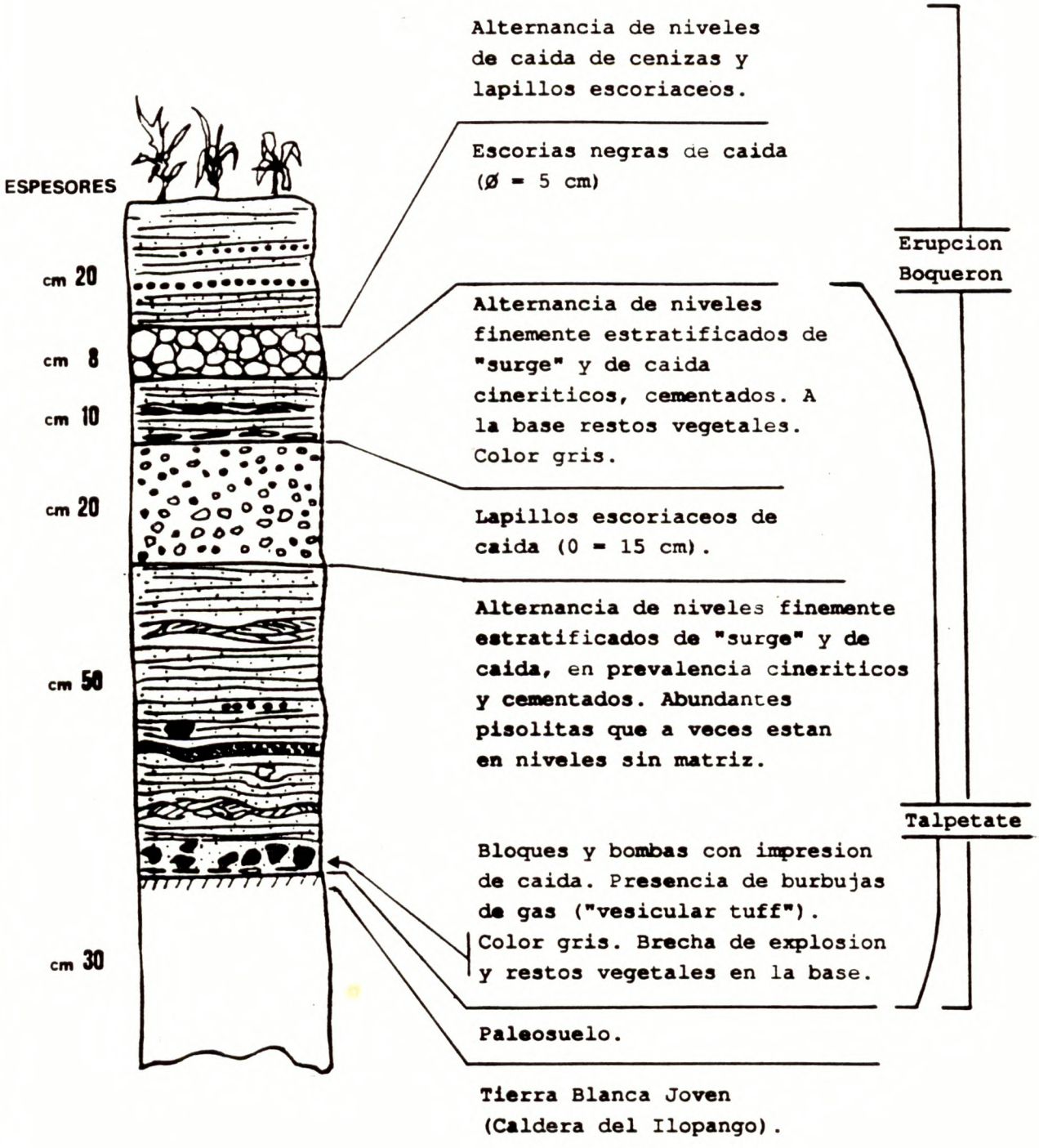


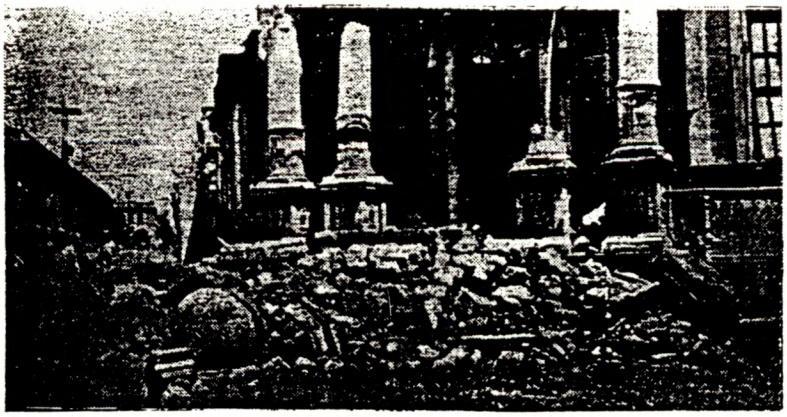
Fig. 3.5 Columna estratigrafica medida a una altura de 1505 m sobre la desviacion que conduce al "mirador" en el crater del Boqueron.

el agua de tal lago interactivando con el magma fragmentado durante el curso de las erupciones de tipo estromboliano, han provocado explosiones mucho mas energeticas con produccion de materiales finos: cineritas de caida y "surge" piroclasticos.
El deposito de escoria intercalado sugiere la posibilidad que, en una fase intermedia de activadad, el conducto eruptivo se hubiera encontrado aislado del agua, originando depositos exclusivamente magmaticos. Los datos arqueometricos de objetos encontrados a la base del Talpetate, ubican tal erupcion entre AD 1000 a 1300 (S. Boggs, comunicacion personal a W. Hart, 1983).
Los mismos objetos podrian sugerir una edad entre AD 800 a 1000 (P.Sheets, communicacion personal a W. Hart, 1983).
Los efectos sociales y ecologicos de la erupcion del Talpetate son desconocidos, a parte de la defoliacion y destruccion parcial de la vegetacion.
Por lo que, atiene a los crateres adventicios que se encuentran sobre los flancos del Boqueron (El Playon, los Chintos y los Boqueroncitos seran descritos en el capitulo sobre la actividad historica) es necesario notar como se presentan en general, en buen estado de conservacion como prueba de una edad mas bien reciente. La serie de cuatro aparatos que de la Laguna de Chanmico se alinean en direccion ESE esta caracterizada por una morfologia (especialmente Chanmico), que sugiere un origen freatomagmatico bastante evidente; los depositos consisten en lapilli escoriaceos poco ordenados y sueltos.
El conito La Joya, sobre la calle S. Tecla-Boqueron esta compuesto por escorias alternadas con pequenas coladas basicas espesor entre 1-2 m (foto 5); todavia mas en direccion SE se encuentra el crater-pozo de Puerta de La Laguna. Sus productos constituyen una alternancia de lapilli escoriaceos y niveles cineriticos grises bien cementados (Amaroli, 1987), probando el hecho que tal centro ha tenido a periodos alternados, actividad magamtica y freatomagmatica (cineritas soldadas es sinonimo de magma fragmentado que interactua con agua); tal conclusion esta confirmada por la

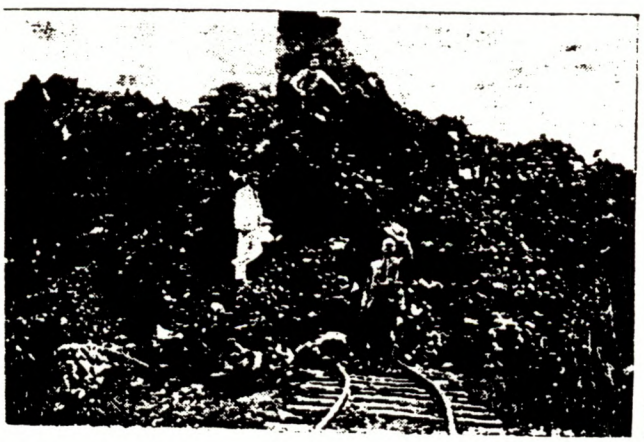
morfologia de crater-pozo que en general es producida por este tipo de actividad.
La edad de la Puerta de La Laguna es antecedente a la Tierra Blanca Joven, que la recubre.

3.2.3 Erupciones historicas

La primera noticia historica del S. Salvador esta reportada por Garcia de Palacio que visito, probablemente en el ano 1575, el crater del Boqueron y menciona la presencia de una fumarola en su fondo. En aquel tiempo no existia ningun lago en el interior del crater y sus paredes aparecian en algunas zonas, fumarolizadas. El autor refiere tambien, el haber visto mucha lava y cenizas de fresco aspecto en la vecindad de Nejapa, que en aquel tiempo se situaba en las proximidades del actual cono Playon.
Sucesivamente, proprio en el cono anteriormente citado, se origino la primera gran erupcion descrita historicamente; hay diversas opiniones que contrastan sobre su edad aproximada; Montessus de Ballore al igual que Sapper la situan en el 30-9-1659, mientras Larde y Larin en el 3-11-1658. El cronista Fray Francisco Ximenez cuenta que la erupcion fue precedida por terremotos que destruyeron S. Salvador y otras villas de la zona, entre ellas Nejapa, Apopa y Quezaltepeque.
Los centros de actividad eran ubicados a lo largo de una fractura en direccion NW exactamente en los alrededores de la antigua villa de Nejapa cuyos habitantes fueron obligados a refugiarse reconstruyendo despues la villa en el lugar que actualmente ocupa (5 km al ESE de Quezaltepeque).
De las grandes bocas, y especialmente la del Playon, grandes coladas lavicas se dirigieron en direccion NE, cubriendo una superficie aproximada de 10 Km2 hasta alcanzar al rio Sucio, donde la lava siguio por un cierto tramo provocando asi una obstruccion de 25-30 m de altura que despues dio lugar a un lago. La lava enfriandose, formo el "malpais" o en lengua pipilnahuatl "Teshcal", que significa: casa de piedra; esto porque, los bloques lavicos,



A



B

Fig. 3.6. A: Danos causados en San Salvador por los terremotos que precedieron la erupcion de 1917. B: Via ferrea Quetzaltapeque-Ciudad Arce obstruida por el flujo lavico de 1917.

solidificados y despedazados en grandes lajas, semeyaban, de lejos, habitaciones.

Algunos anos despues (1671), se originaba una gran erupcion explosiva, probablemente del crater del Boqueron, con emisiones de una enorme cantidad de cenizas (segun Ximenez, 1722; equivalentes a la mitad del volumen del volcan) que el viento transporto hasta Comayagua, en Honduras; P.D. Sheets (1983) sostiene que las escorias basalticas visibles en los cortes de la carretera al NW del Boqueron, provienen de tal erupcion segun la interpretacion de Larde y Larin, (1950) tambien esta erupcion fue precedida por un terremoto destructivo (llamado de San Bartolomé en San Salvador). Alrededor de 1806 (Larde, 1917; Dolfuss e Monteserrat, 1868) se reporta una erupcion en el Cerro de Nejapa; debido a que tal volcan no presenta algun indicio de actividad reciente, Sapper, (1913) expuso la hipotesis de que tratase todavia otra vez, de el Playon; sin embargo no es claro, de que tipo de erupcion se trata y que productos habia emitido.

La ultima erupcion del Boqueron inicio en la tarde del 6 de junio de (1917). A la 10.55 horas ocurrio la primera sacudida de VI grado en la escala Mercalli, seguida a las 19.30 por una segunda igualmente fuerte, que causo danos a San Salvador, Apopa, Nejapa etc. (fig 3.6). Segun Larde, (1956) a las 20.11 de la noche, una espesa columna de humo se elevo casi verticalmente con lanzamiento continuo de material incandescente, anunciando asi el inicio de la erupcion. Por una fractura en direccion NNW-SSE abriendose por el lado norte del volcan (de esta probablemente se dio tambien la explosion inicial) comenzo la efusion de abundante lava "aa" en direccion septentrional. Las bocas principales de emission (de 7 a 12, segun Meyer-Abich, 1956) llamadas Boqueroncitos, estaban situadas entre 1350 a 1410 m, s.n.m; en la misma noche, siempre a lo largo de la misma fractura, entraron en actividad los conitos llamados los Chintos (formados en un periodo precedente a una altura entre los 700 y 800 m) uno de los cuales viene denominado por Larde (1917) testimonio ocular, El Tronador (fig 3.7) a causa de los retumbos "terrificantes" que se escuchaban.

El 7 de junio en la manana, la colada no habia todavia alcanzado la via ferrea Quezaltepeque-Ciudad Arce, la cual viene obstruida por la lava esa misma noche (fig 3.6). De aqui que la colada cambio direccion hacia el oeste, deteniendose el dia 11, 3 km antes de la Laguna de Chanmico; la lava tenia cubierta una superficie de aproximadamente 12 km2.

No se tuvieron fenomenos explosivos de gran importancia, siendo la actividad solo de tipo estromboliano; Meyer-Abich, (1956) sin embargo hace notar que cayo una lluvia de lodo (lluvia mezclada con ceniza) sobre S. Salvador hasta el 9 de Junio. En el crater del Boqueron la actividad comenzo la noche del 9 de Junio (tal vez antes, segun Larde, 1956); en efecto el lago que ocupaba el fondo era en completa ebullicion y espesas columnas de vapor (fig 3.8) se elevavan de este.

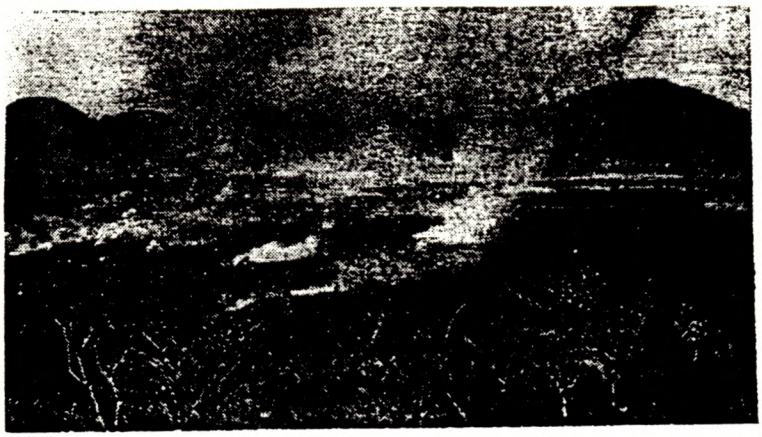
El 29 de junio el agua fue completamente evaporada poniendo asi en evidencia un conito de escoria circular (Boqueroncito).La desaparicion inicial del lago, ha impedido el desarrollo de fenomenos peligrosos de interaccion magma-agua. Mientras las bocas de alimentacion lateral cesaban de hacer erupcion a la mitad de junio, el Boqueroncito continuo su actividad hasta principios de noviembre, produciendo explosiones ritmicas (tipica actividad estromboliana) con lanzamiento de escorias, lapilli y cenizas (fig. 3.9).

Segun Friedlander (1918) y Sapper (1926), al principio los intervalos entre una explosion y otra eran de 5 a 10 minutos y en agosto pasaron a ser de 30 minutos aproximadamente.

Tal actividad, aunque se redujo, alarmo a los habitantes de S. Tecla a la que llegaba la caida del material piroclastico transportado por el viento (Larde, 1956).

Actualmente no se ha tenido senales de actividad (ni siquiera, fumarolica) ni en el Boqueron, ni en sus crateres adventicios que lo circundan.

El lago craterico desaparecido en el curso de la erupcion no se ha formado mas.



A

B

Fig. 3.7. A: Crateres y "hornitos" laterales de Los Chintos (erupcion 1917). B: Crater "El Tronador"; se puede notar la fractura que lo interesa (erupcion 1917).

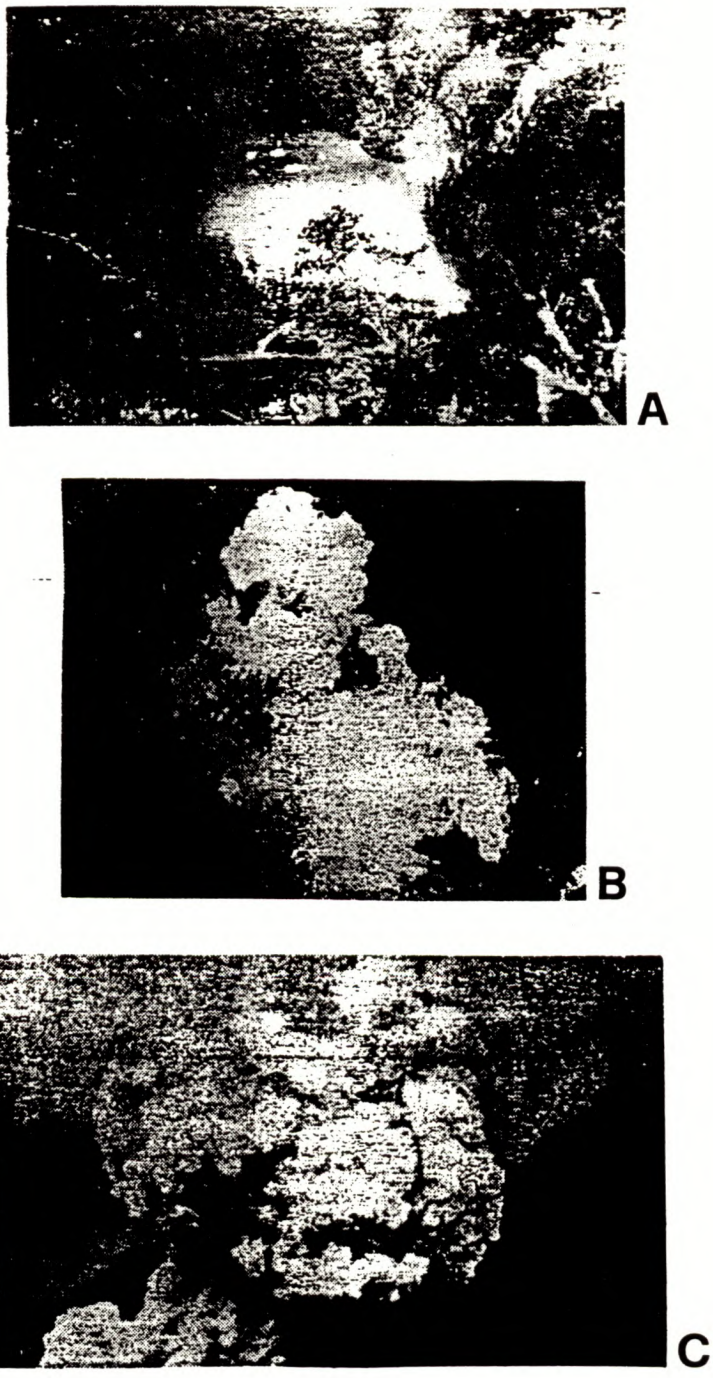
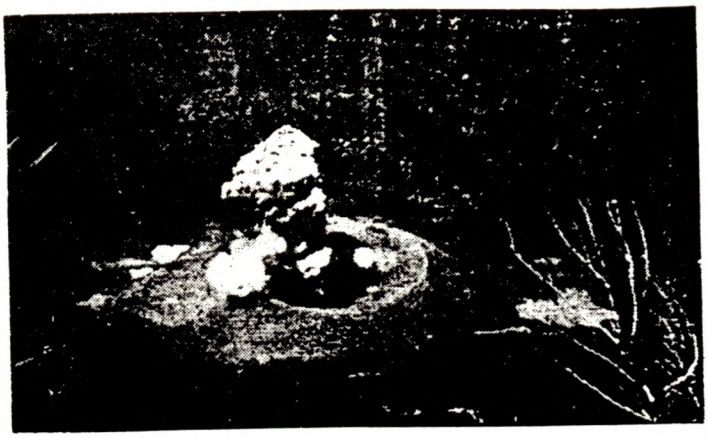
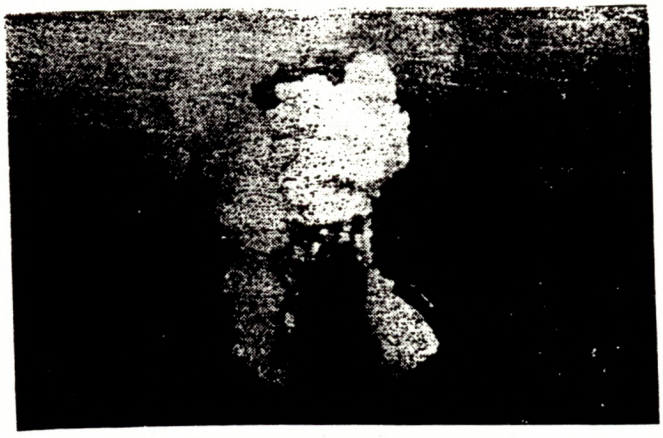


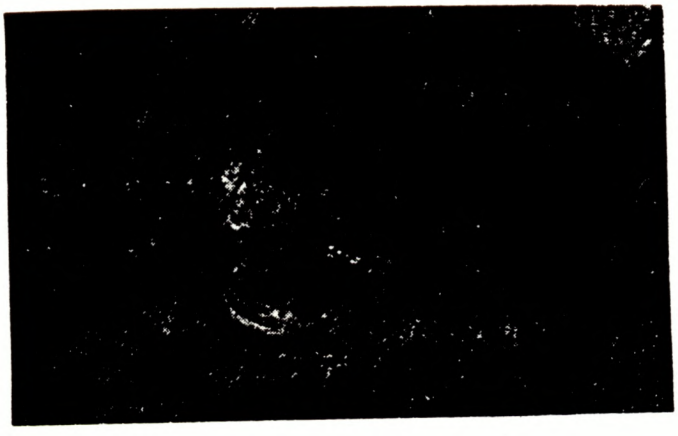
Fig. 3.8. A: Lago existente en el crater del Boqueron ante de la erupcion de 1917. B: Lago en el crater en ebullicion durante la primera fase de la erupcion de 1917. C: Fases finales (fin de Junio de 1917) de la evaporacion del lago con aparicion de un conito (Boqueroncito).



A



B



C

Fig. 3.9. A,B: Distintas fases de actividad explosiva del "Boqueroncito" hasta Nov. 1917. C: El "Boqueroncito" despues de la erupcion.

4. EL VOLCAN DE SAN JACINTO

El volcan San Jacinto (foto 8) esta situado inmediatamente al este de la ciudad de San Salvador. Ocupa una superficie de aproximadamente 15 km2, y su cumbre que alcanza los 1200 m, se eleva sobre el valle subyacente a unos 500 m.
Este consiste en un grupo (por lo menos 3) de domos asociados a coladas lavicas de composicion que va desde andesitas acidas a dacitas, recubiertas en parte por los depositos de las Tobas superiores y de la TBJ.
La ausencia de pomez y cenizas que se hayan generado en su inmediata proximidad, indica que probablemente ninguna erupcion explosiva de una cierta entidad acompano la estrusion de los domos. La presencia en su parte somital de un pequeno crater, es en efecto el unico indicio de una actividad explosiva pero de reducida energia. El entero edificio esta interesado principalmente por fallas en direcciones aproximadamente E-W y NW-SE, (estas ultimas parecen cortar tambien el pequeno crater); en el sector oriental estan presentes algunas fracturas arqueadas.
Consideraciones efectuadas sobre la base de los datos estratigraficos (cobertura de Tobas superiores y TBJ) permitieron de referir la formacion de los domos del San Jacinto a un periodo precedente a la fase de actividad del Ilopango.
Dos dataciones absolutas efectuados con el metodo K-Ar sobre feldespatos separados de las lavas del San Jacinto han dado respectivamente una edad de 0.77 MA y una edad de 1 MA. (muestras SS11 y SS12, tab.1) permitiendo asi de referir la formacion de los domos al Pleistoceno medio. Una atencion especial merece ademas la gran estructura que circunda al San Jacinto al sur y al sur-oeste.
Tal estructura puede ser lo que permanece de un antiguo borde calderico (caldera de Los Planes de Renderos, foto 10); su forma todavia claramente definida y la presencia de depositos de Tobas inferiores adosadas a su borde interno, indican que su formacion es seguramente relacionada a un periodo precedente a la emision de las Tobas inferiores del Ilopango, y probablemente no es mas vieja del Pleistoceno

superior. Los productos del antiguo edificio volcanico sobre el cual esa antigua caldera se formo, estaban constituidos por las lavas basicas y piroclastitas subordinadas que afloraron sobre Los Planes de Renderos. A la formacion de la caldera son probablemente atribuibles parte de las Tobas inferiores que afloran sobre su lado sur.
En tal punto de vista, el San Jacinto podria representar el ultimo evento de extrusiones acidas de un aparato que ha tenido una historia eruptiva mucho mas compleja y seguramente de tipo explosivo.

5. LA CALDERA DEL ILOPANGO

La caldera del Ilopango esta situada sobre la cadena volcanica de El Salvador, aproximadamente a 10 km al Este de la capital San Salvador (fig. 5.1). Se trata de una depresion ancha de unos 11 km con longitud de 8 km, encerrada por paredes escarpadas, sobretodo en su lado sur. Tal lado, que coincide con la cordillera Terciaria del Balsamo, presenta escarpadas que llegan hasta unos 500 m de altura. El lado norte en cambio, esta caracterizado por declives menos acentuados (de 150 a 200 m).
La depresion, ocupada por el lago del mismo nombre, constituye el mas extenso deposito de agua de todo el pais, teniendo una superficie de 75 km2 y alcanzando en su centro una profundidad de 248 m (fig. 5.2). La laguna esta alimentada por una serie de torrentes de los cuales los mas importantes son, el rio Chaguite que se encuentra sobre su lado orientado, el rio Gualachapa sobre su lado septentrional y el rio Arenal de Cujuapa sobre su angulo nor-oriental.
Existe ademas, un solo emisario, el rio Desague que se convierte poco despues en el rio Jiboa.
El borde de la depresion aparece muy irregular, estando constituido por toda una serie de golfos y peninsulas, siendo las principales: la peninsula de Lacotename, Cutename, Chaltipa, Cutaliya y Chanchucuyo; las playas de Cujuapa, San Pedro, San Martin, Rincon de Las Canas y Atuscatla; las islas volcanicas Los Patos y Cerros Quemados (formadas en tiempos historicos).

5.1 Estructura volcanica y lineamientos tectonicos asociados

La caldera del Ilopango puede ser definida como un verdadero "campo volcanico", en el cual el lago homonimo ocupa una zona repetidamente interesada por colapsos; su misma morfologia, sugiere una historia extremadamente compleja. Como se verá, en el siguiente capitulo, la cuenca de Ilopango ha estado en el curso de su evolucion, interesada

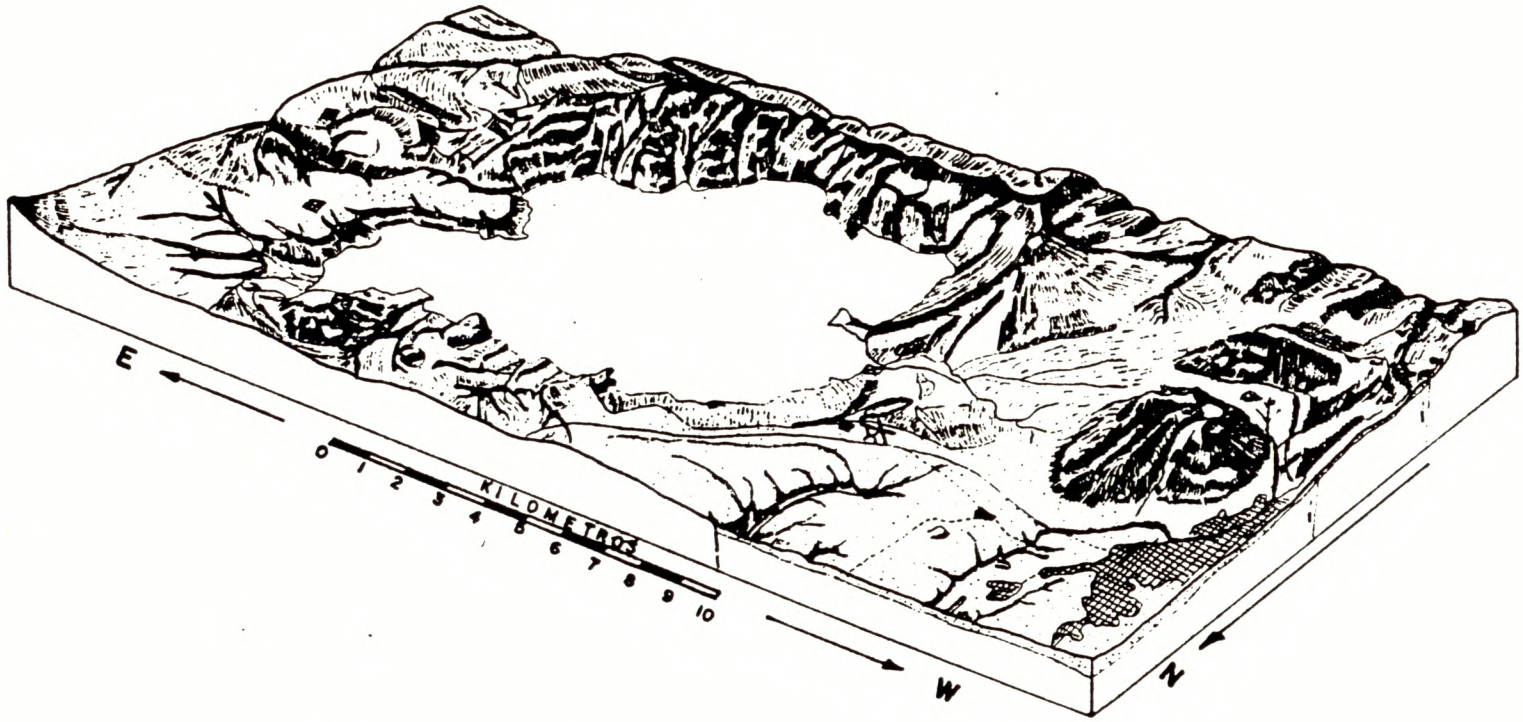


Fig. 5.1. Caldera Ilopango. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

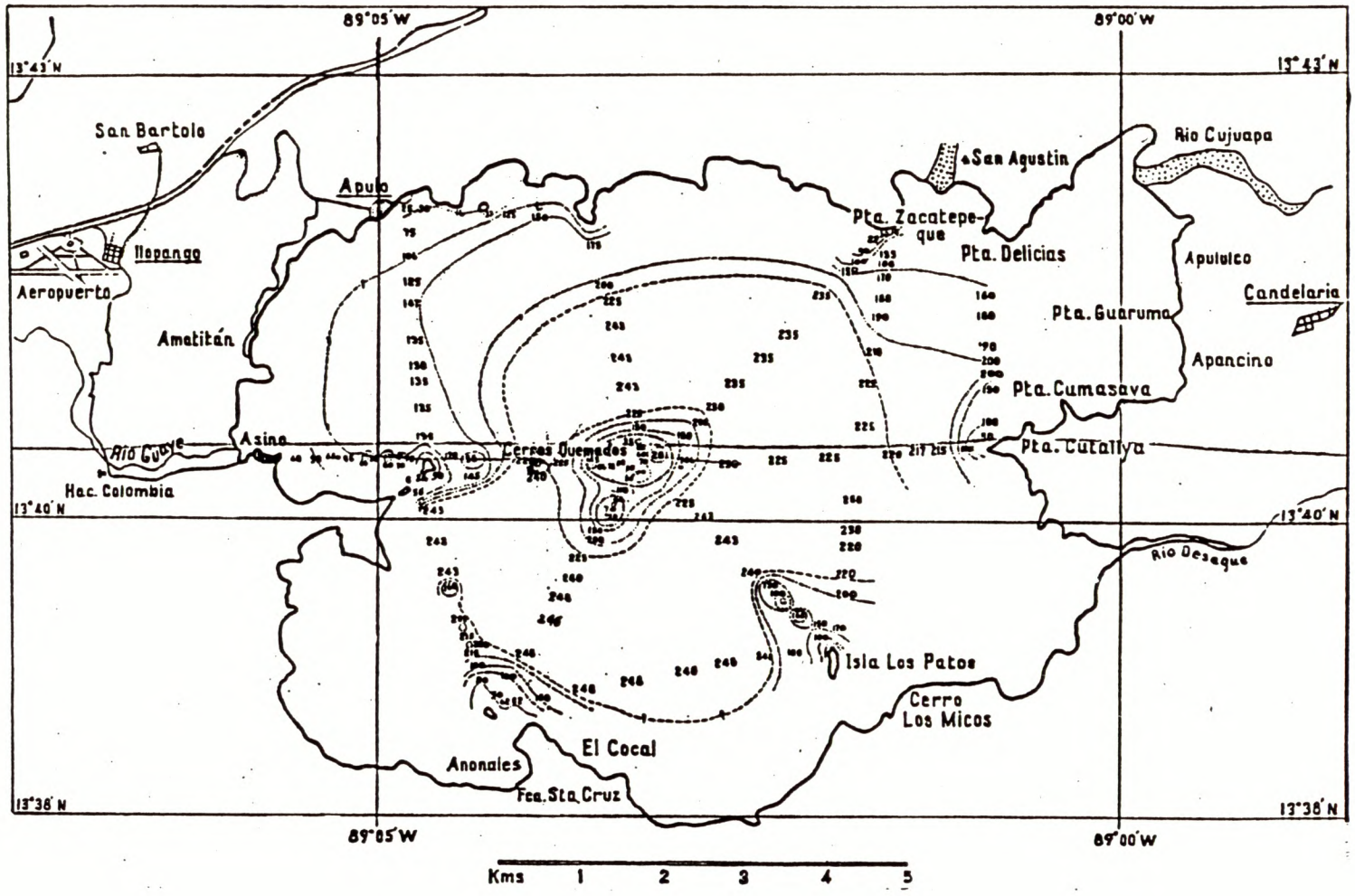


Fig. 5.2. Lago de Ilopango. Carta de profundidades (profundidades relacionadas a nivel de agua = 438m sobre nivel del mar) M. Meyer-Abich, Lotungen (1952).

mas veces por hundimentos consecuentes a una actividad explosiva intensa. La superposicion de varios lineamentos tectonicos regionales ha claramente controlado tales eventos, asi que la mayor parte de los colapsos acontecieron siguiendo lineas de debilidad estructural.
Desde este punto de vista, la caldera del Ilopango, puede ser considerata de origen volcano-tectonico.
Examinando la fig 5.3, se puede notar, como la zona ocupada por la caldera, esta interesada por todos los sistemas de fallas descritos en el capitolo 2.
En particular se tiene:
- un sistema E-W: pocos son los lineamentos visibles que interesan la caldera (entre los cuales el que corre paralelo al rio El Desague) pero su forma alargada en esta direccion puede ser una prueba, que tal "trend" (referido a la formacion de la fosa) ha jugado un papel importante, al menos en las primeras fases de actividad de tal complejo;
- un sistema NS: aunque tal sistema esta actualmente poco representado, podria haber tenido un papel importante en el pasado, como prueba la falla que interesa el lado occidental de la Punta Chancarnero.
- los sistemas NW y NE: tales "trends" estan en cambio, bien representados. Los lineamientos se interrumpen poco al N de la caldera y continuan poco al S de ella.
Estructuras caracteristicas (fig. 5.3) sobre las riberas del lago en correspondencia de tales fallas indican, como varios centros eruptivos relativamente recientes se han emplazado en tal zona de debilidad.
Resulta por lo tanto, claro, que junto al ultimo colapso acaecido en concomitancia o poco despues de la erupcion de la TBJ; tambien la tectonica reciente ha determinado la configuracion del actual complejo. Se necesita, de cualquier modo, tener presente que muchos centros activos en el pasado, estan ahora bajo el nivel del agua. Los que afloran y por lo tanto reconoscibles, son las islas volcanicas de Los Patos y los domos historicos de las Islas Quemadas.

5.2 Historia eruptiva

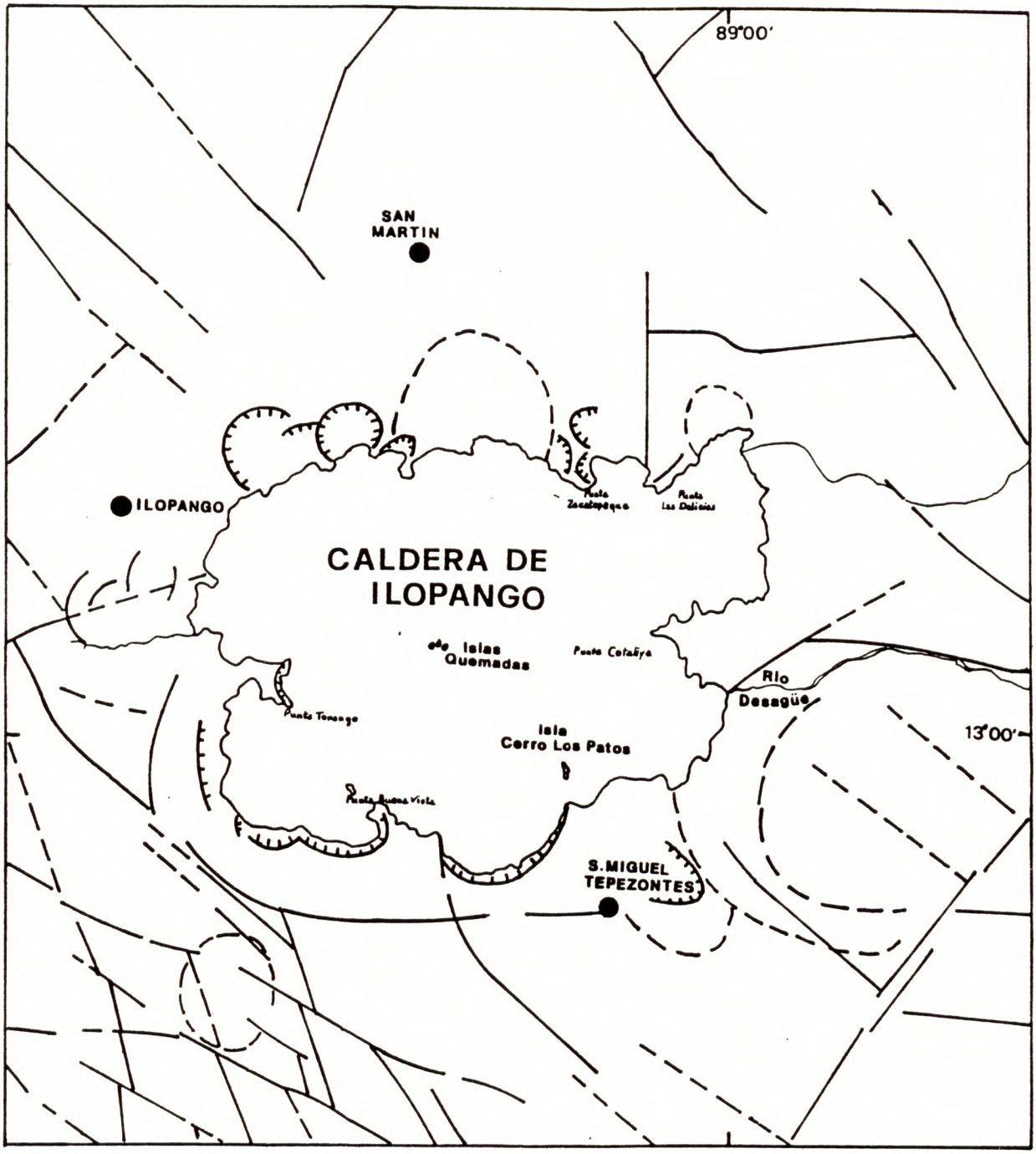


Fig. 5.3. Caldera de Ilopango. Estructuras volcanicas y sistemas de fallas.

En el curso de su historia, la caldera del Ilopango ha estado caracterizada principalmente por un tipo de actividad explosiva acida que ha generado extensas y espesas coberturas de depositos piroclasticos. Williams y Meyer-Abich (1955), intentaron por primera vez, una reconstruccion de detalle de la historia eruptiva de tal complejo y aqui se presenta en parte sus estudio por lo que se refiere a la fase mas antigua.

La primera fase de actividad tiene lugar en connexion con la formacion del graben principal de El Salvador mas o menos entre el Plioceno y el Pleistoceno. Los afloramientos del basamento Pliocenico estan poco y escasamente expuestos, dada la espesa cobertura de piroclastitas recientes; las pocas exposiciones sobre las paredes escarpadas meridionales de la caldera del Ilopango (cadena del Balsamo) y en algunos puntos de la zona W, muestran rocas de naturaleza andesitica y basaltica con inclinaciones hacia el exterior (en direccion sur) de la cuenca de Ilopango. Casi seguramente todas estas volcanitas fueron eruptadas por aparatos que existieron hace tiempo en la zona que ahora es la fosa mediana.

Simultaneamente al primer colapso en la depresion estructural se verifico una fuerte actividad de naturaleza dacitica con emisiones de productos piroclasticos y formaciones de domos. Williams y Meyer-Abich, (1955) exponen la hipotesis, de que gran parte de la actividad explosiva de este periodo, fue concentrada en centros situados en la zona que ocupa el lago. Los flujos piroclasticos se extendieron principalmente en direccion norte hasta las pendientes del volcan Guazapa) estando al sur limitadas por la escarpada del Balsamo: un accidente topografico demasiado abrupto para ser superado.

Las tobas daciticas que se encuentran (en direccion hacia el sur) en la zona del Balsamo, parece de cualquier manera, referibles al mismo periodo.

Tales piroclastitas (parte de los "aglomerados" del mapa vulcanologico) afloraron en varias zonas, ya sea al norte de la caldera de Ilopango que en la parte meridional de la ciudad de San Salvador (area de Los Planes de Renderos): se

trata principalmente de flujos piroclasticos y lahares, siempre muy alterados.

Como se ha definido, juntamente a la actividad piroclastica, en este periodo, se origino la estrusion de domos entre los cuales estan Las Lomas de San Pedro (N del lago), los cerros Las Delicias (al NW), el cerro Buena Vista (sobre la orilla NE del lago).

Al final de este periodo en la cuenca rellenada, en parte tambien por material retrabajado, se verifico otro colapso, siempre siguiendo las mismas directrices vulcano-tectonicas (Williams y Meyer-Abich, 1955); eso definio en manera todavia mas clara, la cuenca original del Ilopango.

Tal colapso, topograficamente no exactamente coincidente con el precedente, fue todavia otra vez acompanado y precedido por estrusiones de domos y emisiones de productos piroclasticos. Al primer periodo de este ciclo de actividad estan referidos probablemente la formacion de domos y la emision de productos piroclasticos (flujos piroclasticos y depositos de caida) que por su color cafe, debido a un grado de alteracion bastante elevado, son conocidos en la literatura como "tobas color cafe" (Tobas inferiores y Tobas superiores pro-parte mapa vulcanologico).

El tercer y ultimo colapso en la depresion del Ilopango, fue precedido por un largo periodo de erupciones que origino los productos daciticos conocidos en la literatura como Tierra Blanca s.l. (Tobas superiores) y que termino con la emision de la Tierra Blanca Joven. La secuencia de depositos de la Tierra Blanca (flujos piroclasticos y depositos de caida) se distribuien sobre un area bastante grande y con espesores que en la zona occidental de la caldera llegan hasta de 50 m. Precedente a la emission de la TBJ se pueden reconocer almenos tres grandes erupciones (fig. 5.4) separadas por intervalos de tiempo no grandes.

La primera representada por el "Fall bandeado TB4" ha sido muy probablemente una pliniana de notable entidad como lo prueban los espesores del deposito TB4 que en la ciudad de San Salvador (aproximadamente a 10-12 km de la caldera del Ilopango) tienen todavia espesores hasta de 5m. con dimensiones de las pomez de 4-5 cm.

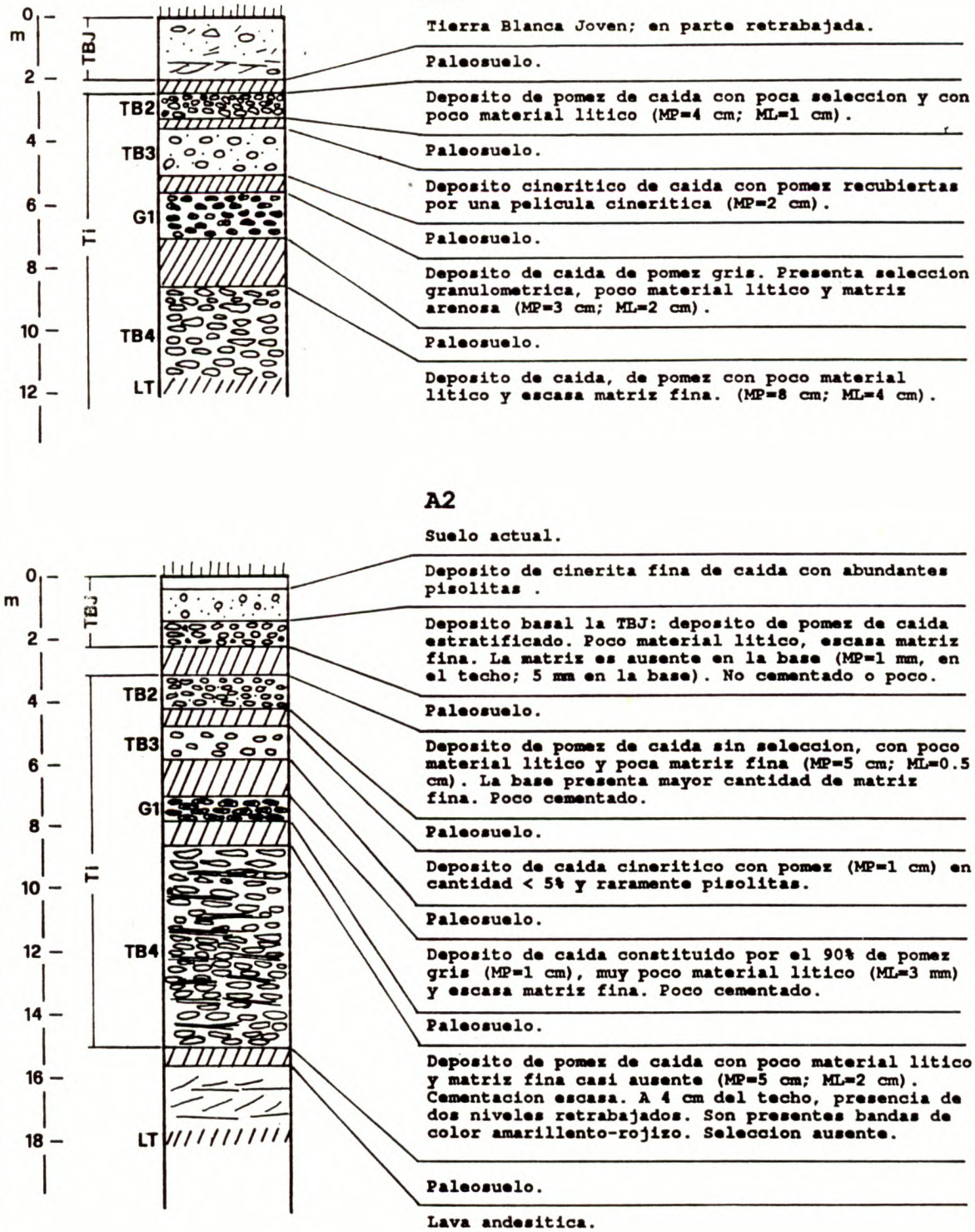
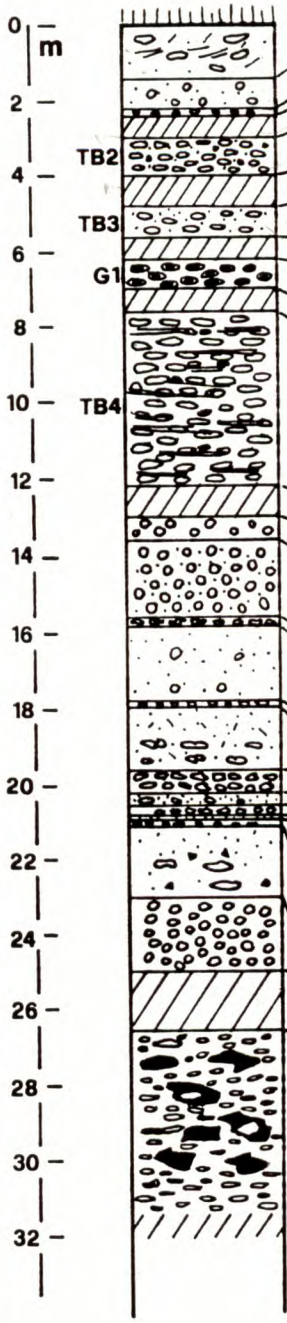


Fig.5.4. Columnas estratigraficas (Distrito Sanitario A3)

Las dos mas recientes erupciones reflejan una actividad explosiva de menor entidad.
La mas baja, representada por la cinerita pomitica TB3, por la granulometria del material y la presencia de pisolitas puede ser con razon, referida a un tipo de actividad principalmente freatopliniana, producida de la interaccion explosiva con el agua del lago.
La penultima erupcion esta, en vez, representada por el pequeno "fall" pliniano TB2 y esta separada de la sobreyacente TBJ por un paleosuolo de reducidas dimensiones.
La erupcion que senala el final de este ciclo eruptivo (TBJ) ha sido estudiada en detalle por W. Hart y V. Steen-McIntyre (1983).
Ellos han efectuado una amplia serie de dataciones con el metodo del C14 y han definido para tales depositos una edad media de 260 +/- 114 D.C. (Tab 2).

La erupcion que origino, hace aproximadamente 1700 anos los depositos de TBJ, fue el resultado de una compleja actividad en la cual, grandes cantidades de agua, probablemente derivadas del viejo lago de Ilopango, tuvieron un papel fundamental. Del examen de la fig 5.5, se puede ver que se trata de una erupcion muy compleja, donde se pueden distinguir tres fases principales:
- una fase inicial pliniana, de naturaleza prevalentemente magmatica, con produccion de grandes nubes eruptivas que alcanzaron varios km de altura y deposicion de un caracteristico "tephra" (deposito basal de la fig 5.5);
- una fase "freatopliniana" causada por la interaccion del magma fragmentado con agua;
- una fase ignimbritica con colapso gravitacional de la columna eruptiva y produccion de flujos piroclasticos.
La explosion inicial, fue probablemente un pequeno "blast" en direccion, SE (W. Hart, V. Steen-McIntyre, 1983) de una zona situada sobre el lado NW del presente lago.
Esto produjo el sutil estrato de ceniza basal.
El "blast" inicial, fue seguido por una explosion mas fuerte, probablemente proveniente de una boca situada al



A3

Deposito de flujo piroclastico retrabajado.

Deposito de caida cineritico con pisolitas.

Deposito de base de la TBJ.

Paleosuelo.

Deposito de caida, de pomez, con escaso material litico y poca matriz fina (MP=4 cm; ML=0.5 cm).

Paleosuelo.

Deposito de caida cineritico, con pocas pomez a veces recubiertas por una pelicula cineritica (MP=1 cm).

Paleosuelo.

Deposito de caida constituido por pomez gris y poco material litico en una escasa matriz fina (MP=3 cm; ML=1.5 cm). Sin seleccion. Son presentes bandas de alteracion.

Paleosuelo.

Deposito de pomez de caida, sin seleccion y poco cementado. Material litico poco abundante y matriz fina casi ausente (MP=4 cm; ML=2 cm). Son presentes bandas de alteracion de color amarillento-rojizo.

Paleosuelo.

Deposito de caida cineritico bien cementado y rico en pisolitas. En la base es presente una corteza de alteracion muy delgada.

Deposito de caida cineritico con muchas pisolitas (O= 1.5 cm). Poco cementado.

Deposito de caida de pomez, sin seleccion y con escasa matriz fina.

Deposito de caida cineritico con pisolitas.

Deposito de pomez de caida, con una gradacion invertida, constituido por poco material litico y una escasa matriz fina (MP=3 cm; ML=0.5 cm). Pedogenizado.

Flujo piroclastico de ceniza. La parte superior esta' constituida por ceniza. El espesor de 10 cm desde el techo aparece pedogenizado. En la parte inferior se encuentra poca pomez gris poco vesiculada; no es presente material litico (MP=1.5 cm). Color: blanco.

Deposito de caida constituido por pomez gris afirica, cementado por alteracion. Poca seleccion, sin gradacion. Esta' presente mucho material litico (MP=4 cm; ML= 2.5 cm).

Deposito de flujo piroclastico de ceniza similar a a), pero amarillento.

Deposito de caida de pomez gris. Similar a b). Material litico = 50% (MP=2.5 cm; ML=3 cm).

Deposito de caida constituido por arena.

Deposito de caida de pomez gris, semejante a b) (MP=2 cm), pero con menor cantidad de material litico (ML<0.5 cm).

Deposito de flujo piroclastico de ceniza, con poca pomez y poco material litico. La base esta' constituida por arena estratificada.

Deposito de caida cineritico con una gran cantidad de pisolitas (O=2 cm); poco cementado.

Paleosuelo.

Deposito proximal de caida, constituido por escorias y por gran cantidad de material litico. La matriz esta' casi ausente. El material litico y las escorias estan muy alteradas (ME=30 cm; ML=60 cm).

MP = diametro maximo de la pomez;
ML = diametro maximo del material litico;
ME = diametro maximo de las escorias;
O = diametro maximo de las pisolitas.

A1 = Mojo de Agua;
A2 = Hogar del Nino;
A3 = Autopista Comalapa San Salvador.

Fig.5.4 (Continua). Columnas estratigraficas (Distrito Sanitario A3)

UNIDAD ERUPTIVA	N° MUESTRA	DATACION C14 (AD)
Tierra Blanca Joven	TX 3114	50+/-50
	TX 3122	340+/-60
	TX2324	30+/-60
	264b	270+/-85
	2534b	300+/-95
	2535b	450+/-70
	5001b	550+/-310
	5002b	390+/-70
	5004b	60+/-215
	MEDIA	260+/-114

Tab. 2 Dataciones radiometricas (C14)
(Datos por W. Hart y V. Steen Mc Intyre, 1983)

TIERRA BLANCA JOVEN AD 260 +-114

UNIDAD (ESPESOR MAXIMO OBSERVADO, METROS)	CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO	INTERPRETACION
Deposito de caida (> 4)	Grano fino, raros niveles de pomez, liticos y pisolitas	CO-IGNIMBRITA (Deposito de caida)
Deposito de flujo piroclastico (15)	Matriz fina. Pomez y liticos tambien grandes	IGNIMBRITA (Flujo piroclastico)
Unidad de surge (0.55)	Laminares, ricos de cristales	BASE SURGE
Deposito de caida cineritico (6)	Grano fino. Muchas pisolitas.	ERUPCION FREATOPLINIANA
Deposito basal de lapilli pomiceos (0.50)	Grano grueso. Lapilli pomiceos; ay poca matriz fina	EXPLOSION INICIAL
Deposito basal cineritico (0.37)	Grano fino; presencia abundante de liticos	

Fig.5.5 Facies deposicionales de la Unidad Tierra Blanca Joven (W.J.E. Hart, V. Steen-McIntyre 1983, modificada)

lado N del lago, que produjo un estrato de granulometria gruesa que se encuentra en la base de la TBJ.
Despues de esto, la actividad se volvio probablemente mas intensa y por una serie de bocas vecinas a la orilla oeste del lago, con varias explosiones de tipo freatopliniano, fueron emitidas las cenizas del deposito T2. La fina granulometria de este deposito junto con las pisolitas en el contenidas, comprueban su origen freatomagmatico.
Las cenizas T2 fueran dispersadas sobre una zona muy amplia y su deposicion fue muy probablemente controlada por la direccion del viento.
Despues de la emision de T2, la actividad llego a su culminacion; una gigantesca serie de explosiones produjeron los depositos de surge, flujo piroclastico y de caida observables todavia.
Los flujos piroclasticos (T1c) se dirigieron a las zonas menos elevadas, pasando sobre las vecinas colinas (Cerro San Jacinto), contornando a otras, y fluyendo en los valles.
Del oeste estos fluyeron al sur del Cerro San Jacinto en el Valle de San Marcos y al nor-oeste en el area de San Salvador.
Limitados al S por la Cadena del Balsamo y al NW por el complejo volcanico del San Salvador, algunos flujos alcanzaron Nejapa y llegaron sobre el S. Salvador, hasta 1600 m. de altura. (a esta altura se encuentra la completa secuencia de la TBJ con espesores hasta de 2m.). Al N del Ilopango, depositos de TBJ bien conservados se encuentran en la ciudad de San Martin y al este en el Valle de San Vicente.
Por lo que se refiere al deposito de caida cineritico T1r ligado a los flujos piroclasticos, este no esta bien conservado y en muchos lugares esta ausente.
W. Hart y V. Steen McIntyre en su trabajo de 1983 sugieron que los depositos de TBJ alcanzaron mas de 100 km de distancia de la boca eruptiva, cubriendo un area de 10,000 km2 con depositos mas espesos de 50 cm y un area de 3,000 km2 con espesores de un metro.

Despues y probablemente en parte, al mismo tiempo de la emision de la TBJ, se verifico el tercer colapso que definio la configuracion de la actual caldera del Ilopango.
Es a esta ultima fase de la historia del Ilopango, que pertenece la formacion de los domos. Del periodo reciente (post-colapso) son todas aquellos que se encuentran en el interno o en los margenes del actual lago, es decir: la isla de los Patos, el cerro Los Micos, algunos pequenos domos y especialmente las Islas Quemadas cuya formacion fue observada hace unos 100 anos aproximadamente.

5.3 Erupciones historicas: Islas Quemadas

La ultima erupcion que ha interesado al sistema volcanico de Ilopango esta ligada a la formacion de las "Islas Quemadas", pequenos islotes que afloran en la parte central del lago, formados entre diciembre de 1879 y marzo de 1880. Se trata de la parte somital de un grupo de domos daciticos, cuyo emplazamiento fue causa de variaciones en el nivel del lago y de variadas erupciones de vapor y ceniza de modesta importancia.
De la descripcion reportada en varias publicaciones de la epoca se recaba la siguiente historia eruptiva: la formacion de los domos fue anunciada por una serie de terremotos que iniciaron al 20 de diciembre de 1879 y que fueron registrados hasta el 31 de diciembre; estos danaron esencialmente los pueblos de la zona S de la caldera.
El 31 diciembre, cesaron los terremotos y al mismo tiempo, probablemente seguido del inicio de la estrusion de los domos, comenzo a ascender el nivel del lago que el 11 de enero de 1880, alcanzo su maximo nivel (1.22 m sobre su nivel normal). El emisario del lago, el rio El Desague, aumento su caudal de 7 a 24 M3/s del 12 hasta el 20 de enero y por esto profundizo su lecho cerca de 10 m. Del 12 de enero en adelante, el nivel del lago se bajo nuevamente.
Probablemente la efusion de lava ceso alrededor del 20 de enero, momento en el cual la punta superior de los domos (Islas Quemadas) emergió a la superficie; tal fenomeno fue

aconpanado por una explosion que produjo una gran columna negra de vapor y cenizas.

El nivel del lago continuo bajando a causa de la profundizacion del rio El Desague y el 6 de marzo alcanzo los 9.27 m, un nivel mas bajo del original (pre-evento eruptivo). Emisiones periodicas de humo se produjieron durante todo el tiempo y las columnas alcanzaron alturas de 500-700m. Al 19 de marzo estan descritas ulteriores erupciones de vapor y ceniza.

Del 23 de enero hasta el comienzo de marzo, la forma y altura de las Islas Quemadas cambiaron frecuentemente ya sea por motivos volcanicos o por oscilaciones del nivel del lago. Al final de enero su altura era de 30-40 m; al final de febrero se tenia una sola isla de 150 m de diametro y cerca de 50 m de altura.

En el mes de marzo el numero y altura de las islas vario continuamente.

El 19 de marzo una nueva masa de lava salio a la superficie y desde un pequeno crater ocurrieron explosiones con intervalos de una media hora.

Este evento marco el final de la crecida de los domos; pocos dias despues todo lo que permanecia eran dos pequenas islas. Desde este tiempo excepto por ocasionales emanaciones de azufre, el lago ha permanecido tranquilo y lo que hoy se puede observar es una linea de ordenados pinaculos de altura hasta 5 m. y dispuestos en una distancia de cerca 200 m. (fotos 12, 13, 14).

6. PETROGRAFIA Y PETROLOGIA

El estudio petrologico se ha hecho con el objeto de establecer una situacion general de la evolucion magmatologica de los principales aparatos presentes en el area de San Salvador.
La disponibilidad de datos quimicos y petrograficos en la literatura ha permitido limitar el estudio a solo los productos mas representativos sobre los cuales la informacion bibliografica o era muy escasa o no se tenia.
Con este punto de vista, se han realizado 8 nuevos analisis quimicos teniendo en cuenta que:
- por el aparato del Boqueron existe una buena cantidad de datos bibliograficos;
- los analisis relativos al antiguo edificio del San Salvador faltan; el nuevo analisis efectuado tiene esencialmente el objetivo de dar una idea del tipo de productos emitidos precedentemiente al Boqueron;
- el cerro San Jacinto se ha caracterizado en sus periodos de actividad mas recientes esencialmente por estrusiones de domos.
Dos nuevos analisis se han realizado con el objeto de tener una idea del quimismo de sus productos de todas formas bastante viejos.
La caldera del Ilopango ha tenido una historia eruptiva muy compleja. Un analisis petrologico detallado de tal "complejo volcanico" requeriria un trabajo de muestreo y de analisis quimico y geoquimico mas amplio de lo que ha permitido el caracter urgente del presente trabajo.
El estudio necesariamente limitado ha estado por eso enfocado a la definicion de los tipos magmatologicos mas comunes y representativos cuales los domos y las grandes cubiertas piroclasticas (TBJ) introduciendo tambien una muestra de lava basica como posible ejemplo de magma "primario".
En la tabla 3 estan reportadas las muestras analizadas quimicamente, en el Apendice III las descripciones petrograficas de las muestras estudiadas y en el Apendice IV

MUESTRA	PROCEDENCIA Y TIPO LITOLOGICO
SS1	Volcan San Salvador. Lava
SS9	Caldera del Ilopango. Lava de un cono basico
SS10	Caldera del Ilopango. Lava de un domo
SS11	Cerro de San Jacinto. Lava de un domo
SS12	Cerro de San Jacinto. Lava de un domo
SS13	Boqueron. Lava
SS17	Tierra Blanca Joven. Pomez del "fall" basal
SS18	Tierra Blanca Joven. Pomez del "surge"
SS19	Tierra Blanca Joven. Pomez del flujo piroclastico T1c

Tab. 3 Elenco de muestras analizadas

los nuevos y anteriores analisis con las relativas normas CIPW.
Antes de pasar a una descripcion exacta de los varios diagramas quimicos en el capitulo siguiente, viene reportado un sumario de la descripcion petrografica (sobre la base de los nuevos datos y de la literatura) de los productos del cerro San Jacinto, Ilopango y el complejo del San Salvador; estos datos serviran en efecto como base para la consiguiente interpretacion petrologica.

6.1 Petrografia

Complejo Volcanico San Salvador

Los productos partenecientes a esto grupo son basaltos, andesitas basalticas y andesitas generalmente de mediamente a muy porfiriticas. Los fenocristales son de Plagioclasa (An 96-An 53), Augita, Olivina (frecuentemente con bordes de piroxeno), Magnetita y algunas veces de Ortopiroxeno.
La masa de fondo consiste de Plagioclasa, Augita, Magnetita y vidrio en varias proporciones.
Frecuentemente se presentan glomeroporfiritas con Plagioclasa, Olivina, Magnetita y Augita.
Los analisis modales de algunas muestras estan reportados en la Tab. 4.

Cerro San Jacinto

Los productos del cerro San Jacinto son andesitas, andesitas acidas y dacitas.
Se trata de rocas porfiriticas con fenocristales de Augita, Plagioclasa, Ortopiroxeno, Magnetita a veces Anfibolo.
La masa de fondo esta constituida por vidrio, Plagioclasa, Magnetita, Clinopiroxeno en cantidades variables. Estan presentes glomeroporfiritas con Clinopiroxeno, Plagioclasa y Ortopiroxeno y a veces inclusiones basalticas y andesiticas.

Caldera del Ilopango.

Las lavas de los conos basicos de la zona son tipicos basaltos olivinicos con estructuras medianamente a muy porfiriticas, a veces casi doleriticas constituidas por

MUESTRA Y PROCEDENCIA	%MODAL FENOCRISTALES				% MODAL PASTA DE FONDO			
	Pl	Cpx	Opx	Ol	Pl	Cpx	Opx	vidrio
B6 :Serie lavica inferior	28. 4	7.6	1. 1	3. 8	28	10. 8	8. 1	12. 3
B11 : Serie lavica superior	32. 2	2.0	0. 2	3. 7	10	40	9. 8	2. 1
B22 : lava El Playon	10	0.2	-	0.1	21. 6	1.5	2. 5	59. 1
B3 : Boqueroncito	6. 7	1.7	0.7	1.6	55. 8	23.0	6.7	3.8

Tab. 4 Analisis modales de algunas muestras representativas del Boqueron (Fairbrothers et al., 1978). Pl = Plagioclasa, Cpx = Clinopiroxeno, Opx = Ortopiroxeno, Ol = Olivino.

Clinopiroxeno, Plagioclasa, mucha Olivina y Magnetita. Las Lavas de los domos son en vez dacitas muy vidriosas con Plagioclaso, Clinopiroxeno, Anfibolo y Magnetita.
El estudio petrografico de los depositos de Tierra Blanca es mucho mas complejo siendo estos, depositos de material fragmentado. Las pomez de tales TB son en general vidriosas a veces con pocos cristales de Plagioclasa, Anfibolo y algun oxido. Por lo que se refiere a los niveles de matriz mas fina un estudio esmerado ha estado efctuado por W.J.E.Hart y V. Steen McIntyre (1983). Muestras de material fragmentado tomado en una misma seccion en las varias unidades que forman la Tierra Blanca Joven, muestran todas una mineralogia muy simple ya sea como tipo o como proporcion.
Omitiendo la fraccion vidriosa, siempre muy alta, los minerales presentes en mayor cantidad son Plagioclasa (Andesina) y Anfibolo acompanados por mediana cantidad de minerales opacos y Ortopiroxeno.
Estan presentes tambien Clinopiroxeno, Apatita y ocasionalmente Zircon y Olivina; no se han encontrado nunca fragmentos de Cuarzo. Esta descripcion refleja claramente una mineralogia tipica de productos dacitico-rioliticos.

6.2 Petrologia

Como se ha definido antes, el estudio quimico ha estado efectuado sobre los datos de nuevos analisis y los anteriores reportados en la literatura de referencia.
De estos analisis han sido calculadas las relativas normas CIPW con Fe2O3 = 15% FeOt para evitar la influencia de oxidaciones sucesivas al emplazamiento y han sido recavados varios diagramas petroquimicos recalculando los analisis sin agua.
De los diagramas clasificativos K2O-SiO2 y K2O/Na2O-SiO2 de la Fig 6.1 y del diagrama Alcali-SiO2 de la Fig 6.2 resulta evidente, como todos los productos pertenecen a la serie calco-alcalina con variaciones de basaltos a andesitas por los grupos de muestras relacionadas a la actividad del antiguo San Salvador y del mas reciente el Boqueron y de

Fig. 6.1 Diagramas clasificativos K20-SiO2 e K20/Na20-SiO2.

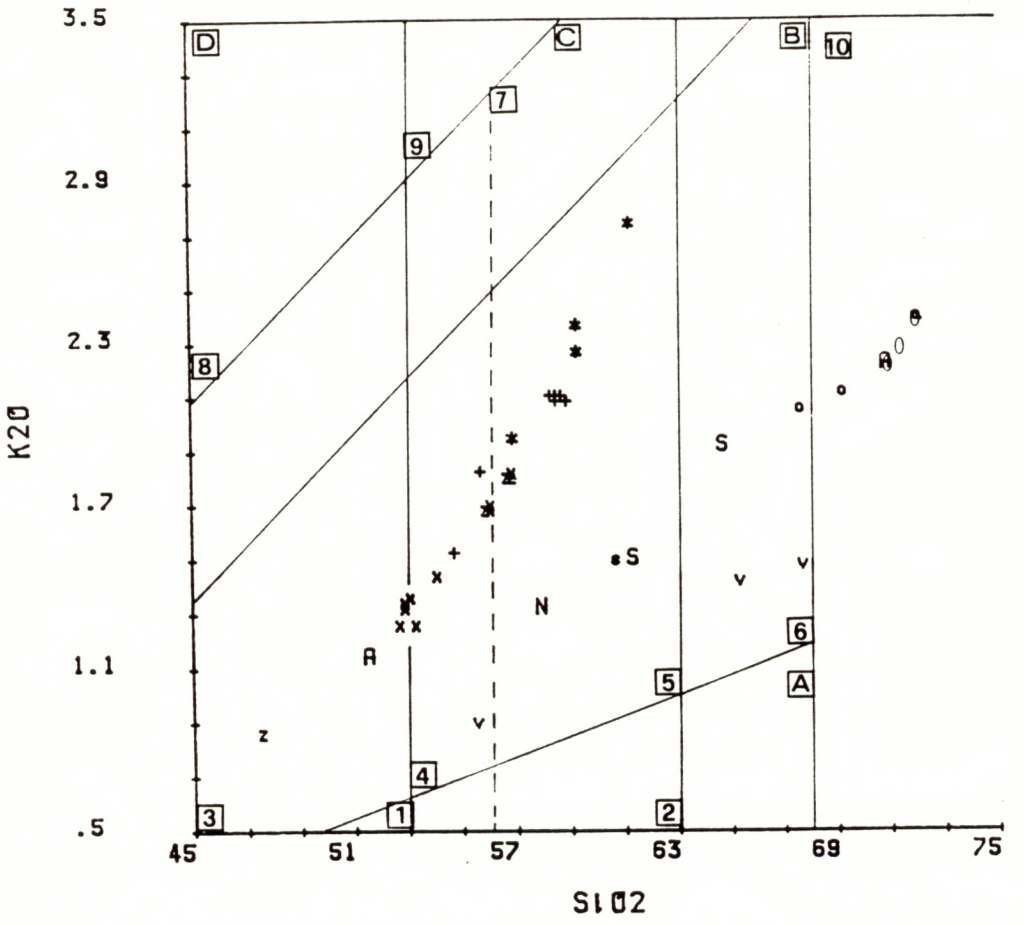
A Serie toleitica
B Serie calco-alcalina
C Serie andesitica alta in K
D Serie shoshonitica

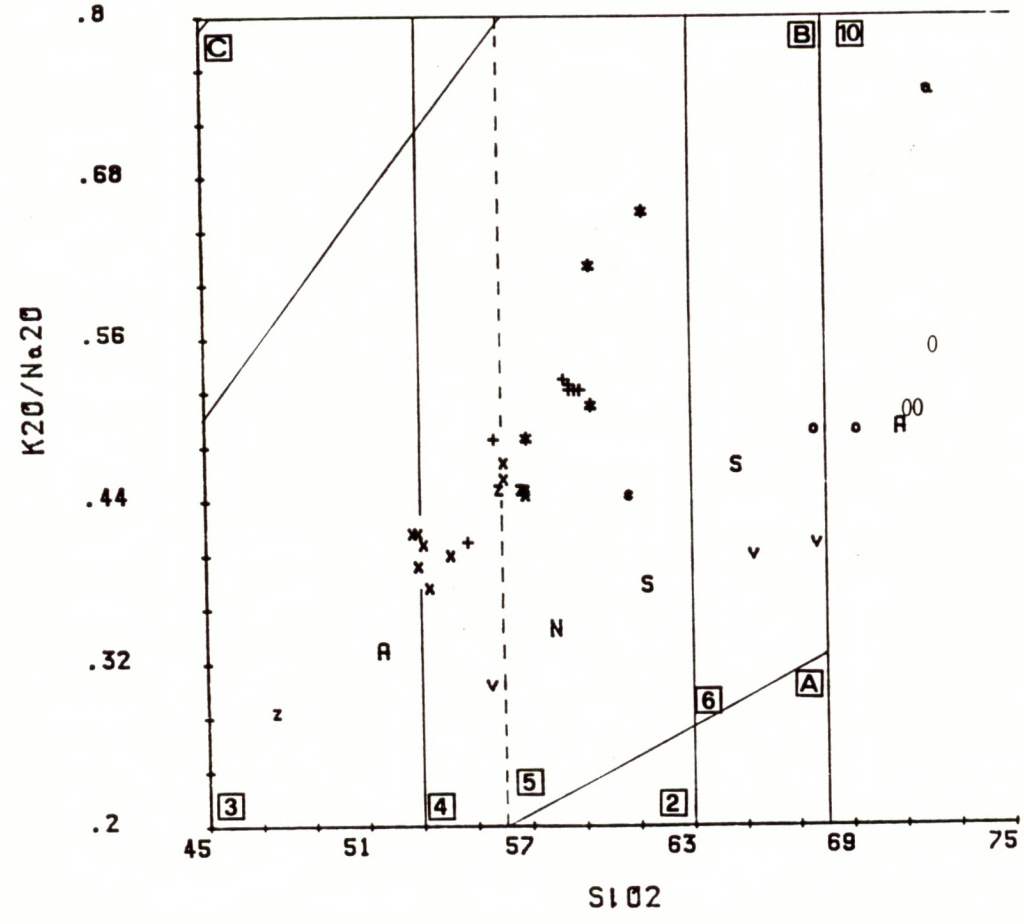
1 - Toleitas, **2** - Andesitas bajas en K20, **3** - Basaltos ricos en Al, **4** - Andesitas bajas en SiO2, **5** - Andesitas, **6** - Dacitas

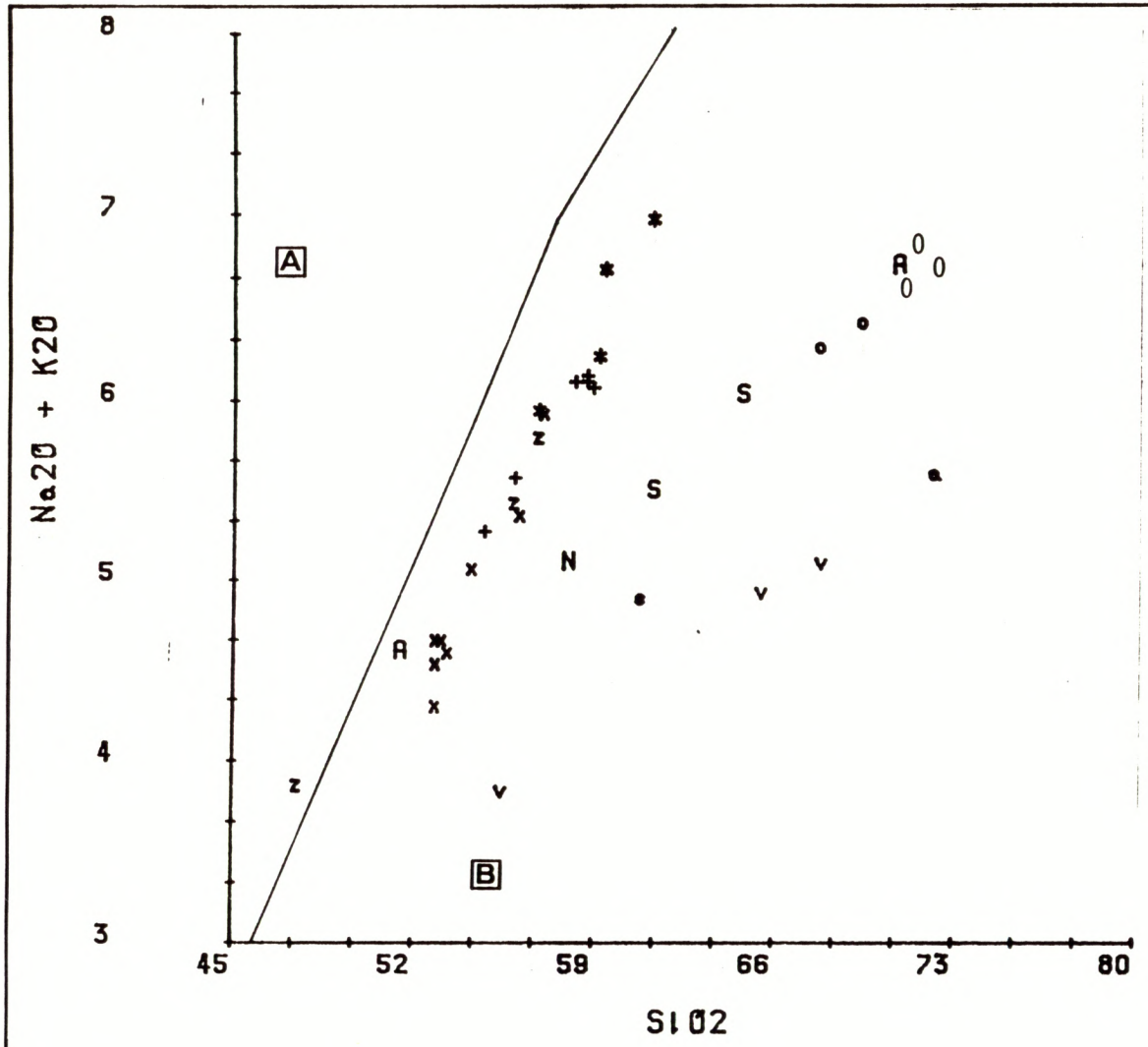
SIMBOLOS

N	Antigua lava del Vulcan San Salvador	
x	Serie lavica inferior	Boqueron
+	Serie lavica superior	
*****	Lavas de erupciones historicas y pre-historicas	
z	Lavas de centros adventicios	
s	Cerro San Jacinto	
S		
v	Islas Quemadas	Caldera Ilopango
a	Tobas Inferiores	
A	Lavas de conos basicos y domos	
o	Tierra Blanca Joven	
0		

Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.


K20
SiO2
3.5
2.9
2.3
1.7
1.1
.5
45
51
57
63
69
75
A
B
C
D
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
N
S


K20/Na20
SiO2
.8
.68
.56
.44
.32
.2
45
51
57
63
69
75
A
B
C
1
2
3
4
5
6
10
N
S



N Antigua lava del Volcan San Salvador
x Serie lavica inferior
+ Serie lavica superior

Boqueron

* Lavas de erupciones historicas y pre-historicas
z Lavas de centros adventicios

s
S } Cerro San Jacinto

v Islas Quemadas
a Tobas Inferiores

Caldera Ilopango

A Lavas de conos basicos y domos

o
o } Tierra Blanca Joven

Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.

Fig. 6.2. Diagrama Na2O + K2O - SiO2 (Irvine & Baragar, 1971). **A = campo alcalino; B = campo subalcalino.**

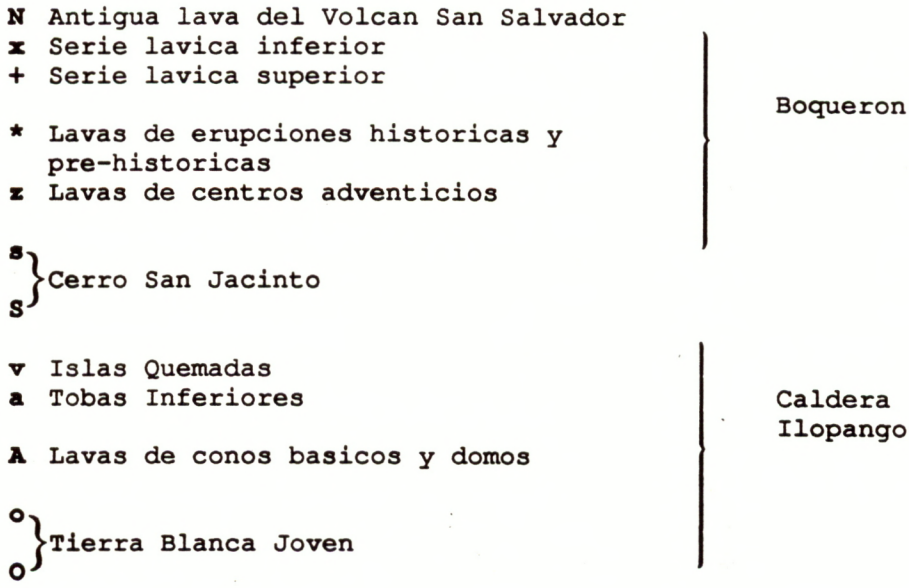
andesitas a dacitas por lo que se refiere a los productos del cerro San Jacinto.
Las muestras relacionadas a la caldera del Ilopango caen todas en el campo dacitico-riolitico con las excepciones de la inclusion basica en las rocas de las Islas Quemadas (I1) y de las muestras del cono basico (SS9) que caen en el campo de los basaltos.
De tales diagramas resulta ademas evidente la existencia de almenos dos "trends" evolutivos con diferentes contenidos en alcali.
El primero, mejor definido y con contenidos en alcali mas elevados esta constituido por productos del Boqueron y por aquellos de los aparatos adventicios situados en su proximidad.
El segundo, caracterizado por una mayor dispersion, esta constituido por productos de los demas aparatos, y parece coincidir, en su termino mas basico (SS9), con el "trend Boqueron".
La dispersion observada en el segundo "trend" puede ser ligada al hecho de que los productos pertenecen a dos diferentes centros eruptivos: San Jacinto y caldera del Ilopango; tales aparatos han tenido una historia eruptiva muy distinta estando relacionados a diversas camaras magmaticas.
Si se observan los diagramas de variaciones de la fig. 6.3 los dos "trends" evolutivos definidos en precedencia, resultan por algunos elementos menos netos, pero siempre bastante evidentes.
El "trend Boqueron", ademas de estar caracterizado por un mayor contenido en alcali, resulta tambien ser ligeramente mas pobre en SiO2, MgO, CaO y por los terminos con DI > 50 mas pobre en Al2O3 y TiO2 y mas rico en MnO y P2O5.
Los dos "trends" resultan en vez, bien identificables en los diagramas FeOtot/MgO-SiO2 (fig 6.4) y AFM (fig 6.5) donde resulta evidente la mayor riqueza en FeOtot de los productos del Boqueron.
Para una mejor comprension de la historia magmatologica de la zona, puede ser a este punto util considerar

seraradamente la evolucion en el tiempo de los productos de cada aparato.

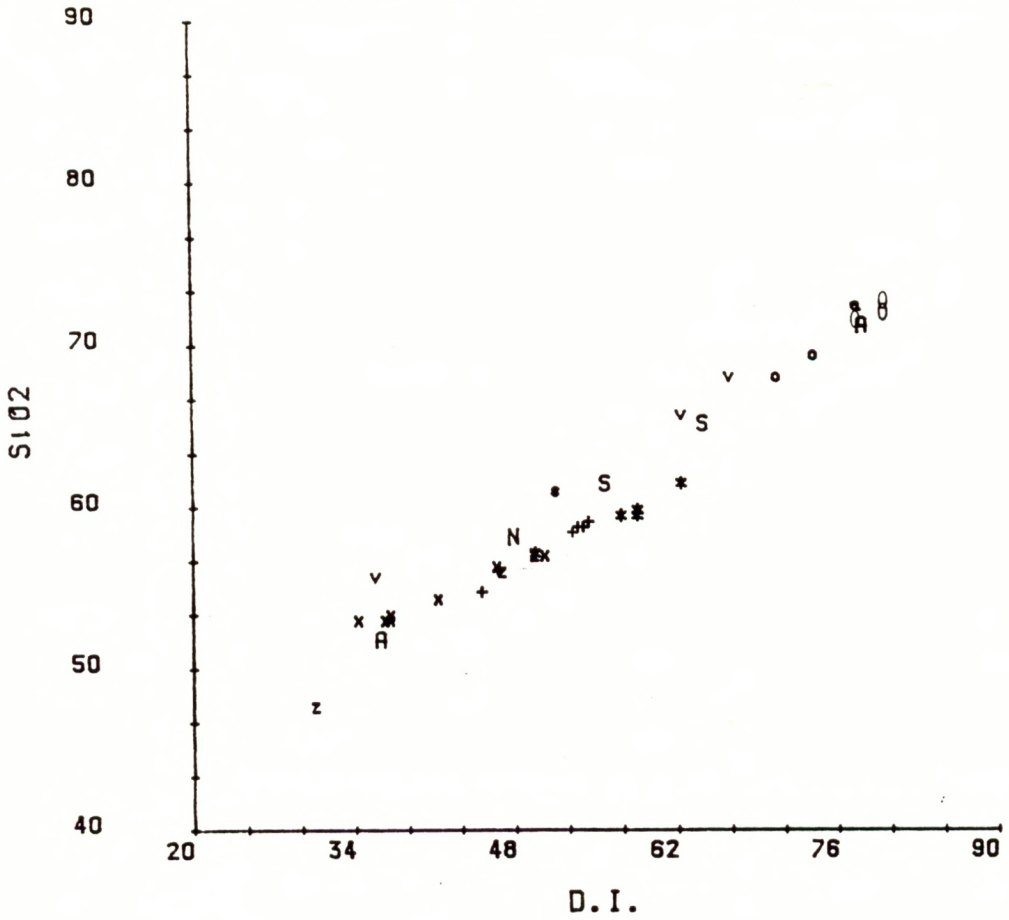
6.2.1 Antiguo edificio San Salvador-Boqueron-Pequenos centros volcanicos

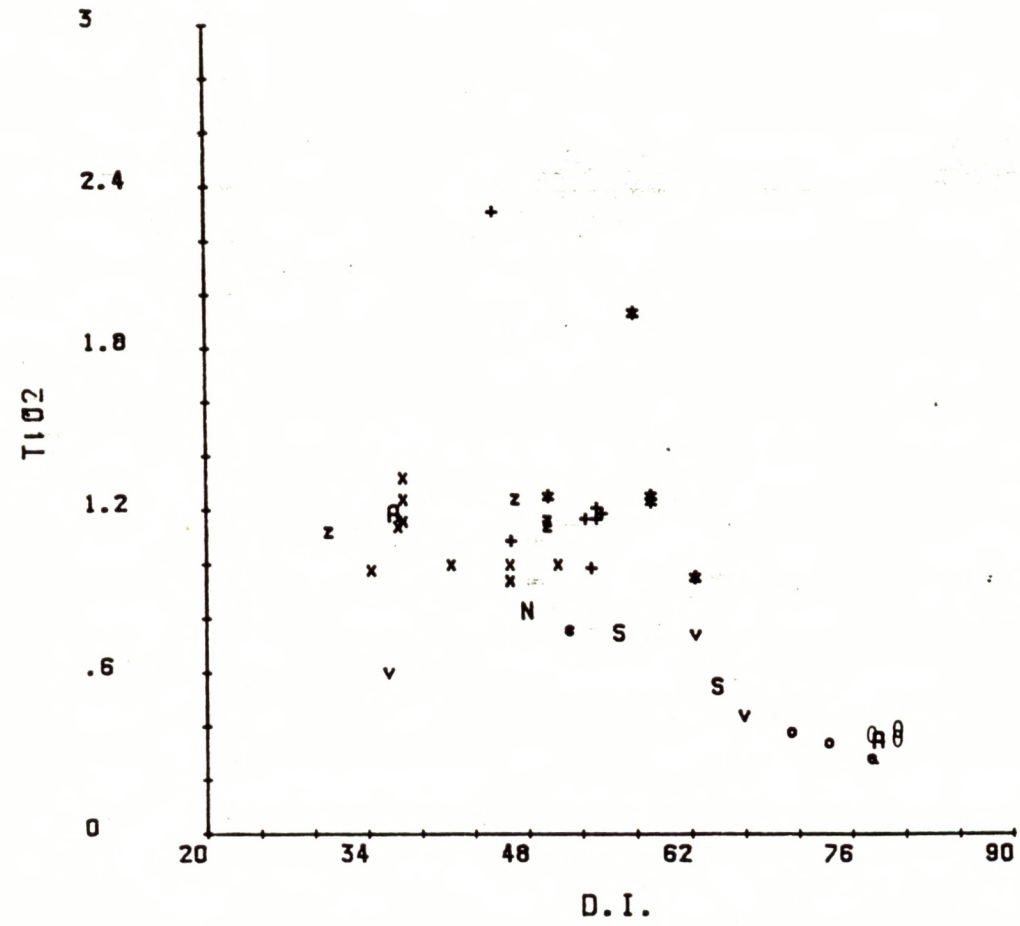
En el estudio de la evolucion magmatologica reciente del edificio volcanico Boqueron sus productos en la mayor parte lavicos, han sido devididos en clases pertenecientes a diferentes estadios temporales de la actividad eruptiva.
Se han por consiguiente, distinguidos las siguientes clases:
- las lavas pertenecientes a la parte baja del crater del Boqueron; - las lavas pertenecientes a la parte mas alta (las dos series estan separadas por una modesta actividad explosiva que ha producido depositos de cenizas);
- las lavas de erupcion historica y pre-historica posteriores a la formacion del crater.
En otra clase estan situados los productos pertenecientes a los pequenos aparatos localizados en la proximidad del volcan. Para tener una indicacion de la actividad precedente al Boqueron ha estado ademas analizada tambien una lava del antiguo aparato San Salvador.
De los diagramas de variacion de la fig. 6.3 resulta evidente como al interno de las variadas clases hay una tendencia al aumentar el DI a un incremento paralelo de SiO2, K2O, Na2O y a un decremento de Al2O3, FeOtot, TiO2, MnO, MgO, CaO y P2O5.
Confrontando los varios grupos entre ellos se puede notar que:
- las muestras de la serie lavica inferior muestran contenidos mas altos en Al2O3 y CaO y mas bajos en FeOtot, MgO, TiO2 respecto a todas las demas muestras;
- cada ciclo eruptivo muestra un "trend" evolutivo que, inicialmente en ligera superposiccion con aquellos del ciclo precedente, se extiende hacia terminos finales mas evolucionados;
- las muestras pertenecientes a pequenos centros volcanicos en la proximidad del Boqueron (El Playon: EP, B22 y la

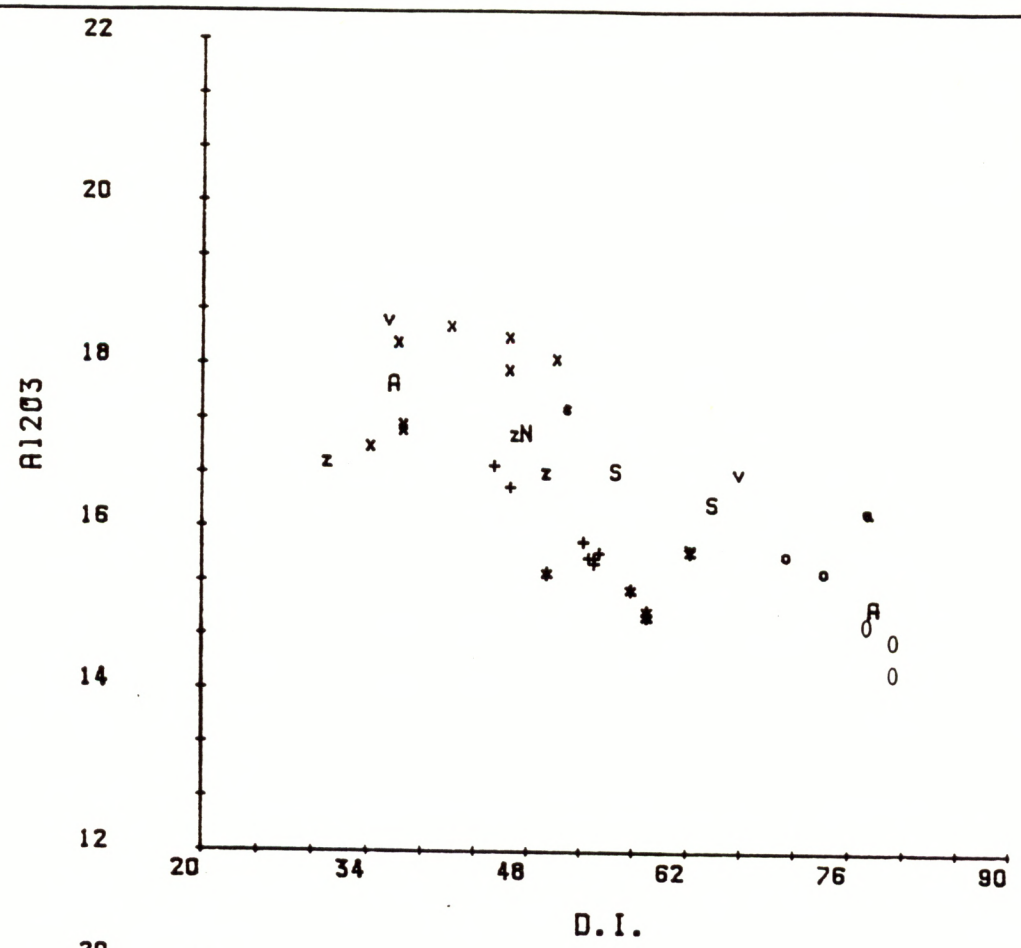
Fig. 6.3 Diagramas de variacion

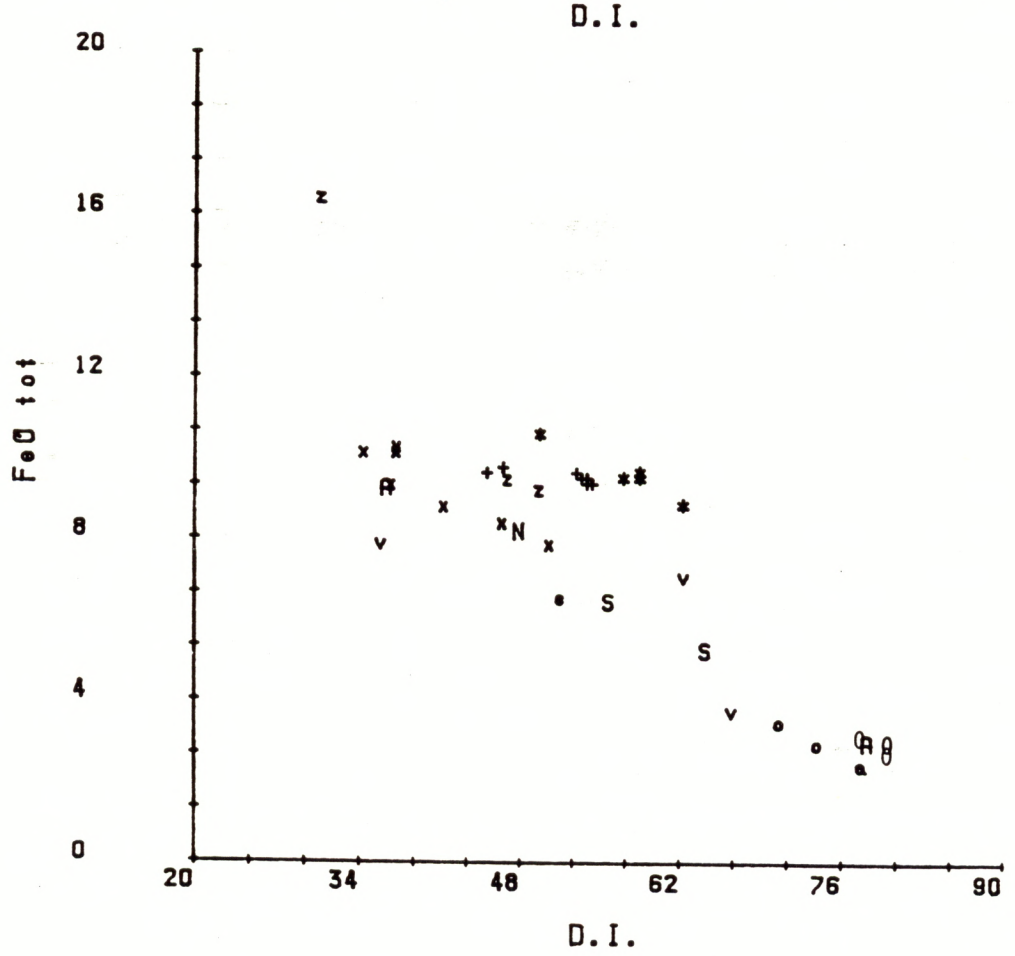


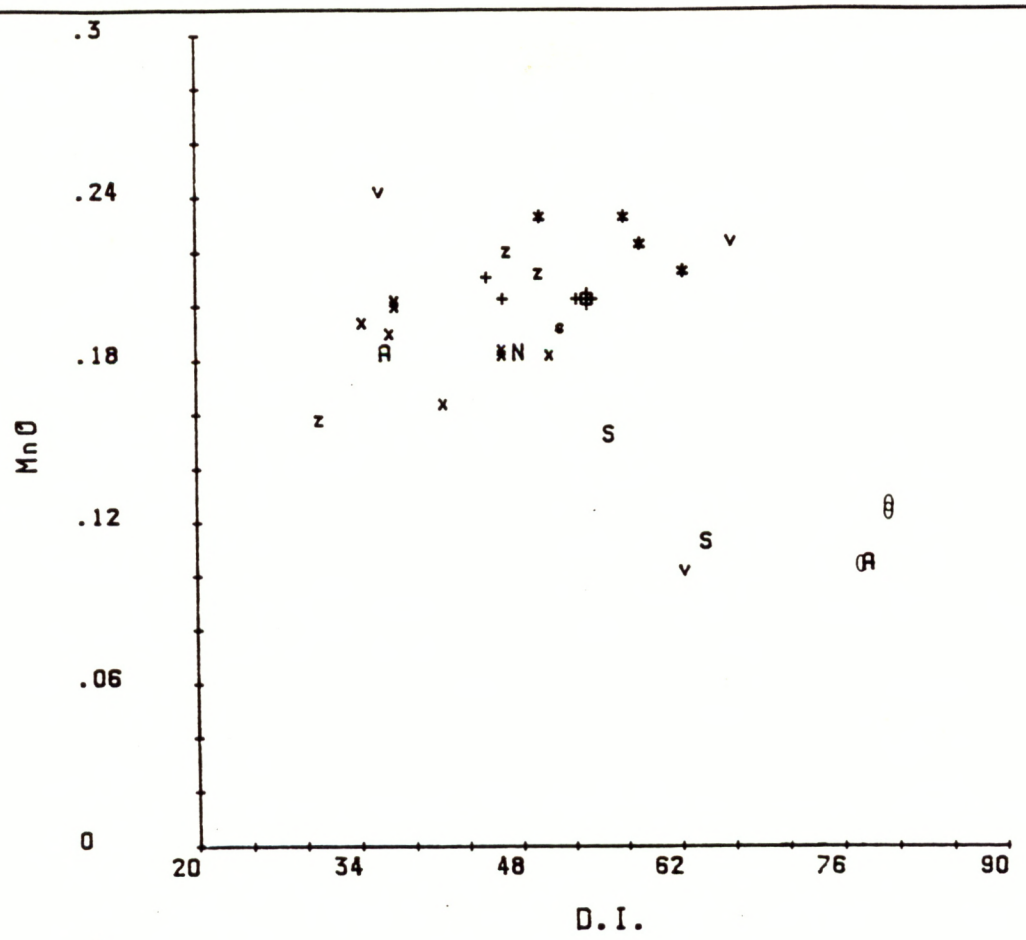
Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.

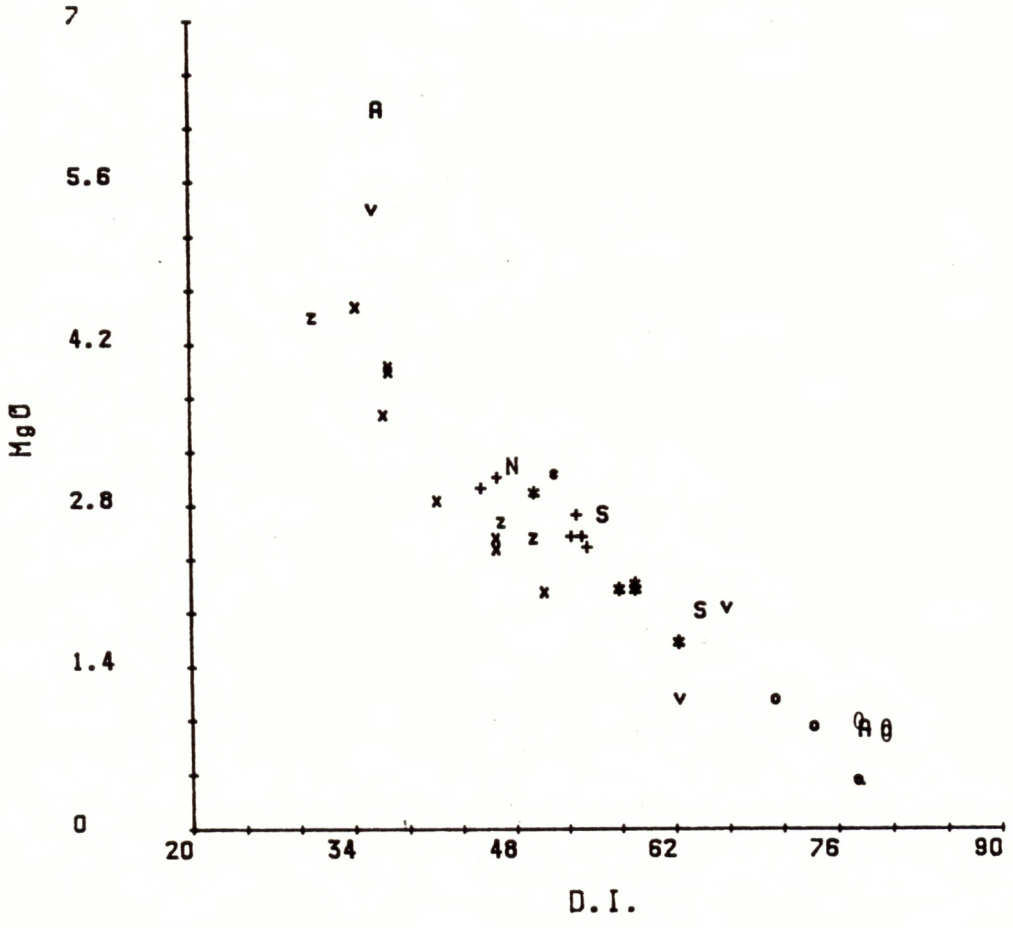

90
80
70
60
50
40
SiO2
20
34
48
62
76
90
D.I.

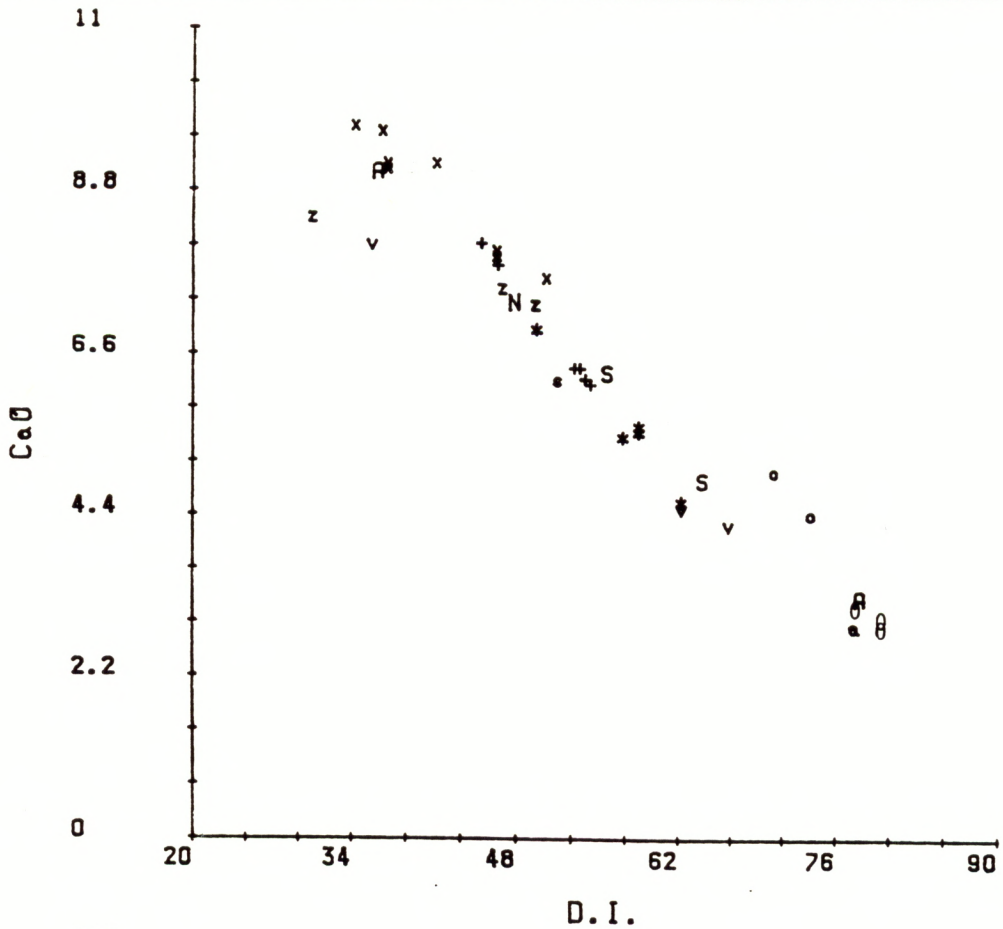

3
2.4
1.8
1.2
.6
0
TiO2
20
34
48
62
76
90
D.I.

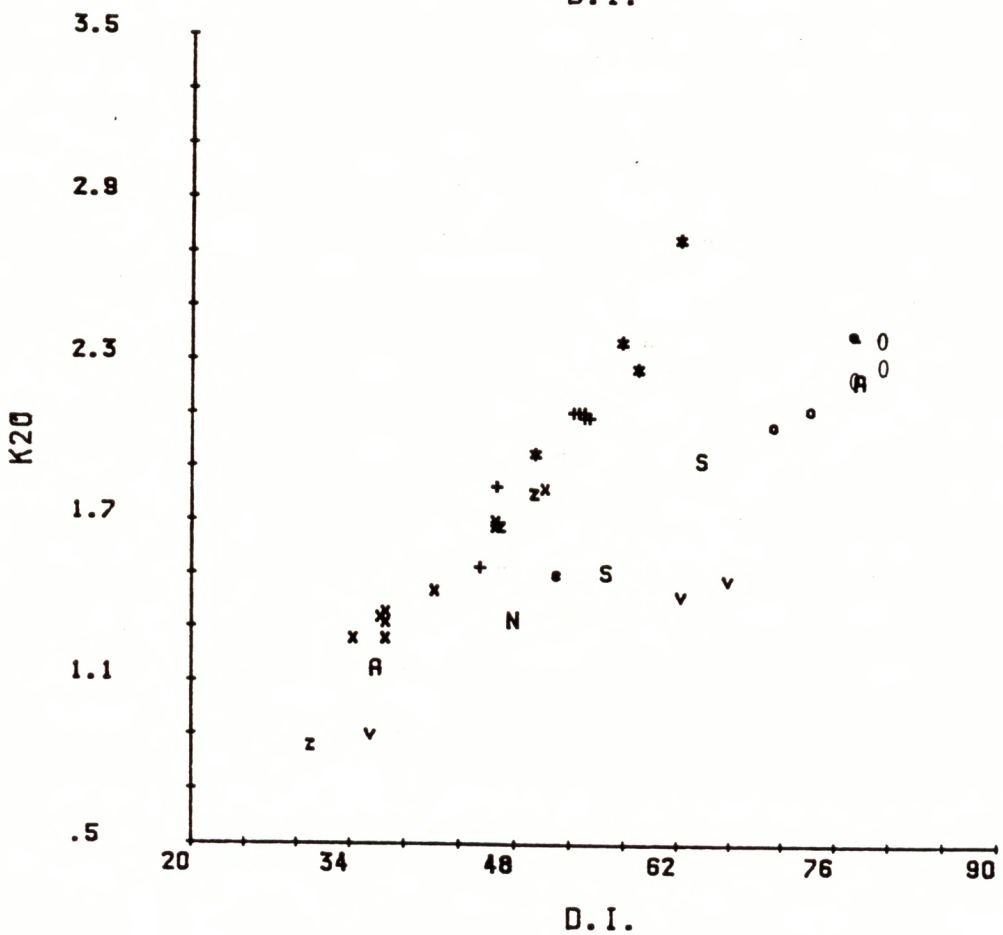

22
20
18
16
14
12
Al2O3
20
34
48
62
76
90
D.I.

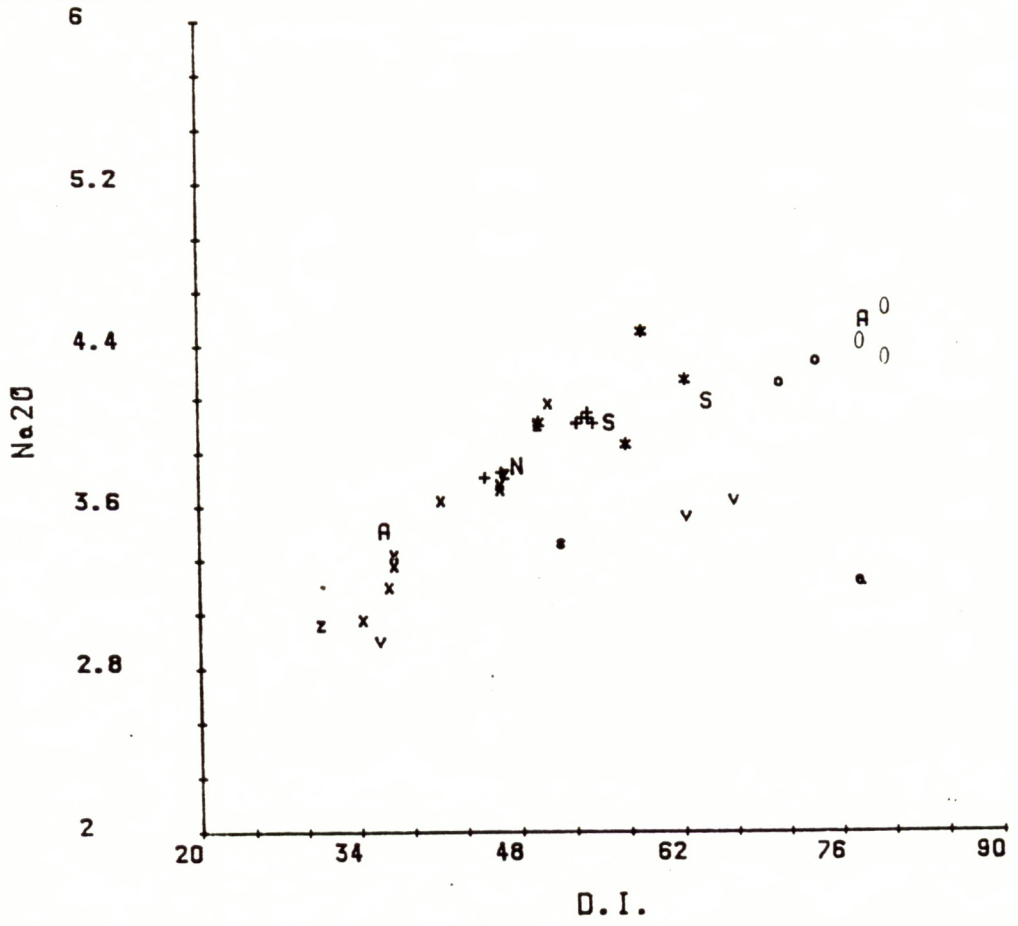

20
16
12
8
4
0
FeO tot
20
34
48
62
76
90
D.I.

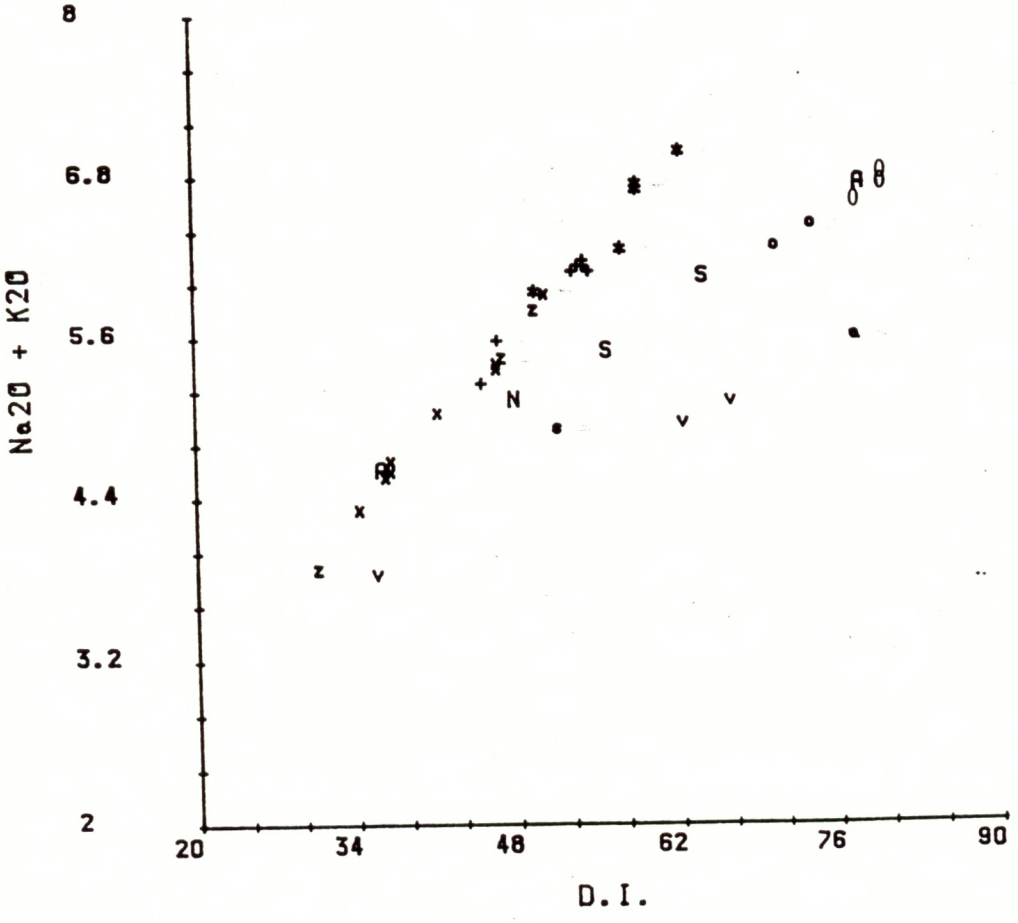

.3
.24
.18
.12
.06
0
MnO
20
34
48
62
76
90
D.I.

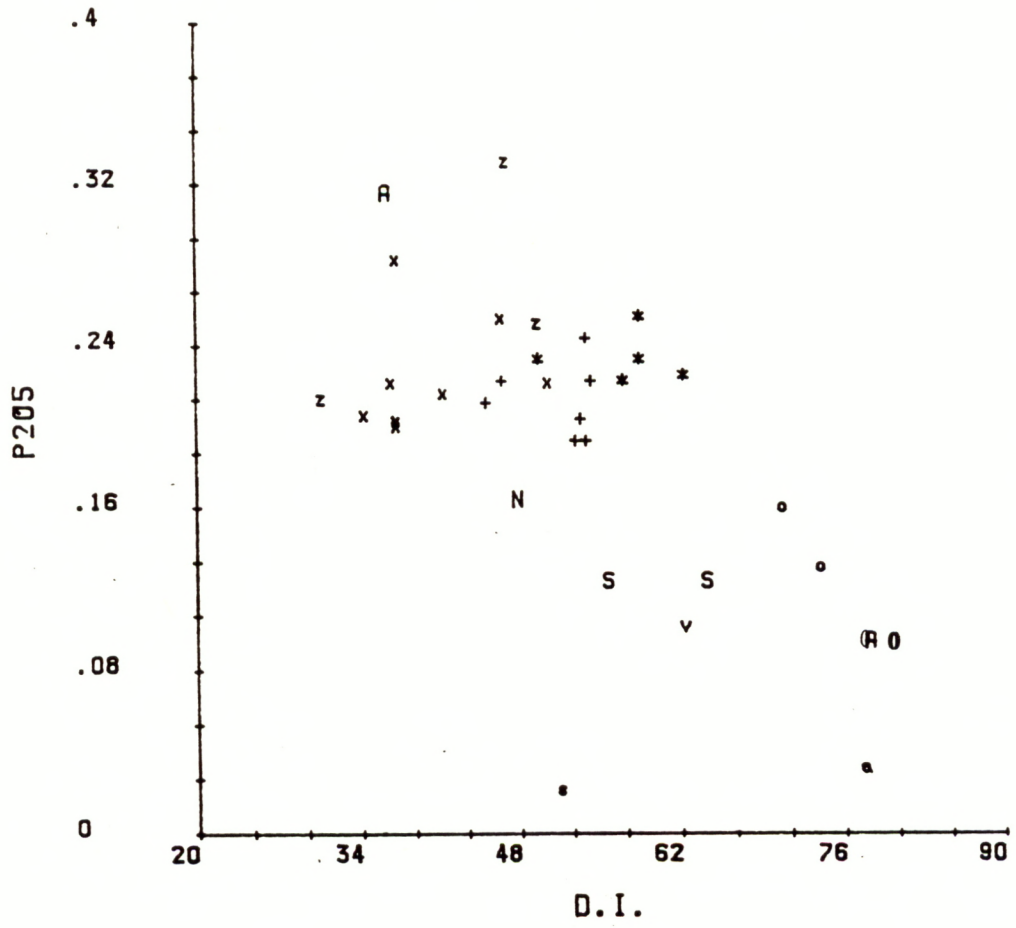

7
5.6
4.2
2.8
1.4
0
MgO
20
34
48
62
76
90
D.I.


11
8.8
6.6
4.4
2.2
0
CaO
20
34
48
62
76
90
D.I.


3.5
2.8
2.3
1.7
1.1
.5
K2O
20
34
48
62
76
90
D.I.


Na2O
6
5.2
4.4
3.6
2.8
2
20
34
48
62
76
90
D.I.


Na2O + K2O
8
6.8
5.6
4.4
3.2
2
20
34
48
62
76
90
D.I.


.4
.32
.24
.16
.08
0
P2O5
20
34
48
62
76
90
D.I.
A
N
S
S
R

Laguna Caldera: LC) tienen un comportamiento que recalca el "trend" principal;
- la muestra B23 (recogida a la base de un cono de cenizas en la inmediata vecindad del Boqueron) muestra un comportamiento "anomalo" respecto al trend principal ya que, ademas de ser la unica muestra debilmente alcalina, (fig 6.2) resulta tambien particolarmente rica en FeOtot;
- la muestra del antiguo aparato San Salvador se diferencia del "trend Boqueron" por un menor contenido en K2O y un mayor contenido en MgO.
De todas estas observaciones se puede deducir que:
- todos los productos antes mencionados se derivan por procesos de cristalizacion fraccionada de un mismo tipo de magma primario;
- la vieja camara que ha producido el antiguo edificio del San Salvador ha tenido probablemente una evolucion que ha portado a productos menos potasicos de aquellos del actual Boqueron;
- los productos del pequeno centro adventicio vecino al Boqueron (a excepcion de la muestra B23 que parece ser quimicamente distinta de los productos del Boqueron) muestran una evolucion muy simple comparada con la del aparato principal y es tambien posible que hayan estado alimentados por la misma camara magmatica (El Playon);
- la evolucion composicional gradual y continua por las lavas pertenecientes a los diversos ciclos eruptivos del Boqueron, sugieren que procesos de cristalizacion fraccionada han tenido lugar con continuidad en la camara magmatica.
La reaparicion de lavas menos evolucionadas despues de periodos de erupcion de lavas mas acidas sugieren que la camara en fraccionamiento ha recibido parciales recargas de magma basico.
La quimica de las muestras y la historia eruptiva del Boqueron sugieren que la recarga se ha llevado a cabo almenos dos veces; la primera precedentemente al pequeno evento explosivo que separa las dos series lavicas y la segunda al momento de la formacion del actual crater.

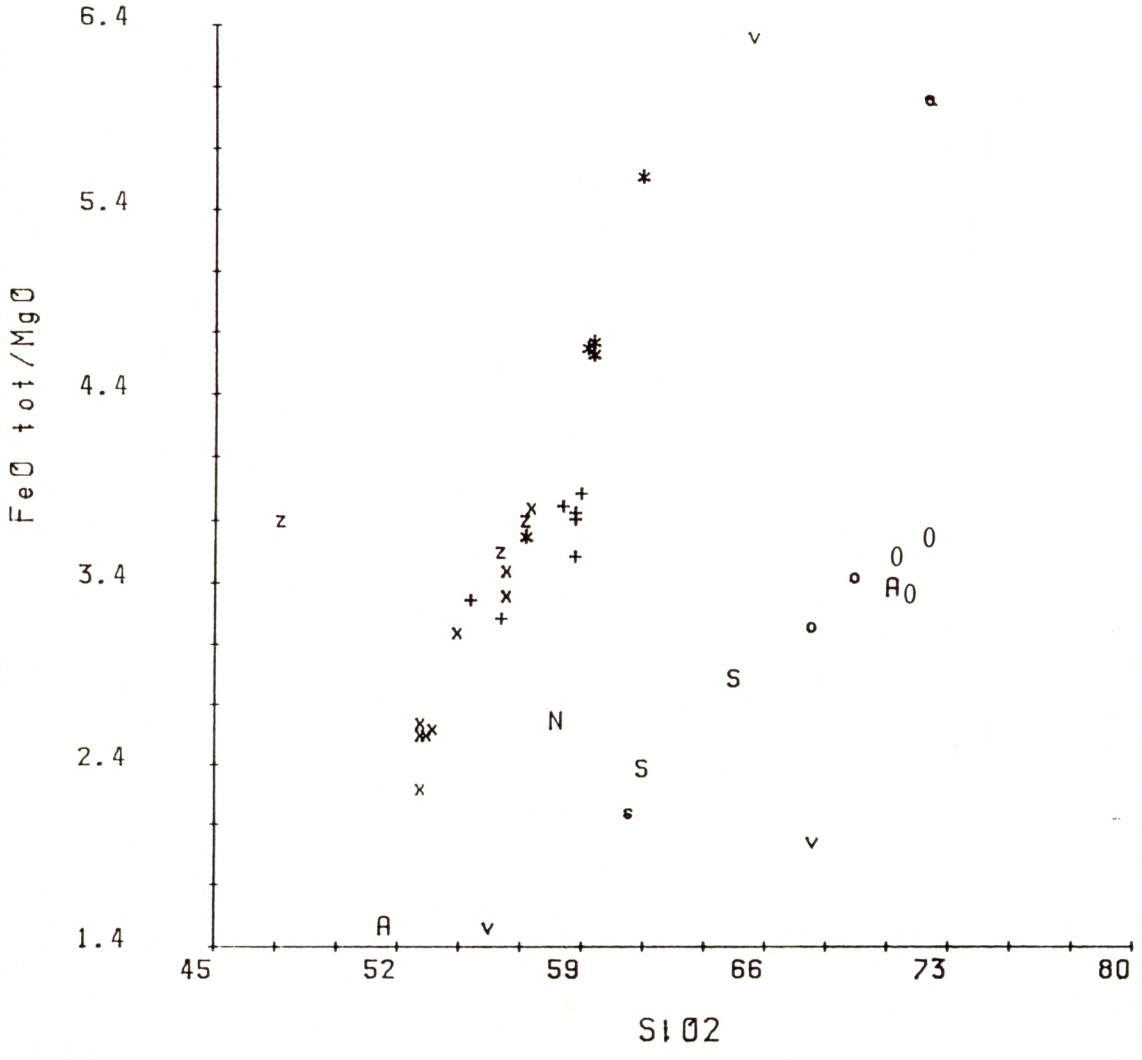
Las diferencias quimicas entre la serie lavica inferior y la superior, pueden ser explicadas por una diferente eficiencia del proceso de fraccionamiento de Plagioclasa. Fairbrothers et al. (1978) establecieron la hipotesis de que tal proceso es debido a la brusca disminucion de pH2O consecuente a la erupcion de cenizas.

6.2.2 Volcan de San Jacinto

Los productos del cerro San Jacinto (solo lavas) recaen en el "trend" con mas bajo contenido en alcali definido por las muestras de la caldera del Ilopango.
Esto es particolarmente evidente en los diagramas FeOtot/MgO-SiO2 (Fig 6.4), AFM (fig 6.5) y en los diagramas de variacion relativa a los alcalis (en particular al K2O), en CaO y en MgO.
De este ultimo diagrama se puede notar, ademas como por tales productos al aumentar el DI se tenia un incremento regular en SiO2, K2O, Na2O, Na2O+K2O y una disminucion en Al2O3, TiO2, FeOtot, MnO, MgO, CaO.
Todas las variaciones son compatibles con una diferenciacion por procesos de cristalizacion fraccionada.

6.2.3 Caldera del Ilopango

Los productos relacionados a este complejo volcanico son muy diferentes entre ellos, ya sea en el grado de evolucion quimica (basaltos, dacitas) como en el tipo litologico (lavas y piroclastitas).
Para intentar una caracterizacion de los varios tipos de productos en los diagramas, se han diferenciado: las lavas de los domos y de los conos basicos (A), los productos piroclasticos de la TBJ (o, O) y de las Tobas superiores (a) y las lavas de los domos de las recientes Islas Quemadas (v).
En este ultimo grupo ha estado inserto una inclusion basica (I1) encontrada en la lava del domo de las Quemadas (Q2) (Williams y Meyer-Abich, 1955).



N Antigua lava del Volcan San Salvador
x Serie lavica inferior
+ Serie lavica superior

Boqueron

* Lavas de erupciones historicas y pre-historicas
z Lavas de centros adventicios

s
S } Cerro San Jacinto

v Islas Quemadas
a Tobas Inferiores

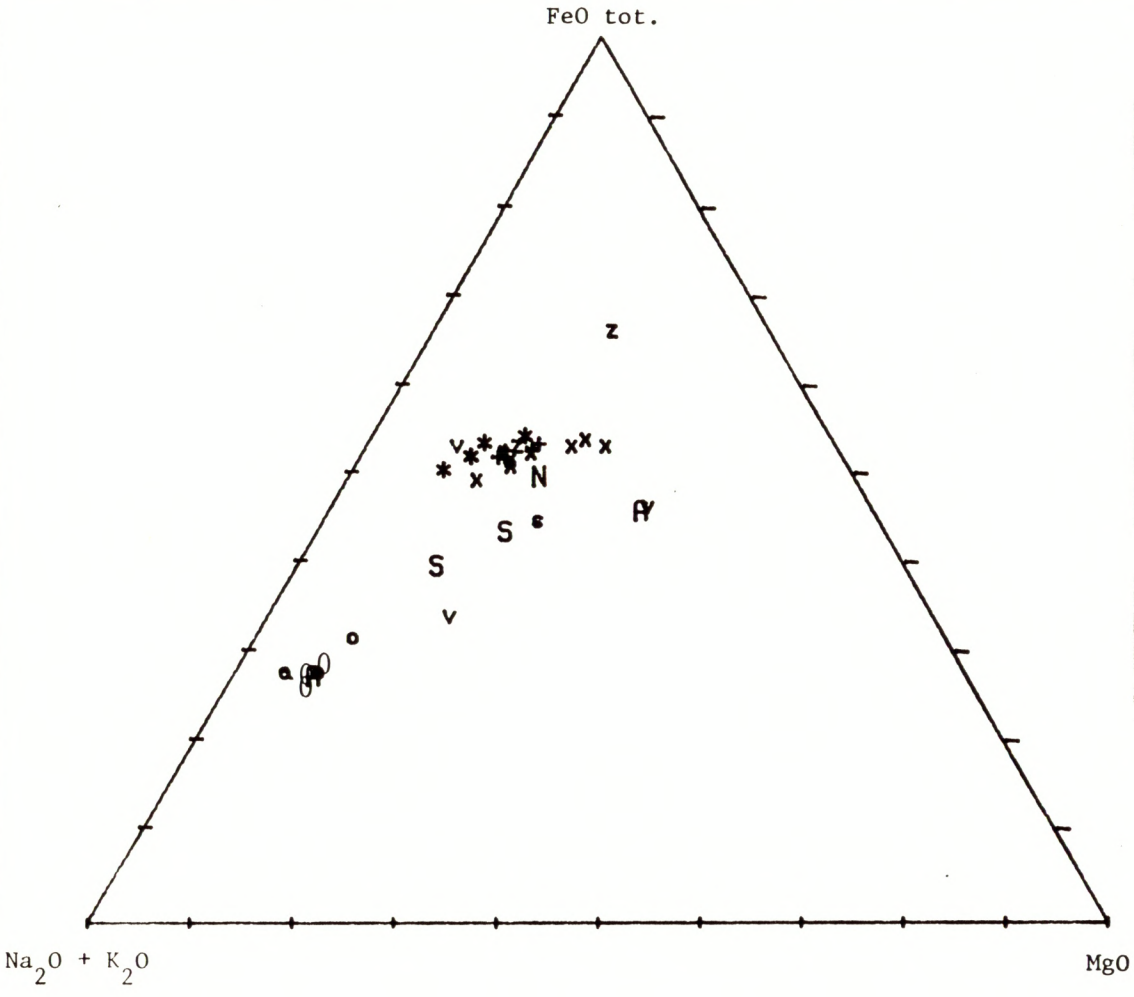
Caldera Ilopango

A Lavas de conos basicos y domos

o
O } Tierra Blanca Joven

Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.

Fig. 6.4. Diagrama FeOtot/MgO - SiO2



N Antigua lava del Volcan San Salvador
x Serie lavica inferior
+ Serie lavica superior

Boqueron

***** Lavas de erupciones historicas y pre-historicas
z Lavas de centros adventicios

s
S } Cerro San Jacinto

v Islas Quemadas
a Tobas Inferiores

Caldera Ilopango

A Lavas de conos basicos y domos

o
O } Tierra Blanca Joven

Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.

Fig. 6.5. Diagrama AFM.

En particular por lo que respecta a la TBJ, los nuevos analisis han sido efectuados en tres pomez provenientes de tres diversas facies de emplazamiento de un mismo afloramiento (Tab 4). De los analisis reportados en la literatura, se ha tomado una muestra (TB4) de los gruesos bloques de pomez del "fall" T1r, la otra muestra (TB6) se ha tomado de una muestra de roca total del deposito de caida cineritico T2.

De los diagramas clasificativos de la fig 6.1 se puede notar como las muestras de la caldera del Ilopango pertenecen todas a la serie calco-alcalina; los productos mas evolucionados varian en composicion de dacitas a riolitas, mientras, aquellos menos diferenciados, de basaltos a andesitas bajas en SiO2 (I1 inclusion en las lavas de las Islas Quemadas). Un vacio composicional se presenta en un intervalo de contenidos en SiO2 de aproximadamente 56% a 65% y por valores en DI de aprox 55 a 62.

Tal vacio composicional esta en acuerdo con la evidencia volcanologica que los productos emitidos por la caldera del Ilopango son en la mayor parte piroclasticos pomiceos de color blanco y lavas de domos, y solo esporadicamente se encuentran conos de lava basica.

La falta de productos intermedios hace dificil la interpretacion de la petrogenesis de la serie evolutiva.

Del diagrama de la fig 6.2 y del diagrama de la fig 6.1 Na2O+K2O-SiO2, se puede notar como en general los productos en examen estan caracterizados por un contenido en alcali menor con respecto a los productos del Boqueron. Tal caracteristica esta particularmente acentuada por las lavas y la inclusion de las Islas Quemadas, con la excepcion de la muestra basica (SS9).

En los diagramas de variacion de la fig 6.3, este hecho esta claramente respectado y se puede notar ademas como estas muestras, cuando tienen el mismo DI de los productos del Boqueron, tienen contenidos en CaO ligeramente mas elevados.

La diferencia quimica con los productos del Boqueron esta mejor representada en el diagrama FeOtot/MgO-SiO2 de la fig 6.4 en la cual los productos del Ilopango muestran contenidos de FeOtot/MgO mas bajos.

Una discusion a parte, merecen las muestras de la TBJ, la ultima gran erupcion piroclastica de la caldera del Ilopango.
De los varios diagramas se puede notar que:
- la variacion composicional es muy pequena del 67% al 70% de SiO2 y del 70 al 81 de DI siendo no gradual desde la base al techo;
- se trata de los productos mas diferenciadas; dacitas-riolitas y por consiguiente con contenidos en TiO2, Al2O3, CaO, P2O5, MgO, MnO y FeOtot mas bajos, y mas elevados en SiO2 y alcali (fig 6.3) respecto a los otros;
- la brusca disminucion observada en los valores de P2O5 y los bajos contenidos en Al2O3 y CaO concuerdan con la evidencia petrografica de cristalizacion de Apatita y Plagioclasa.
Por lo antes descrito, se puede concluir que:
- los productos de la caldera del Ilopango, lavas y piroclastitas, estan diferenciados probablemente derivando por cristalizacion fraccionada de un "magma primario" tipo SS9;
- la falta de los productos con quimismo intermedio puede ser ligada a la existencia de una camara magmatica en la cual el magma primario permanece diferenciado y despues, a intervalos discretos de tiempo, origina grandes erupciones piroclasticas acidas;
- en las zonas, en las que el magma basico emerge rapidamente a la superficie, se tiene la formacion de los pequenos conos basicos;
- las lavas de los domos de las Islas Quemadas representan la extrusion de magma evolucionado mas pobre en gas y viscoso.

7. EVALUACION DEL RIESGO VOLCANICO

Conforme una definicion de la UNESCO, el riesgo volcanico representa la posibilidad de la perdida de la vida humana, la propriedad o la capacidad productiva.
El riesgo puede considerarse como producto de tres factores: valor, vulnerabilidad y peligrosidad.
El valor puede ser expresado por el numero de vidas humanas, del costo material de una propriedad o de la capacidad productiva (en nuestro caso il conjunto de todos estos valores en el area de San Salvador y en el area de la futura urbanizacion: Distrito 7), los cuales estan expuestos a un determinado peligro.
La vulnerabilidad, es una medida de la proporcion del valor arriba definido que podria perderse como consecuencia de un determinado evento. El tercer punto, la peligrosidad, puede ser definida como la probabilidad que una zona determinada (area del proyecto) se interesada, en un determinado periodo de tiempo, de un fenomeno destructivo.
En vulcanologia, la peligrosidad representa por lo tanto una funcion compleja de la probabilidad que un volcan produzca un determinado tipo de erupcion y que tal erupcion interese a una determinada zona (en nuestro caso el area del projecto). La evaluacion cuantitativa, de la peligrosidad resulta normalmente bastante dificil, debido a la imposibilidad de obtener datos suficientes para realizar un analisis estadistico, confiable del comportamiento eruptivo de un volcan.
La evaluacion es basada en cada caso, en la reconstruccion precisa de la historia eruptiva, a partir de la cual, se pueden obtener indicaciones sobre los diferentes tipos de eventos eruptivos esperados, cada uno de ellos debera ser despues, evaluado bajo el perfil de la vulnerabilidad potencial.
El area del projecto esta expuesta al riesgo de erupciones de tres aparatos volcanicos:
- complejo volcanico San Salvador
- volcan San Jacinto

- complejo volcanico Ilopango

Los estudios realizados en el ambito del projecto han permitido de recoger la informacion que permite formular una evaluacion, aun cuando sea para un caracter preliminar, del riesgo volcanico en el area metropolitana de San Salvador y en el area del Distrito 7.

7.1 Riesgos relacionados con la actividad del complejo volcanico San Salvador

Resulta evidente de la descricion estratigrafica y de la actividad historica, que el complejo volcanico de San Salvador es alimentado de un magma basico con un grado de evolucion pequeno o moderado. La actividad volcanica que resulta es por lo tanto, aquella caracteristica de magmas con viscosidad relativamente baja y relativamente bajo contenido de volatiles, donde como consecuencia, los fenomenos explosivos siendo mas peligrosos para la vida humana, tienen un papel moderado.

En base a los resultados obtenidos en los estudios del terreno y a las descripciones relacionadas a la actividad historica, resulta claro que los eventos que deben ser considerados para evaluar la peligrosidad conectada con la actividad del volcan, son los siguientes:

A - flujo de lava (actividad efusiva)

B - caida de cenizas, escorias y lapilli; "surges" piroclasticos (actividad explosiva)

C - flujo de lodo (lahar)

Ademas, deben ser considerados con cuidado los peligros ligados a la inestabilidad de los flancos del volcan, aun cuando, estos fenomenos no pueden tener ninguna relacion con la actividad volcanica.

En lo que respecta particularmente a la actividad del volcan San Salvador, se debe destacar que toda la actividad historica es caracterizada por la concomitancia de fenomenos efusivos con moderada actividad explosiva de tipo estromboliano o ultra-estromboliano (ver tab. 5).

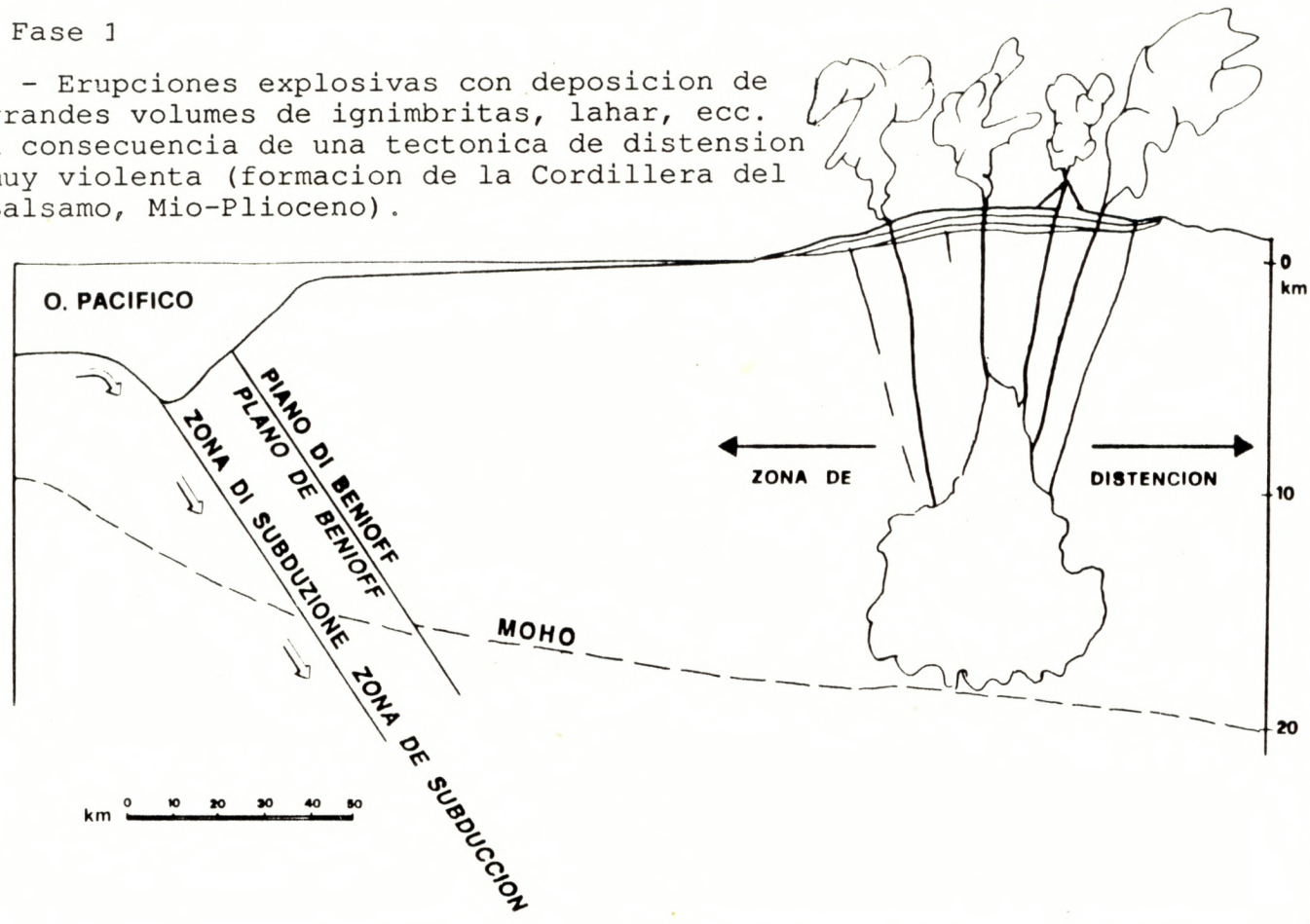
Los unicos fenomenos explosivos de cierta peligrosidad son debidos, al desarrollo de la interaccion entre el magma y el

AÑO	TIPO DE ERUPCION	FRACTURA ERUPTIVA	TERREMOTOS ASOCIADOS (INTENSIDAD)	ZONA AFECTADA POR LOS TERREMOTOS	DURACION DE LA ERUPCION
1658 a 1659	Estromboliana excentrica. Formacion del cono El Playon y emision de flujos lavicos hacia el NE. Distancia maxima recorrida por las lavas = 8 km. Superficie cubierta = 10 km2.	NW-SE	La erupcion fue precedida por una serie de terremotos con intensidad VIII en la escala Mercalli.	Destruccion de San Salvador, Quezaltepeque, Nejapa y Apopa.	?
1671 (?)	Probable ultra estromboliana (hidromagmatica) con emision de grande cantidad de cenizas. Ximenez (1722) dice que las cenizas llegaron hasta Comayagua, Honduras.	?	La erupcion fue precedida por un terremoto destructivo con intensidad, VIII en la escala Mercalli (Terremoto de San Bartolomeo, segun Larde y Larin, 1950).	Destrucciones en San Salvador.	?
1806 (?)	Erupcion casi desconocida talvez del Playon.	?	Terremoto con intensidad VIII en la escala Mercalli.	Destrucciones en San Salvador	?
1917 (6 de junio)	Estromboliana excentrica. Formacion de los crateres Los Chintos y Boqueroncitos y emision de coladas de lava hacia el N. Distancia maxima recorrida por las lavas = 12 km.	NNW-SSE y sucesivamente NW-SE	La erupcion fue precedida por un terremoto con intensidad VIII en la escala Mercalli	Destrucciones en San Salvador	10 dias
1917 (29 de junio)	Estromboliana intracraterica con formacion del cono Boqueroncito.	NNW-SSE			130 dias

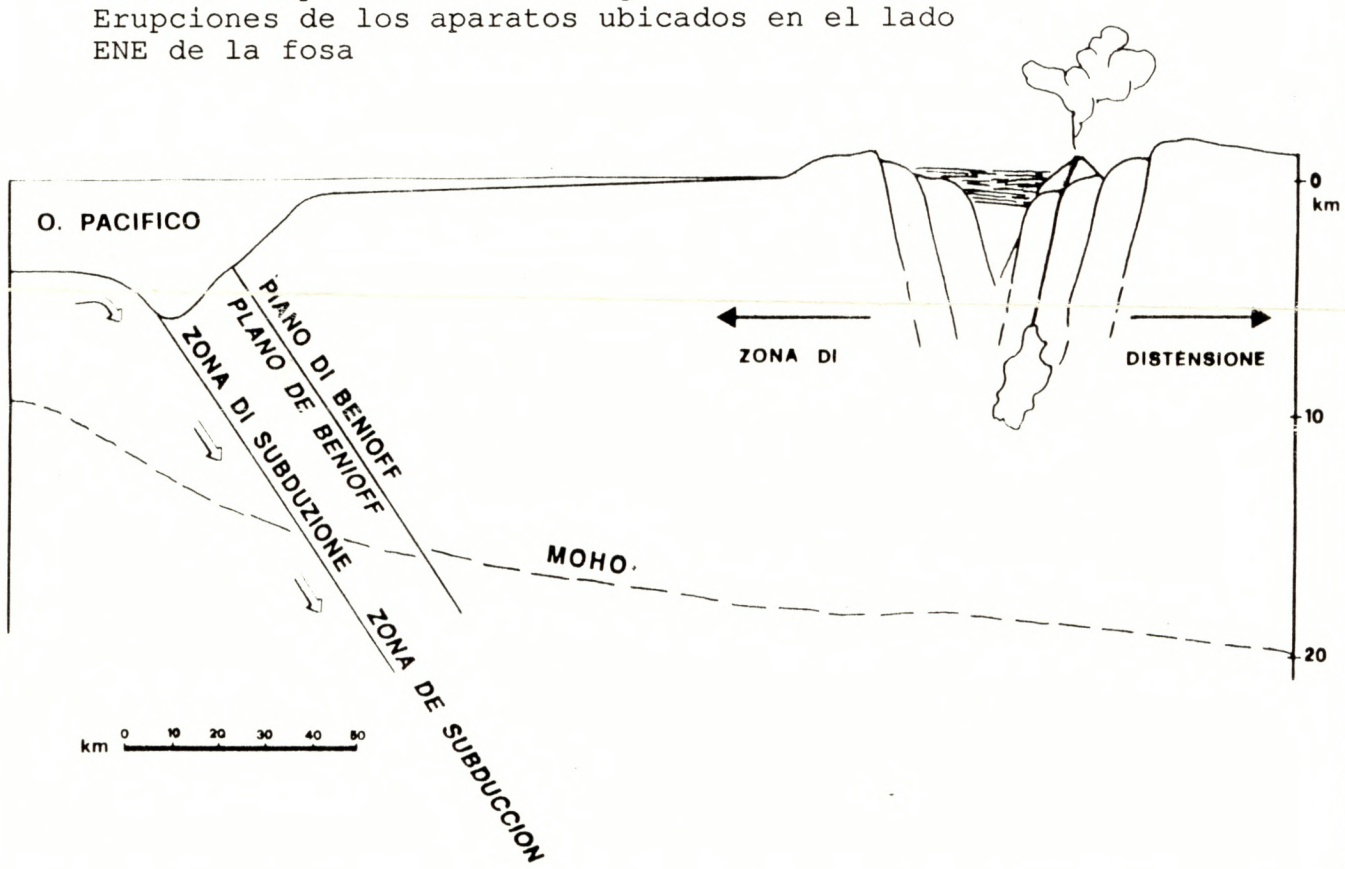
Tab. 5 Erupciones historicas del complejo volcanico San Salvador.

Fase 1

- Erupciones explosivas con deposicion de grandes volumes de ignimbritas, lahar, ecc. a consecuencia de una tectonica de distension muy violenta (formacion de la Cordillera del Balsamo, Mio-Plioceno).



Fase 2 - Formacion de la fosa mediana (Plioceno - Pleistoceno) por colapso vulcano - tectonico) despues de la fase ignimbritica. Erupciones de los aparatos ubicados en el lado ENE de la fosa



Fase 3 - Situacion actual

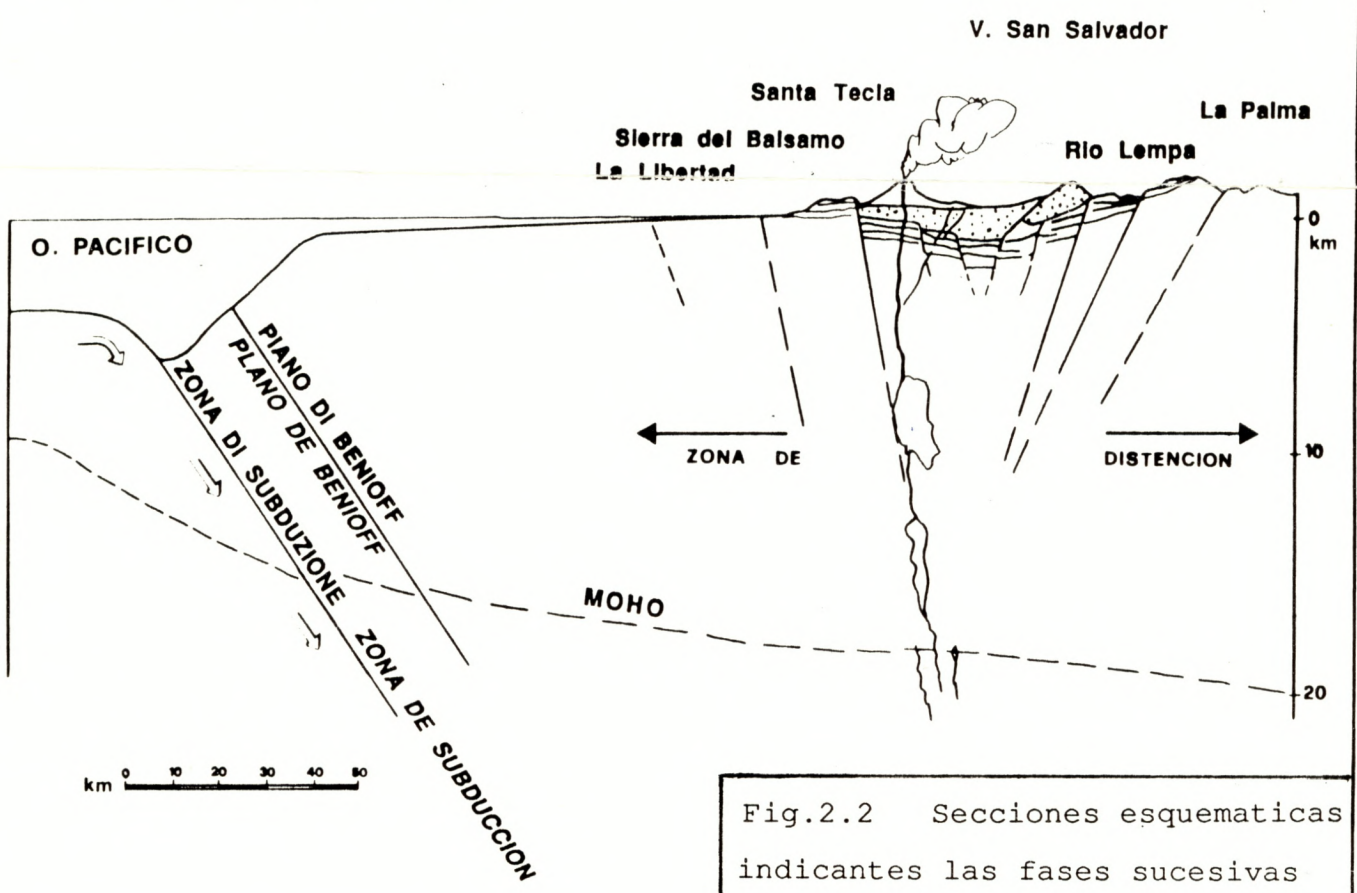


Fig.2.2 Secciones esquematicas indicantes las fases sucesivas de formacion de la fosa mediana.

89°20'

El Playon

STORICA
HISTORICA

1

Los Chintos

Chanmico

2

PREISTORICA
PRE-HISTORICA

Jabali

BOQUERON

Boqueroncito

Boqueroncitos

(4)

3

La Joya

PRE TERRA BIANCA
PRE TIERRA BLANCA

Puerta de la Laguna

13°40'

0 1

LEGENDA LEYENDA

1. (rosso): pericolosità alta
   (rojo): peligrosidad alta

2. (arancione): pericolosità media
   (anaranjado): peligrosidad media

3. (giallo): pericolosità bassa
   (amarillo): peligrosidad baja

La frattura (4) é stata individuata da immagini LANDSAT e non avendo dato colate recenti non viene ritenuta pericolosa.
La fractura (4) ha sido individuada por imagines LANDSAT y como no ha dado flujos recientes no es considerada peligrosa.

Fig. 7.1 Complejo volcanico San Salvador. Mapa de peligrosidad relativo a la abiertura de fracturas (lineas negras espesas). Los numeros crecientes indican la prioridad relativa de peligrosidad.

agua de lagos a veces hospedados en el crater del Boqueron y que han producido en algunas ocasiones del pasado, volumenes muy grandes de cenizas y depositos de "surge" piroclastico.
El episodio magmatico explosivo de mayor relieve producido por el volcan San Salvador, es aquel que ha generado, el llamado "Fall gris" (fig. 5.4). Se trata de un evento de peligrosidad muy superior a aquellos de todas las erupciones sucesivas del volcan, como lo demuestra el hecho que ha producido depositos de escorias pumiticas que tienen en toda la zona, espesores de 60-80 cm, y la presencia de relacionados depositos de flujos piroclasticos, aun cuando poseen una extension areal limitada.
Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:
- que se trata de un evento de edad relativamente antigua (se recuerda que esta separado de los depositos de la TBJ de los productos de las dos erupciones precedentes del Ilopango con paleosuelos bien desarrollados);
- que ningun fenomeno de este tipo se ha producido en la actividad historica del volcan;
- que un evento de esta naturaleza que puede ser definido de tipo sub-pliniano, necesita que el magma logre un adecuado grado de evolucion (viscosidad, contenido de volatiles) y que este hecho a su vez implica un periodo de residencia relativamente largo del magma, en el sistema de alimentacion del volcan;
- que el tiempo trascurrido de la ultima erupccion de magma basico (1917), no parece suficiente porque el magma haya alcanzado aquel nivel de evolucion;
se considera como extremadamente improbable que una erupcion del tipo "Fall gris" pueda actualmente producirse en el volcan San Salvador. Esta erupcion no vendra por lo tanto considerada en la evaluacion de la peligrosidad la cual sera concentrada en los fenomenos que han ocurridos en aprox los ultimos 2000 anos post TBJ.

7.1.1 Peligrosidad de los flujos lavicos

La emision de flujos lavicos representa junto con las explosiones del tipo estromboliano, la actividad predominante en el San Salvador. En efecto, los flujos lavicos constituyen la mayor parte del cono actual (paredes del crater del Boqueron).

La emision de lava puede occurrir ya sea del crater central del Boqueron o bien, mas probablemente de fracturas eruptivas que se abren en el flanco del edificio del San Salvador. Considerando que solo una erupcion de certa energia que permita al crater de rellenarse rapidamente, puede alimentar significativos flujos sobre los flancos externos del Boqueron, es en la abertura de las fracturas emisivas excentricas que se debe atribuir la maxima peligrosidad entre los eventos efusivos del volcan. En la fig 7.1 estan indicadas las zonas mas susceptible a la abertura de fracturas eruptivas, como se ha evidenciado de los estudios estructurales y de la historia eruptiva pasada. Las tres zonas identificadas, conectadas al sistema tectonico dominante NNW, NW y WNW, han sido clasificadas segun una graduacion relativa de probabilidad deducida en base a la frequencia y edad de los fenomenos en el pasado.

Los flujos lavicos emitidos en epoca historica han percorrido la distancia maxima desde la boca de 7-8 km, produciendo graves danos en las zonas invadidas.

Para la ultima erupcion del 1917 se estima, en base a los datos geologicos, un volumen de lava de aproximadamente 30 millones de m3. Considerando que la fase efusiva duro solo 10 dias se calcula una tasa de emission de magma de 3 millones de metros cubicos al dia, resultando un valor elevado (0.9-1.3 millones m3/dia en la erupcion del Etna del 1983) que explica la distancia relativamente importante alcanzada en tiempo breve por los flujos lavicos.

En consideracion a estos valores elevados de la tasa de emision, del grado bajo de cristalizacion de estas lavas (y su consecuente baja viscosidad) se considera poco probable que fenomenos eruptivos del futuro pueden superar las

distancias maximas, logradas desde la boca, en las erupciones del pasado.
Las zonas indicadas en la figura 7.1 como sujetas a peligro de emision lavica, han sido obtenidas en base a estas consideraciones y mantienen la misma clasificacion en terminos de probabilidad relativa de la abertura de las fracturas de alimentacion a ellas asociadas.
En conclusion, la zona del Distrito 7 no tiene algun problema de peligrosidad por invasion lavica. Las zonas sujetas a riesgo son, en cambio, las siguientes:
- la parte somital del volcan, particularmente el area comprendida entre el Picacho, el bordo de la caldera y el Boqueron;
- el sector meridional del volcan con posibilidad de invasion lavica en las colonias situadas mas hacia el occidente de San Salvador y tambien Santa Tecla. En particular, el sector comprendido entre la bocas eruptivas de la Joya y Puerta de la Laguna, estan sujetas a peligro de invasion lavica, aunque la zona no ha tenido fractura eruptiva de almenos desde hace 2000 anos aproximadamente.

7.1.2 Peligrosidad de los fenomenos piroclasticos

7.1.2.1 Peligrosidad de la caida de material piroclastico

La componente explosiva de las erupciones historicas del San Salvador, consiste esencialmente en proyeccion balistica de bombas y fragmentos lavicos y en la emision de cenizas y lapilli a la atmosfera. Se trata de una actividad de tipo estromboliana con una energia un poco mas alta de lo normal. A parte del problema de la ocurrencia episodica de "surge" piroclasticos, el cual sera discutido en el proximo parrafo, el fenomeno mas frecuente asociado a esta erupcion es la caida de material piroclastico de granulometria variada. Los materiales mas gruesos (bombas, escorias y en parte tambien lapilli) caen en la proximidad del crater, mientras que el material fino (cenizas), puede ser por otro

lado, transportado a una distancia bastante considerable del centro de emision.

La energia de la erupcion que determina la altura de la columna eruptiva, y la tasa de emision, la granulometria, la densidad y la concentracion de las particulas, la direccion y la velocidad del viento a diversa alturas (cotas) son los parametros principales que influencian la distribuicion de los depositos piroclasticos de caida. La major parte de estos datos no son conocidos para las erupciones del volcan de San Salvador.

Datos obtenidos en el Servicio de Metereologia e Hidrologia, indican la direccion del viento (entre la superficie y 600 m de altitud) en la zona del proyecto, senalan ademas la predominancia de los vientos orientales con velocidad bastante variable de 1-4 a 11 m/s; en el periodo de octubre a marzo vienen tambien registrados vientos septentrionales con velocidad de 4 a 14 m/s; finalmente, entre junio y octubre se registran vientos meridionales.

Estos datos son dificiles de utilizarse por que no proveen indicaciones sobre las variaciones de direccion y velocidad con la altura. Alguna informacion se ha obtenido a traves de tablas relativa a la circulacion atmosferica en las regiones tropicales (Newell et al., 1971; tab 6). Estos datos indican que para alturas de 1500 y 3000 m, en todas las estaciones, el viento dominante es oriental con velocidad media entre 4 y 6 m/s. Tales datos concordan con las evidencias de campo que indican, en efecto, una predominante distribucion al oeste del crater de los depositos piroclasticos finos de caida (vease en particular la descripcion de la distribuccion de las cenizas del Talpetate). Las observaciones de campo senalan entonces, que para erupciones con la energia de aquella historica del San Salvador, el peligro ligado a la caida de material piroclastico es muy limitado en el area del proyecto con la unica excepcion de la ciudad de Santa Tecla. Se ha considerado util, en efecto, intentar una modelizacion del fenomeno de caida en las condiciones mas proximas a aquellas que probablemente existen en San Salvador, con el objetivo de obtener una distribucion de los productos.

PRESION (mbar)	COTA (km)	VELOCIDAD (m/sec)			
		Dic - Feb	Mar - May	Jun -Ago	Sep - Nov
850	1. 5	5. 6	4. 1	1. 5	3. 7
700	3	3. 1	3. 8	3. 3	3. 8

De Newell R.E. et al. ,1972.

Tab. 6. Valores medidos de la velocidad del viento del este (componente horizontal) a 10° Lat. N.

La modelizacion de la caida de los depositos piroclasticos se ha efectuado utilizando la siguiente ecuacion (Armienti et al., 1987):

$$\frac{dc}{dt} + \frac{dUxC}{dx} + \frac{dUyC}{dy} + \frac{dUzC}{dz} + \frac{dUsC}{dz} = Kx\frac{d2C}{dx2} + \frac{d2C}{dy2} + \frac{d2C}{dz2} + S$$

donde:
C = concentracion de las particulas
U = campo de los vientos
K = coeficiente de difusion horizontal
Vs = Velocidad de caida para cada clase granulometrica considerada
S = exprime la condicion de la columna eruptiva.

PARAMETROS PARA LA SIMULACION

1) Viento: ha sido utilizado un campo de vientos orientales con una componente meridional cero de la velocidad y se ha considerado una velocidad igual para todas las elevaciones. Se han asumido el valor promedio mas elevado de la Tabla 6 (5 m/s) y el mas bajo (1.5 m/s).
2) Altura de la columna: considerando que el crater actual del volcan esta situado a 1800 m de altura sobre el nivel del mar, se ha considerado una altura de la columna eruptiva de 5 km, la cual seguramente representa el limite maximo de peligrosidad para erupciones tipicas del San Salvador.
La distribuccion de masa en el interior de la columna eruptiva se ha aproximada mediante la siguiente ecuacion (Armienti et al., 1987).

$$m(z) = \frac{Q\ A\exp 2\ (1-Z/Hc)\ \text{esp}\ A\ (Z/Hc-1)}{Hc\ (1-\ (1+A)\ \exp\ -A)}$$

donde:
Hc = altura maxima de la columna
A = parametro adimensional que determina la cota a la cual se logra la maxima concentracion de masa. Para la simulacion ha sido asumida igual a 2. Esto equivale a una columna donde la maxima concentracion de las particulas alcanza una elevacion de 2.5 km.

3) Masa emitida y velocidad de caida en la columna: no hay datos disponibles relativos a la masa total de magma emitido durante la fase explosiva del San Salvador. Ha sido asumido un valor de 40 x 10^9 kg por analogia con otras erupciones conocidas similares a aquellas caracteristicas del San Salvador. Estos puede ser considerado un valor maximo y han sido calculados tambien los efectos de una masa 10 veces menor. Al final de la simulacion esa masa ha sido dividida en cuatro diferentes clases granulometricas, correspondientes a cuatro distintas velocidades de caida (Tabla 7).
Las velocidades de caida han sido calculadas segun la siguiente formula (Armienti et al., 1987):

$$Vs = \frac{8d\rho g}{3SD}$$

donde:
d = diametro de la particula
ρ = densidad de la particula (asumida igual a 2 gr/cm3 para todas las clases).
g = aceleracion de la gravedad
S = densidad del aire
D = factor de forma (asumida igual a 3.6 considerando que se trata de escorias, lapilli y cenizas).

F 1	Vs (m/s)	PORCENTAJE EN PESO
- 1	3. 4	5
0	2. 4	15
1	1. 7	60
2	1. 2	20

Tab. 7 Distribucion porcentual de la masa piroclastica en funcion de la granulometria (Fi) y de la velocidad de caida (Vs)

Se asume que todas las clases granulometricas poseen la misma distribucion en el interior de la nube eruptiva.
4) Coeficiente de difusion: Considerado el tipo erupcion se evalua de 2000 m2/s (Macedonio et al, 1987).
Resultados de la simulacion.
Los resultados de la simulacion se han presentado en las figuras 7.2a,b y 7.3a,b, como valor total del deposito correspondiente a la suma de las cuatro clases granulometricas consideradas. Las curvas estan expresadas en kg/m2. En la tabla 8, se indican los valores de concentracion en el suelo obtenidos de la simulacion a varias distancias viento abajo al crater, variando la velocidad del viento y la masa de la columna.
Los datos indican que, aunque en el caso de una masa muy elevada de material emitido, la concentracion al suelo del material piroclastico en la zona del proyecto y, en general, en el area metropolitana de San Salvador, no son tales de representar un serio peligro. Lo que es debido a la direccion de los vientos dominantes que desplazan las cenizas en direccion opuesta, respecto a la ciudad y a la zona del Distrito 7.
Las zonas mas seriamente expuestas, son aquellas en el occidente, y todavia, una vez mas, no puede considerarse exenta de este peligro la ciudad de Santa Tecla.

7.1.2.2 Peligrosidad de los "surges" piroclasticos

Los llamados "surges" piroclasticos estan entre los fenomenos mas peligrosos que pueden suceder durante las erupciones volcanicas explosivas. El mecanismo de genesis comunemente aceptado para explicar la formacion de los "surges" es por colapso gravitacional de la columna eruptiva. Durante la erupcion, la columna integrada por una mezcla de gases y fragmentos de magma aun plastico puede alcanzar condiciones tales que el peso de los fragmentos no esta mas sustenido del empuje de los gases de tal manera que se verifica el colapso de la parte externa de la columna misma. Se produce así un flujo (gas + particulas) que cayendo verticalmente a la base de la columna se propaga

MASSA (kg) NELLA COLONNA	DISTANZA DAL CRATERE (sottovento) (km)	VELOCITA' VENTO (m/s)	CONCENTRAZIONE AL SUOLO DEI DEPOSITI DI CADUTA kg/m^2
40 x 10^9	10	5	200
4 x10^9	10	5	20
40 x 10^9	10	1. 5	0. 1
40 x 10^9	20	5	50
40 x 10^9	45	5	10 (g/m^2)

Tab. 8 Concentracion en el terreno de los depositos piroclasticos de caida (simulacion)

despues paralelamente a la superficie del suelo. La porcion superior (menos densa) del material colapsado origina los "surges" mientras que la parte inferior (mas densa) origina los flujos piroclasticos. La velocidad de propagacion de este flujo, puede ser del orden de cien kilometros por hora cerca del crater.

La resistencia del aire provoca, de algun modo, una rapida disminucion de velocidad alejandose del crater. Este tipo de fenomenos se desarrollan frecuentemente cuando el magma fragmentado por una explosion estromboliana entra en contacto con el agua externa (ya sea esta superficial o subterranea). El resultado de la interaccion entre el magma y agua es la formacion de una nube cargada, de vapor de agua y de particulas finas derivadas de la alta fragmentacion del material piroclastico. Los fenomenos de colapso requieren columnas particularmente densas cargadas de particulas y pueden ser favorecidos por fenomenos particulares cuales la disminucion del contenido de gas o variaciones del diametro del conducto; son en general, caracteristicos de erupciones de mayor energia (pliniana, sub-pliniana) de aquellas normales del San Salvador.

En efecto, en la actividad del San Salvador, depositos con las caracteristicas tipicas de los "surges" piroclasticos de origen freatomagmatico han sido reconocidos, con seguridad, unicamente en las tobas de Talpetate. La distribuicion de estos depositos interesa los sectores occidental y sur-occidental del volcan (aun una vez mas esta comprendida la zona de Santa Tecla) con espesores superiores a 1m, mientras que no se encuentran ni en el area metropolitana ni en la zona del Distrito 7). Tambien en la erupcion del 1671 se reportan muchas cenizas que pueden ser ligadas, aunque con duda, a fenomenos hidromagmaticos. En ambos casos, es muy probable que la produccion de estas cenizas sea debida a la fragmentacion de la escorias estrombolianas por la interaccion explosiva del agua de un lago que ocupaba el fondo del Boqueron. Este lago ha existido hasta la ultima erupcion del 1917 y debia entonces tener un volumen de agua muy reducido, considerando que fue totalmente evaporazida sin producir apreciables depositos fuera del crater. La

ausencia actual del lago, rende sustancialmente nula la posibilidad que estos fenomenos puedan occurrir en la proxima erupcion del Boqueron. Si bien el hecho que los depositos de "surge" del Talpetate no han sido encontrados en la zona metropolitana, sugiere que han tenido una amplitud limitada y que la mayor parte de las tobas Talpetate dispersas al oeste del crater son el resultado predominante de la caida de la nube piroclastica dispersa por el viento.

Aun cuando, fenomenos de este tipo resultan por lo tanto poco probables en la actividad del volcan se ha creido util por razones de completamentacion de evaluar la posibilidad que los "surge" puedan llegar a interesar la zona del projecto y el area metropolitana. Para este fin, se ha adoptado el modelo del cono de energia (Malin y Sheridan, 1982) y la relativa elaboracion reciente de Armienti y Pareschi, (1987). De acuerdo a este modelo, la distancia recorrida de los "surges" piroclasticos originados por el colapso gravitacional de la columna eruptiva, asi como tambien sus capacidad de superar los relieves y obstaculos morfologicos, depende de la inclinacion del cono (angulo con la superficie horizontal) y de su altura (distancia H vertical entre el crater y el nivel en la columna del cual se ha originado el colapso). Para las erupciones con la energia correspondiente a aquellas del San Salvador, se calculan normalmente inclinaciones del cono de energia de aprox 30°. Teniendo en consideracion estos hechos, se puede observar en la fig. 7.4 (figura fuera del texto) como la zona del distrito 7 se puede considerar fuera del area de posible influencia de "surge" piroclasticos productos del Boqueron actual. En efecto, para una inclinacion del cono de energia de 30°, seria necesaria una columna eruptiva mas alta de 10 km por que los flujos originados de su colapso puedan alcanzar el centro del Distrito 7. Una elevacion asi, requiere un tipo de erupcion que no tiene ninguna probabilidad de ser producida por el volcan Boqueron.

Por otro lado, utilizando una columna con altura mas racional para estos tipos de erupcion, por ejemplo 1500 m, el cono de energia debera tener un imposible bajo angulo de

8° para interesar el Distrito 7. Igualmente poco probable es que estos fenomenos pueden afectar al area metropolitana de San Salvador.
Es de observar tambien que el sector meridional de la ciudad, situado al SE del volcan a lo largo de una potencial trayectoria de flujos piroclasticos que no tiene mas la proteccion de la barrera morfologica del Picacho (Fig. 7.5; figura fuera del texto), no esta del todo exente de esto peligro. En particular, el margen de la ciudad mas cercano al volcan, ubicado a solo 7 km en linea recta al crater del Boqueron, podria estar afectado de los "surges" piroclasticos originados por una columna de altura comprendida entre 1800 y 3000 m y con una inclincion del cono de energia comprendida entre 20° y 30°. Estos valores ya sea de H como de α son poco probables pero no tales de poder ser excluidos de la futura actividad del volcan.
El elemento mas tranquilizante permanece por tanto en la ya citada falta de un lago en el interior del crater del Boqueron. En el caso que un tal lago se forme en el futuro, la peligrosidad del "surge" piroclastico deberia ser muy seriamente considerada en los escenarios de la proteccion civil, al menos para la franja mas vecina al volcan en la parte meridional de la ciudad de San Salvador y para la ciudad de Santa Tecla.

7.1.3 Peligrosidad de los flujos de lodo ("lahar")

Se trata de flujos de lodo a veces turbulentos, constituidos por material volcanico fino y agua que frecuentemente contienen y transportan bloques grandes. No presentan ninguna evidencia de selecion o estratificacion y cambian los caracteres texturales en funcion de la variacion de la relacion entre material solido transportado y el agua.
Los "lahares" pueden originarse por dos distintos mecanismos. Algunos no tienen alguna relacion directa con la actividad volcanica y se forman por mobilizacion de materiales sueltos saturados de agua, que descienden de los flancos del aparato canalizandose a lo largo de los cauces y

que pueden haber sido causados por las lluvias muy violentas o los terremotos. Entran en una categoria muy particular de deslizamientos que se diferencia por la modalidad de emplazamiento del material pero que tiene las mismas causas ligadas a la inestabilidad del edificio volcanico. Fenomenos de este tipo han sucedido tambien en epocas recientes en el edificio del San Salvador y estan por tanto destinados a repetirse tambien en el futuro. Estos han sido mas especificamente tratados en el informe geomorfologico.
La segunda categoria de "lahares" es aquella de origen volcanica y puede producirse ya sea directamente (fenomenos hidromagmaticos con relacion magma/agua bajo) o bien indirectamente por mobilizacion, debida a la lluvia, del material encoherente acumulado en la actividad explosiva sobre las laderas abruptas del cono. Tambien en este caso el flujo de lodo se canaliza a lo largo de la red hidrografica y se expande dispersandose rapidamente hacia la base del edificio. Las observaciones de campo han relevado pocos y modestos ejemplos de depositos de "lahares" a lo largo de los cauces en las laderas del volcano. La probabilidad que estos fenomenos sucedan en el futuro es sin embargo relativemente baja y esta posteriormente disminuida por la actual imposibilidad de producir grandes acumulaciones de cenizas a consequencia de la desaparicion del lago craterico. Todavia tomando en consideracion las lluvias torrenciales que episodicamente aparecen en la zona, una norma prudencial sugiere que se evite las urbanizaciones en coincidencia con las salidas de los valles cortados o seccionados en el flanco del volcan. Los principales de estos valles son indicados en la fig 7.6.

7.2 Riesgos relacionados con la actividad del San Jacinto

La actividad mas reciente del San Jacinto es constituida solo de extrusion de domos lavicos con pequenas coladas lavicas asociadas, sin haber significativos episodios explosivos. Esta actividad es datada a 0.77-1 MA y por tanto no hay trazas de actividad eruptiva del San Jacinto en

los ultimos 2.000 anos. Se puede asi concluir que el San Jacinto entre en la categoria de los volcanes practicamente extintos, para los cuales resulta casi cero la posibilidad que erupten aun, en el futuro. A la luz de los datos disponibles se puede concluir que la peligrosidad de la erupcion del San Jacinto debe considerarse practicamente inexistente porque es muy baja la probabilidad que este erupcione de nuevo en el futuro.

7.3 Riesgos relacionados con la actividad de la caldera Ilopango

La caldera del Ilopango partenece a una categoria de volcanes caracterizados por:
- camara magmatica con alimentacion superficial, de grandes dimensiones, en el interior de la cual el magma se diferencia hasta alcanzar niveles de evolucion (explosividad) muy altos;
- largos intervales de reposo entre una erupcion y otra.

La edad reciente (1.700 anos) de la ultima grande erupcion pliniana, la sucesiva expulsion, ocurrida hace 100 anos, de lava viscosa (domos de las Islas Quemadas) indican que el sistema debe ser considerado todavia activo. Faltan datos cronologicos de la historia eruptiva del pasado, de los cuales se pueda obtener una especie de relacion magnitudo - frecuencia de las erupciones del volcan y de esta estimar un indicativo periodo de retorno. Esto, como ya senalado, necesitaria un trabajo de campo y de laboratorio mucho mas detallado y preciso de como sea posible en el actual proyecto urgente. Por otro lado, la energia elevada de la erupcion de la TBJ y su edad reciente, sugieren que el volcan es todavia activo y por tanto tales estudios son altamente recomendables. Una erupcion del tipo de la TBJ representaria hoy una catastrofe de proporciones espantosas. Se recuerda de hecho que mas de 3000 km2 han sido devastados (depositos de 1 m) y otros 7.000 km2 han sido cubiertos enteramente (espesores superiores a 50 cm).
Erupciones ignimbriticas de energia similar son por suerte raras, porque requiren el alcance de condiciones

especificas, grandes volumenes de magma evolucionado con altas concentraciones de gases, que a/su vez implican largos tiempo de residencia antes de la erupcion. El Ilopango pertenece a aquella categoria de volcanes caldera (como Amatitlan en Guatemala, Campi Flegrei en Italia, Long Valley en California, Rabaul en Nueva Guinea y otros mas), de los cuales podrian ocurrir erupciones con enorme poder destructivo. En el caso del Ilopango, la proximidad a la capital lleva indiscutiblemente a tomar algunas, medidas preventivas, las cuales podrian ser permitidas de:

a) un estudio preciso, destinado a estimar con la maxima exactitud posible la energia de la erupcion esperada, a traves de la elaboracion de un modelo del comportamiento del volcan;

b) La puesta en operacion de un adecuado sistema de control instrumental del volcan.

En la presente situacion, es inutil hacer una evaluacion de peligrosidad; en el caso de una erupcion como aquella de la TBJ, toda la zona metropolitana de San Salvador y la zona del Distrito 7 seran enteramente devastadas. Del punto de vista de la zonificacion del peligro, toda el area del proyecto corresponde para aquel tipo de evento, a una sola zona con ninguna probabilidad de supervivencia. Por otro lado la probabilidad de acontecer un evento tal en un espacio de tiempo de unos 100 anos, es en el momento poco probable.

En el verano 1986 una nube de gas (principalmente CO2) expulsada del lago volcanico de Nyos en Camerum ha matado mas de 1700 personas; este evento catastrofico y uno similar occurrido el ano antes en un otro lago del Camerum han atraido la atencion sobre un nuevo peligro relacionado a lagos cratericos como lo de Ilopango. Evaluar este peligro significa conocer antes de todo las causas que han originado el fenomeno de Nyos y determinar si similares condiciones pueden producirse a Ilopango.

Esta operacion es dificil porqué las causas estan todavia objeto de controversa interpretacion. Los cientificos en efecto concordan solo en excluir un origen volcanico directo

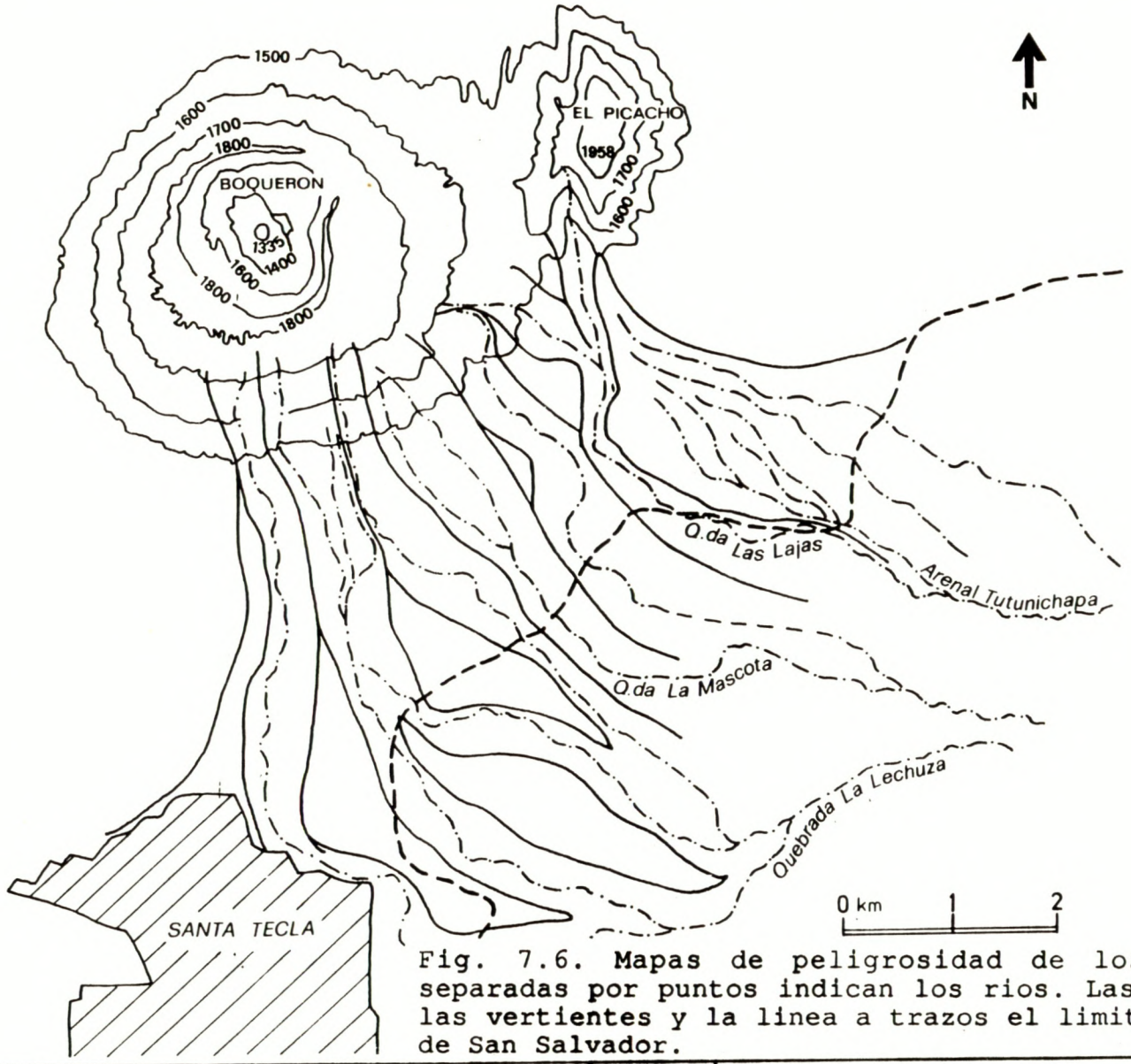


Fig. 7.6. Mapas de peligrosidad de los "lahares". Las lineas separadas por puntos indican los rios. Las lineas continuas indican las vertientes y la linea a trazos el limite aproximado de la ciudad de San Salvador.

(con intervencion de magma). Las dos hipotesis mas acreditadas son las siguientes:
- un origen por explosion freatica occurrida en el subsuelo del lago y causada por acumulacion de vapor, CO2 y menores cantidades de otros gases, bajo la cubierta impermeable de los sedimentos del fondo del lago.
La explosion habria provocado una inyeccion de gas en el lago, el calientamento del agua y la salida consecuente de la nube de gas.
- un origen llamado "limnico" segun el cual la nube de gas se habria originado desde la parte profunda del agua del lago, saturada en CO2 por procesos de putrefaccion y por lento aporte desde el bajo. La nube se habria producido como consecuencia del desbaratamiento del agua del lago debido a factores externos (deslizamientos o ondas de "sessa").
En el conjunto los datos disponibles hacen la primera hipotesis mas probable.
En el caso de Ilopango faltan datos que puedan permitir de evaluar la posibilidad de la existencia de condiciones tales de determinar el uno o el otro de los fenomenos hipotizados.
La posibilidas de un evento de tipo "limnico" podria ser facilmente controlada a traves de una indagin geoquimica sobre las aguas profundas del lago.
La posibilidad de un evento "freatico" no puede ser excludida pero por ser evaluada de modo mejor, se requiere una extension de los estudios.

7.4 Peligrosidad de erupcion para el area metropolitana de San Salvador.

En la fig. 7.7 estan representados todos los riesgos de erupcion volcanica que pueden afectar al area metropolitana de San Salvador:
- peligrosidad de flujo lavico (complejo volcanico San Salvador);
- peligrosidad de lahar (complejo volcanico San Salvador);
- peligrosidad de caida de material piroclastico (complejo volcanico San Salvador y caldera Ilopango).

Como ya explicado antes, la evaluacion del riesgo de la caldera Ilopango es indicativa; la curvas isopacos reportadas en la figura son preliminares y en gran parte basadas sobre los datos de Hart y Steen Mc Intyre (1983).

En las secciones de fig. 7.8 se ha tratado de dar una representacion esquematica de los distintos tipos de erupciones y de los fenomenos que las acompañan en relacion a la actividad del complejo volcanico San Salvador y de la caldera Ilopango.

8. EFECTOS DE LOS FENOMENOS ERUPTIVOS MAS PROBABLES Y MEDIDAS DE PROTECCION CIVIL RELACIONADAS

En este capitulo, seran descritos los tipos de erupciones mas probables en el area en examen y las medidas de seguridad que se pueden adoptar para establecer una proteccion permanente o temporal contra los diversos fenomenos destructivos que los acompanan.
En particular se examinaran los siguientos tipos de errupcion:
- flujos de lava;
- caida de cenizas;
- "surge" piroclasticos;
- flujos de lodo;
- erupciones cataclismicas.

8.1 Flujos de lava

Los flujos de lava, indipendientemente de sus viscosidad ya ser alta o baja, destruyen virtualmente todo lo que no pueda moverse o ser alejado de su trayecto.
Las areas cubiertas por lava, no pueden ser explotadas o utilizadas en actividades agricolas por muchos anos; sin embargo la alteracion meteorica transforma gradualmente la lava solidificada en un suelo muy fertil.
La velocidad de movimiento de los flujos de lava es generalmente baja y permite a personas o animales alcanzar a tiempo lugares seguros.
En pendientes inclinadas, la lava fluida puede moverse mas rapidamente que una persona y es posible que flujos adyacentos que se unan, atrapen a alguien que se encuentre en su curso.
De todas maneras, en general, los flujos de lava no representan peligro para la vida humana.
Varias son las acciones de proteccion contra las coladas lavicas. El primer intento de desviar un flujo de lava se dio en Sicilia en 1669, cuando una colada del Etna, se dirigia hacia Catania. Docenas de hombres se cubrieron con

pieles humedas de vaca como proteccion contra el calor y utilizando barras de hierro lograron abrir una brecha sobre el flanco de la colada. Por lo que permitio a la lava fluida, dirigirse en otra direccion.
Desafortunadamente el nuevo flujo de lava amenazo al pueblo de Paterno, suspendiendo entonces, sus habitantes la operacion de desviacion. La salida lateral abierta se cerro y el flujo principal continuo hasta alcanzar la ciudad de Catania.
A partir de esta fecha se han utilizado otros metodos para desviar las coladas; entre los cuales estan:

- Bombardeos: flujos de lava basaltica de baja viscosidad han sido bombardeados por aviones con el objeto de abrir nuevos canales, o crear barreras para proteger valiosas propiedades.
El bombardeo se puede efectuar solo con buenas condiciones atmosfericas pues a menudo la visibilidad es poca y las violentas turbulencias del aire pueden hacer peligrosa la operacion.
Los misiles aire-tierra podrian dar mejores resultados pero todavia no se han utilizado. Tambien en las mejores condiciones, el bombardeo no es muy preciso y se corre el riesgo de que una bomba caiga en el sitio errado y aumente el flujo en una direccion equivocada.
Es ademas, dudoso que el bombardeo pueda tener un efecto significativo cuando se tienen flujos de considerable espesor. Una alternativa utilizada en el Etna en mayo de 1983, fue la de colocar manualmente explosivos en huecos poco profundidos perforados en la corteza lavica para abrir una brecha y desviar el flujo.

- Barreras para desviacion: se ha observado en muchas ocasiones que la lava tiende a fluir alrededor de obstaculos tales como casas o muros de piedra, en vez de abatirlos. Durante la erupcion del Vesuvio en 1906, la lava, poco viscosa, fluyo alrededor de las casas de Bosco Trecase sin destruirlas. La lava mas viscosa como la emitida por el Etna en 1983 abatio en vez un edificio. Durante esta erupcion fue

intentada la desviacion de una colada que amenazaba un albergo. La operacion que se efectuo, construyendo barreras de considerable costo (utilizando buldoceres y camiones) dio buenos resultados.

- Enfriamiento por rociadores de agua: la idea de enfriar los flujos de lava con grandes cantidades de agua ha sido discutida por mucho tiempo. La primera prueba a gran escala de parar la avanzada de una colada enfriandola, se hizo en Islandia en Heimay en 1973. En este caso la lava se aproximaba al pueblo de Vestmannayiar y a su puerto, vital para la supervivencia de la poblacion de esa isla. La operacion de enfriamiento del frente lavico inicio cuando esto era vecino a la entrada del puerto, duro cerca de 150 dias y se utilizaron 6.2 millones de metros cubicos de agua.
La operacion dio buenos resultados, la lava fue detenida y no alcanzo al puerto, pero el costo fue muy alto (1.6 millones de dolares) y por esto se discutio mucho sobre la validez de la entera operacion. Pero, dado que el frente de lava en avanzada, significaba la destruccion de propriedades, cualquier desaceleracion del flujo implicaba la salvacion de valiosos bienes.
Es imposible decir cuantos metros hubiera podido avanzar la lava, si no se hubiera enfriado, pero lo cierto es que las instalaciones del puerto se salvaron y el costo de la operacion fue completamente justificado.

8.2 Caida de ceniza

Los efectos de la caida de ceniza varian ampliamente dependiendo del volumen del material emitido y de la duracion o intensidad de la erupcion. Las nubes de polvo y pequenas particulas suspendidas en el aire pueden permanecer en la atmosfera por largos periodos (dias o semanas) y se pueden expandir hasta enormes distancias (cientos o miles de kilometros).
En efecto, el material fino derivado de algunas grandes erupciones ha dado la vuelta al entero globo terrestre a

grandes alturas en la atmosfera y ha producido efectos significativos en el clima mundial.

En las zonas circundantes a un volcan en erupcion, la caida de grandes cantidades de cenizas puede recubrir tierras cultivadas destruyendo las cosechas e inutilizandolas temporalmente.

Las cenizas que se acumulan sobre los techos de las casas pueden romperlos y tambien cuando la mayor parte del material fragmentado es enfriado y solidificado, antes de caeer al suelo, pequenas particulas pueden todavia permanecer suficientemente calientes y provocar incendios.

El polvo en el aire puede provocar problemas respiratorios tanto en el hombre como en los animales y puede contener sustancias toxicas (entre las cuales, fluor) que pueden contaminar agua y alimentos.

A pesar de que la caida de cenizas causa danos sobre grandes areas, nunca en tiempos historicos ha sido directamente responsable de perdidas de vida, representando una amenaza mucho menos grave que otros fenomenos eruptivos.

De lo antes expuesto, se recava que los efectos principales de la caida de cenizas son:

- obscuridad completa
- enterramiento de estructuras bajas
- sobrecarga de los techos
- recubrimiento de vegetacion y cosechas.

La caida de grandes contidades de ceniza en erupciones de gran energia puede portar en la proximidad del volcan, a una obscuridad completa y a una reduccion de la visibilidad de tal forma que una luz intensa no se puede ver a unos pocos metros de distancia.

Muy frecuentemente, instalaciones indispensables como por ejemplo hidrantes pueden permanecer enterrados por las espesas cubiertas de cenizas, de tal forma que resulta dificil encontrarlos cuando se los necesita para apagar incendios causados accidentalmente o por caida directa de material incandescente. Este problema puede superarse solo manteniendo durante el fenomeno eruptivo los tubos conectados bajo presion constante y convenientemente alejados del suelo.

La causa principal de los danos, se debe todavia a la acumulacion de ceniza sobre los techos de los edificios que se rompen a causa de la sobrecarga especialmente si esta se encuentra humeda.

En areas expuestas a los fenomenos de caida (San Salvador y sobre todo Santa Tecla pueden ser afectadas por caida de cenizas del Boqueron) es necesario tener preparado, un programa de trabajo y equipos para la remocion de las cenizas; se debe ademas hacer un inventario sobre la resistencia de los techos de las casas de la zona y calcular los maximos espesores de materiales que pueden soportar considerando que la ceniza volcanica seca tiene un peso especifico de 0.5 a 0.7 ton/m3, pero que cuando esta humeda tal valor puede llegar a 1 ton/m3. Tambien se debe tener en cuenta que los techos con fuerte inclinacion costruidos con lamina no tienen la ceniza y no se inflaman con los fragmentos incandescentes. En las zonas alrededor del volcan S.Salvador, especialmente Santa Tecla donde los fenomenos de caida son una amenaza importante, la puesta en vigor de codices de construccion adecuados, puede reducir considerablemente el riesgo de danos. La caida de cenizas puede tener ademas otros efectos indirectos importantes; la ceniza puede contener componentes volatiles (como el fluor) altamente toxicos y tambien en las nubes se pueden generar fuertes campos electricos con consecuentes descargas y relampagos que interfieren con las ondas de radio danando, algunas veces, instalaciones electricas y provocando incendios en edificios o sobre la vegetacion.

Estos efectos deben ser considerados en la planificacion de las operaciones de ayuda.

Cuando se tienen fuertes caidas de ceniza es posible que en areas densamente pobladas como San Salvador se encuentre dificultad en ayudar a todos los habitantes; un programa de informacion masiva puede, en este caso ser un factor importante para ayudar a las personas a tomar decisiones en momentos de emergencia.

Las transmisiones de radio pueden informar: sobre las rutas mas aconsejables para evacuar un area interesada de caida de ceniza (por ejemplo indicando una via perpendicular al

viento); sobre como se puede evitar la respiracion de polvo utilizando filtros de tela humedos en la boca o en la nariz, o como protegerse la cabeza y los hombros utilizando sombreros y capas gruesas; ademas pueden avisar a la poblacion sobre la acumulacion de cenizas en los techos.
Consejos de proteccion muy utiles en una situacion de emergencia son ademas:
- el personal dedicado al rescate y socorro ubicado en areas de fuerte caida de cenizas deben protegerse con cascos provistos de viseras y capas resistente al calor que protejan al cuello y los hombros.
Son necesarias tambien, mascaras antigas en caso de que se detecten gases toxicos;
- la ceniza en los techos puede ser removida por medio de palas o rastrillos manuales. En grandes edificios con techos planos se pueden utilizar palas mecanicas siempre que se tenga en cuenta que tales palas deben ser transportadas sobre los techos utilizando gruas o helicopteros;
- cuando se bota una gran cantidad de ceniza por los bordes de un techo, esta puede acumularse en los lados del edificio y ejercer presion sobre sus paredes. Se requiren por lo tanto, buldoceres para despejar la calle de las cenizas dejandola limpia, o por lo menos plana;
- durante la caida de grandes cantidades de ceniza se necesita considerar que las lineas de corriente electrica pueden representar una amenaza para los peatones, especialmente cuando la visibilidad es escasa y su altura respecto al suelo reducida;
- en la proximidad inmediata al lugar de la erupcion, como se ha mencionado anteriormente, la caida de cenizas puede causar incendios y si los fragmentos son suficientemente grandes, pueden romper los vidrios de las ventanas e incendiar cortinas y muebles en el interior de las casas. Para prevenir esto es suficiente poner en la ventana, del lado expuesto al volcan, hojas metalicas;
- los depositos de combustible pueden ser protegidos colocando finas mallas de hierro sobre los tubos de ventilacion.

8.3 "Surges" piroclasticos

Los "surges" piroclasticos son los fenomenos volcanicos mas destructivos y letales: estos destruyen cualquier objeto que se encuentre en su camino. La posibilidad de que cualquier forma de vida sobreviva al impacto de un "surge" piroclastico es practicamente nula; los efectos del impacto son: los golpes con el material solido en suspension, sofocamiento y alta temperatura; solos o combinados, son mortales.

Es posible, por otra parte que se tenga supervivencia en las zonas laterales.

Los efectos sobre edificios y estructuras son igualmente desvastantes; aquellos que se encuentren en la trayectoria directa del "surge" son destruidos o seriamente danados; los localizados en las zonas laterales o frontales son corroidos o seriamente lesionados.

Los "surges" piroclasticos, descendiendo a altisima velocidad a lo largo de los flancos del volcan, pueden remover completamente la cobertura vegetal destruyendo ramas, troncos (a veces tambien arboles de gran dimension) y arrastrandolos hacia abajo.

Los "surges" piroclasticos son bastante comunes en la actividad de los volcanes en la America Central, y como se ha visto, tambien el Boqueron y la caldera del Ilopango presentan depositos recientes asociables a tales fenomenos; las zonas subyacentes a este tipo de erupcion estan sujetas a una destruccion casi total de los edificio normales.

La unica estructura capaz de proveer proteccion es un refugio subterraneo con paredes y techo renforzados, puertas y ventanas acorazadas y hermeticamente selladas, parecidos a los refugios antiatomicos. Sin embargo el costo de tales refugios hace que sus adopcion sea muy rara aun en paises con posibilidades economicas bien superiores a las de El Salvador.

La construccion de estos refugios podria ser aconsejable en el caso de observatorios vulcanologicos, centros de policia y otros organismos encargados de los servicios esenciales en una zona de posible evacuacion.

Instalaciones importantes y de gran inversion economica, como centrales electricas, centros de comunicacion (como los sistemas del Picacho), archivos importantes etc. justifican el uso de refugios subterraneos.
Mediante el uso de cemento armado se pueden proteger con simples modificaciones puertas, ventanas, garages subterraneos, etc. haciendolos convertibles inmediatemente en refugios contra erupciones explosivas tipo "surges".
A un menor nivel de proteccion, a veces pero suficiente, se puede programar, para los edificios de interes publico (y especialmente en los futuros proyectos de construccion), la adaptacion a las puertas y ventanas de una cerradura hermetica que resista a las nubes de alta temperatura asociadas a los "surges", los cuales, en muchas erupciones, penetran en las casas, asfixiando a los ocupantes aun cuando las estructuras no hayan sufrido danos.

8.4 Flujos de lodo ("lahar")

A parte de las coladas lavicas y los "surges" piroclasticos, los flujos de lodo o "lahares" como vienen llamados en Indonesia, son los fenomenos volcanicos mas peligrosos. Sus alta densidad combinada con la extrema fluidez los dan capacidad de arrastrar y destruir virtualmente todo lo que se encuentra en su camino.
Al detenerse, pueden depositar materiales por decenas de metros de espesor, y en varios casos (como Armero, Colombia 1985) han enterrado pueblos enteros y desviado el curso de los rios.
Los "lahares" representan un gran peligro para la vida no solo porque descendiendo sobre los valles pueden arrastrar a las personas, si no que, una vez detenidos, los depositos a veces son demasiado profundos, incoherentes y calientes para ser atraviesados. Las personas pueden por eso, permanecer en zonas vulnerables por un otro tipo de riesgo volcanico ("surge", coladas, etc).
Los sistemas de seguridad contra los flujos de lodo de pequenas dimensiones son barreras o canales artificiales de desviacion par la proteccion de terrenos o propriedades; se

necesita por otra parte subrayar como el volumen y la fuerza de tales flujos es tal que dificilmente pueden ser controlados. En general no se debe construir estructuras permanentes en las zonas que pueden ser afectadas por estos flujos. La unica proteccion de las urbanizaciones ubicadas a la base oriental del S. Salvador es la evacuacion inmediata cuando una erupcion esta´ por ocurrir o es comenzada ya que los "lahares" son siempre mas probables sobre todo en las estaciones de lluvia.

Todas las veces que el S.Salvador entre en erupcion produciendo grandes acumulaciones de ceniza sobre sus flancos, todas las zonas habitadas ubicadas en los valles orientales y meridionales del volcan deben ser evacuadas como medida de precaucion.

En el caso, de que se espera un flujo de lodo, se puede permitir el acceso a la zona peligrosa solo cuando exista un adecuado sistema de alarma que permita la evacuacion a tiempo.

Tales sistemas de alarma deben ser programados con extremo cuidado ya que la alta velocidad de los "lahares" esperados sobre S.Salvador (dada la pendiente de los flancos del volcan) implica que las personas tienen poco tiempo (minutos) para alcanzar lugares seguros mas altos.

8.5 Erupciones cataclismicas

Muy raramente ocurren erupciones volcanicas explosivas de una magnitud que va mas alla de la experiencia del hombre moderno.

La frecuencia de tal tipo de erupcion es del orden de 1-2 cada mil anos. En los ultimos diez mil anos se conocen las de Crater Lake, Santorino, Taupo, Tambora, Kikai y hace 1700 anos, la del Ilopango (TBJ).

Los vulcanologos no tienen experiencia directa de los sintomos precursores a las erupciones cataclismica, a parte de un concepto general de caracter teorico.

Una erupcion de tales dimensiones produciria riesgos volcanicos espantosos en una zona muy poblada como el area de S. Salvador y podria crear problemas de evacuacion a una

escala hasta ahora no intentada o perdidas humanas terribles.
Medidas de proteccion en el caso de una erupcion catastrofica como la de la TBJ que esta fuera de la experiencia practica, no pueden ser aconsejadas.
La unica esperanza es que con el tiempo, la investigacion vulcanologica pueda permitir un conocimiento, lo mas detallado posible, a cerca de las caracteristicas de tales erupciones.

9. PROGRAMA DE INVESTIGACIONES VULCANOLOGICAS COMPLEMENTARIAS Y DE PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA INSTRUMENTAL

9.1 Investigacion vulcanologica complementaria

Como se ha senalado anteriormente, el estudio de riesgo volcanico ha estado necesariamente limitado en funcion del caracter de urgencia del actual proyecto y de los recursos y tiempos de ejecucion extremadamente limitados.
Para una evaluacion global y definitiva del riesgo volcanico que interesa al area metropolitana de San Salvador es necesario un trabajo de campo y de laboratorio mucho mas extenso como integracion del presente estudio.
En particular se deben realizar las siguientes investigaciones vulcanologicas complementarias:
A - Trabajo de campo.
Para la implementacion de un programa de estudio mas extenso es necesaria una reconstruccion de la secuencia estratigrafica de los productos piroclasticos que afloran en la zona de San Salvador y sobre los volcanes. Deben ser estudiados todos los afloramientos presentes en la zona (y en el caso que sea necesario tambien fuera de la zona de estudio) considerando para cada uno los siguientes parametros:
- tipo de depositos y relativa modalidad eruptiva;
- espesores de cada deposito;
- dimensiones maximas de los liticos y de las pomez (o escorias pomiceas).
Tales datos serviran para la reconstruccion completa de la distribucion areal de los productos y para la preparacion de mapas de las isopacas necesarios para una evaluacion mas correcta de las zonas de riesgo.
Ademas, debera ser efectuado un muestreo detallado del piroclastico por sucesivos analisis granulometricos y petroquimicos.
Para una reconstruccion exacta de la historia eruptiva de cada aparato y para recavar una cierta relacion magnitud-

frecuencia de las erupciones particular atencion debera ser puesta en el muestreo de los productos magmaticos, carbon y paleosuelos por sucesivas dataciones K/Ar y C14; este puede permitir estimar un cierto indicativo periodo de retorno de las varias erupciones.
Un muestreo completo (de cada aparato) de lavas y material piroclastico representante los principales productos emitidos en los distintos periodos de actividad, sera necesario para el estudio petrologico, quimico y geoquimico.
Tal estudio debera portar a:
- la elaboracion de un modelo de comportamiento eruptivo para cada aparato;
- la definicion de los sistemas de alimentacion profunda y/o camaras magmaticas superficiales;
- la definicion del tiempo de residencia del magma a nivel de la corteza antes de la erupcion;
- la definicion de la eventual correlacion entre energia eruptiva, grado de evolucion de los magmas y duracion de los periodos de reposo.
El trabajo de campo debera ser acompanado por un ulterior estudio de fotointerpretacion que individualize las principales lineas de debilidad tectonica (en particular para y la caldera del Ilopango).
Por lo que respecta a la caldera del Ilopango deberan ser definidos los siguientes problemas:

1) Caldera del Ilopango.
- Definicion exacta de la cronologia eruptiva y del tipo de actividad.
- Estudio detallado de las erupciones mas recientes, de sus caracteristicas (erupcion freatica, freatomagmatica y magmatica), de su distribucion areal y de la relativa zona de emision.

B - Estudios analiticos y determinaciones de laboratorio.

En el ambito de tales estudios deberan ser efectuados:
- estudios petrograficos de laminas delgadas;
- analisis quimico de elementos mayores;
- analisis quimicos de elementos menores;

- analisis mineralogicos a la microsonda;
- dataciones absolutas K/Ar;
- dataciones absolutas C14;
- analisis granulometricos .

9.2 Sistema de vigilancia instrumental

La vigilancia volcanica consiste en la aplicacion de tecnicas geo-fisicas (sobretodo control de la sismmicidad y de las deformaciones del suelo) y geoquimicas (control de fumarolas y fuentes termales). Estas tienen como objetivo detectar la aproximacion de condiciones eruptivas con un anticipo suficiente para consentir la puesta en marcha de planes de preteccion civil de la poblacion. Estos planes seran establecidos preventivamente en base a los resultados de los estudios de evaluacion de riesgo.
No obstante la presencia, en las cercanias de la ciudad, de tres sistemas volcanicos potencialmente activos, no existe de hecho minguna organizacion de vigilancia volcanica en El Salvador, porque hay solo una estacion sismografica instalada sobre los dos volcanes de San Salvador y de San Jacinto.
El programa es estudiado de manera tal de asegurar la puesta en marcha de un sistema de vigilancia de dimensiones adecuadas en el area metropolitana y de proveer un sistema movil para situaciones de emergencia volcanica. Esto prevee las siguientes operaciones.

9.2.1 Vigilancia sismica

- Instalacion de estaciones con tres componentes para la vigilancia volcanica permanente del area metropolitana (sobre el volcan de San Salvador y sobre el sistema volcanico San Jacinto - Ilopango), todas con teletrasmision automatica de los datos por radio al centro de San Salvador.

- Suministro de una red movil con estaciones sismicas a 3 componentes para la intervencion de emergencia sea en el

area metropolitana que en otras zonas de El Salvador con riesgo particularmente elevado (diques, instalaciones electricas, otros volcanes activos).

- Integraciones de la red sismica regional existente con nuevas estaciones telemetradas al centro de recoleccion de datos de San Salvador.

9.2.2 Control de las deformaciones del suelo

El programa prevee:
- Instalacion de estaciones clinometricas sobre el volcan de San Salvador con teletrasmision de los datos al centro de vigilancia.
- Instalacion de estaciones clinometricas sobre el complejo de Ilopango con teletrasmisiones de los datos al centro de vigilancia.
- Instalacion de un limnografo en el lago Ilopango.

9.2.3 Elaboraciones de datos

El Departamiento de Sismologia del Centro de Investigaciones Geotermica de San Salvador cuenta actualmente con dos computadoras: una PS-T5 con plotter automatico y una Digital Professional 350, faltando para ambos la mesa de digitation y para il DF 350 tambien el plotter.
Para los objetivos de una vigilancia sismica y volcanica que debe proveer datos seguros en tiempo real o casi real, este sistema de elaboracion de datos necesita un notable mejoramiento. Se sugiere de instalar un doble sistema: uno "on-line" para la elaboracion automatica de las datos sismicos y un segundo "off-line" para ulteriores elaboraciones. Tales sistemas tendran que permitir:
1 - el adquisicion de los datos y el monitoraje de los eventos sismicos;
2 - la elaboracion de estos datos.

Las elaboraciones principales preveen el calculo de las coordenadas ipocentrales del evento, la magnitud, el mecanismo focal, los parametros de surgiente.

9.2.4 Vigilancia geoquimica

Las tecnologias geoquimicas utilizadas en la vigilancia de los volcanes proximos al area metropolitana de San Salvador tendran que ser aplicadas segun el siguiente esquema:
(1) Estudio de la geoquimica de los fluidos circulantes en los aparatos y en sus cercanias inmediatas; esta primera fase es a la vez subdividida en tres partes:
(a) Terreno: muestreo de los fluidos y analisis de campo de las especies inestables:
(b) Laboratorio: analisis de las aguas y de los gases;
(c) Interpretacion de los datos geoquimicos y seleccion de los sitios de vigilancia periodica.

9.2.4.1 Estudio de la geoquimica de los fluidos circulantes en los aparatos y en sus inmediatas cercanias

Particular enfasis se le dara al estudio de las distribuciones de las substancias gaseosas o que presenten una cierta afinidad con la fase gaseosa.
La importancia de los volatiles es su movilidad, propriedad que permite de:
- individualizar estructuras permeables, posiblemente afectadas por la actividad tectonica;
- recibir informaciones relativa a las condiciones termodinamicas presentes en profundidad;
- reconocer modificaciones de tales condiciones, posiblemente causadas por variaciones del flujo de calor, a la vez determinadas por fenomenos volcanicos activos (subida del magma).

(a) Terreno: muestreo de los fluidos y analisis de campo de las especies inestables.

La primera operacion de esta fase tendra que ser una completa revision de la informacion existente para facilitar la programacion del muestro. Este ultimo comprendera no solamente fuentes termales, sino tambien aguas frias (surgientes, pozos, aguas superficiales). En efecto el estudio de las caracteristicas de las fuentes termales, alimentadas por circuitos hidrogeologicos mas profundos y/o mas calientes, no puede prescindir del conocimiento de aquellos mas superficiales y/o mas frios.
Durante la fase de terreno se efectuaran las siguientes operaciones:
1) Ubicacion del punto de muestreo, sea computando las coordenadas geograficas que dibujando un esquema topografico de acceso; esto es muy importante para poder remuestrear exactamente el mismo punto en el curso de los futuros controles.
2) Descripcion de las caracteristicas hidrologicas y geologicas de los puntos de aguas, estimacion del flujo de la surgiente; recoleccion de los datos estratigraficos, profundidad, nivel estatico y/o dinamico de eventuales pozos.
3) Determinacion de la temperatura, del pH, del Eh, de la conductividad electrica especifica y de las concentraciones de las especies quimicas inestables (bicarbonato+carbonato y silice) y recoleccion de las muestras de agua y gas.
4) Determinacion del amoniaco, en un laboratorio de terreno, o en el laboratorio central en San Salvador (CEL).

Se ejecutera ademas un esmerado programa de muestreo de las aguas del lago Ilopango para la determinacion de las distintas especies gaseosa (en particular gas de origen magmatico).

(b) Analisis de las aguas y de los gases.
En los laboratorios quimicos italianos tendran que desarrollarse las siguientes determinaciones:
- sobre cada muestra de H2O: Ca, Mg, Na, K, Li, HCO3+CO3, SO4, Cl, F, NO3, SiO2 e H3BO3.

- Sobre cada muestra de gas: N_2, O_2+Ar, CO_2, CO, CH_4, H_2, H_2S y SO_2.

(c) Interpretacion de los datos geoquimicos y seleccion de los sitios de vigilancia.
El objetivo principal del levantamiento geoquimico es la definicion de un modelo sobre el origen y sobre la circulacion del fluido en los aparatos volcanicos y en sus inmediatas cercanias.
En la fase de interpretacion de los datos geoquimicos, la definicion de los tipos hidroquimicos representa el trabajo basilar para la identificacion de los circuitos hidricos presentes y de sus profundidades y termalidad relativa.
La utilizacion de tecnicas geotermometricas (Na/K, Ca/K, Ca/Na, SiO_2) en las aguas termales, eventualmente modelizando fenomenos de mezcla con aguas freaticas, puede dar informaciones sobre la temperatura existente en profundidad almenos entre los limites de la hipotesis de equilibrio agua-paragenesis hidrotermales especifica de los geotermometros mismos.
El estudio de la distribucion en las aguas freaticas de las substancias volatiles o relativamente volatiles (CO_2, NH_3 e H_3BO_3) tiene como objetivo la individualizacion de la estructuras permeables, posiblemente coincidentes con estructuras tectonicas activas, que posibilita la subida de tales substancias, de cuerpos hidricos mas o menos profundos, hacia la superficie.
Tales modelos permitiran la seleccion de las manifestaciones que, por la actividad de ellas y tipo de alimentacion, representan los mayores puntos de monitoraje del sistema hidrotermal-volcanico y que deberian ser periodicamente muestreados por los tecnicos locales.

Todas las informaciones recogidas seran utilizadas por la definicion del programa de control periodico: puntos de muestreo, routine de prelievos y de analisis, criterios interpretativos a los fines de la vigilancia volcanica.

10. BIBLIOGRAFIA

AMAROLI P. - 1987: "Un sitio Preclasico Medio en la ciudad de Antiguo Cuscatlan, dept. de La Libertad". Informe archivado en el Museo Nacional Davide J. Guzman.

ARMIENTI P. & PARESCHI M.T. - 1987: "Automatic reconstruction of surge deposit thicknesses. Application to some italian volcanoes". Jour. Volc. and Geoth. Res., Vol. 31, pag. 313-320.

ARMIENTI P., MACEDONIO G., PARESCHI M.T. - 1987: "A numerical model for the simulation of tephra transport and deposition: application to the May 18, 1980 Mt. St. Helens eruption" in press on the Journ. of Geoph. Res.

BARBERI F., INNOCENTI F., LUONGO G., ROSI M., SANTACROCE R., SCANDONE R. - 1984: "Il rischio vulcanico nei Campi Flegrei". Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Vulcanologia.

BAXTER S., DIAZ O., AMAYA A., FLORES DE S.- 1986: "Estudio gravimetrico a lo largo de las rutas Acajutla - Anguiatu, La Libertad - El Poy, Barra de Santiago - Mizata". Comision Ejecutiva Hidroelectrica del Rio Lempa. El Salvador.

BAXTER S., DIAZ O., AMAYA A., FLORES DE, S. - 1986: "Estudio gravimetrico a lo largo de las rutas Acajutla - Anguiatu, La Libertad - El Poy, Barra De Santiago - Mizata" Comision Ejecutiva Hidroelectrica del Rio Lempa. El Salvador.

COX K.G., BELL, J.D., PANKHURST R.J. - 1978: "The interpretation of igneous rocks". George Allen & Unwin.

DENGO G. - 1968: "Estructura geologica historia tectonica y morfologia del America Central" Centro Regional Del Ayuda Tecnica (A.I.D.).

DOLLFUSS & MONT-SERRAT - 1868: "Voyage geologique dans les Republiques de Guatemala et de Salvador". Paris.

FRIEDLANDER I. - 1918: "Ueber den vulkanischen Ausbruch in San Salvador". Z. f. Vulk., Vol. IV, Berlin, pag. 193-201.

FRIEDLANDER I. - 1918a: "Weitere Nachrichten uber den Ausbruch in San Salvador". Z. f. Vulk., Vol. IV, pag. 308.

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

HART W.J.E. - 1983 : "Classic to Postclassic tephra layers Exposed in Archeological sites, Eastern Zapotitan Valley" in Sheets, P.D. ed., Archeology and Volcanism in Central America: the Zapotitan Valley of El Salvador. University of Texas Press, Austin, Texas

HART W.J.E. & STEEN-Mc INTYRE, V. - 1983: "Tierra Blanca Tephra from the AD 260 eruption of Ilopango caldera" in Sheets, P.D. ed., Archeology and Volcanism in Central America: The Zapotitan Valley of El Salvador University of Texas Press, Austin, Texas.

IRVINE T.N. & BARAGAR, W.R.A. - 1971: "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks". Can Jour. Earth Sci., Vol. pag. 523-548.

KERR P.F. - 1977: "Optical Mineralogy". Mc Graw Hill.

LARDE' J. - 1956: "El Quezaltepeque: Su erupcion y terremoto de junio de 1917". New edit. in "Tribuna Libre" of April 4.

LARDE' Y LARIN, J.: "Genesis del volcan del Playon". Anales Museo D.J. Guzman, Vol. I, no. 3, San Salvador, pag. 88.

MACEDONIO G., PARESCHI M.T., SANTACROCE R. - 1987: "Valutazione e controllo di alcuni parametri fisici agenti durante la fase pliniana dell'eruzione del Vesuvio del 79 D.C.". Bollettino del GNV.

MALIN M.C. & SHERIDAN M.F. - 1982: "Computer assisted mapping of pyroclastic surges". Science 217: pp. 637-639.

MARTINEZ H.M.A. - 1978: "Cronologia sismica y eruptiva de la Republica de El Salvador a partir de 1520". Ministero de Obras Publicas, Centro de Investigacion Geotecnicas.

MEYER-ABICH H. - 1956: "Los volcanoes activos de Guatemala y El Salvador". Anales Serv. Geol. Nac., Bol. 3, San Salvador.

MISION GEOLOGICA ALEMANA - 1973: "Investigaciones geologicas en la region metropolitana de San Salvador y sus alrededores, con indicaciones de riesgos sismicos, hidrologia y planeamiento de urbanizacion". CIG, San Salvador, agosto.

MONTESSUS DE BALLORE F. - 1888: "Tremblement de terre et eruptions volcaniques au Centre-Amerique". Dijon, pp. 212-237.

MOOSER F., McBIRNEY A.R., MEYER-ABICH H. - 1958: "Catalogue of the active volcanoes of the world. Part. 6. Central America". IAVCEI, Napoli.

NEWELL R.E., KIDSON J.W., VINCENT D.G., BOER G.J. - 1972: "The general circulation of the tropical atmosphere and interactions with extratropical latitudes". The MIT Press, Cambridge, Massachussets.

ROY S.K. - 1957: "Re-Estudio de la Erupcion del Volcan El Boqueron en 1917, El Salvador, Centro America". Comun. Inst. Trop. Inv. Cient. 6,1.

SAPPER K. - 1897: "Vulkane in Salvador und Sudost-Guatemala". Petermann's Mitt., Vol. 1897, pp. 1-7.

SAPPER K. - 1913: "Die mittelamerikanischen Vulkane". Petermann's Mitt., Erg. H. 178, Gotha.

SAPPER K. - 1925: "Los volcanes de la America Central". Halle.

SAPPER K. - 1926: "Die vulkanische Tatigkeit in Mittelamerika im 20. Jahrundert. Part.II". Z. f. Vulk., Vol. IX, Berlin, pp. 242-246.

SCHMIDT - THOME, M. - 1975: "The geology in the San Salvador area (El Salvador Centro America), a basis for city development and planning". Geol. Jb. 13, pag. 207-228.

SIEBERG A. - 1933: "Erdbebenforschung und ihre Verwentung fur Techik, Bergbau und Geologie". 144 S., Gustav Fischer Verlag, Jena.

WEYL R. - 1954: "Beitrage zur Geologie El Salvador. IV. Die Bimsaschen in der Umgebung San Salvador". N. Jb. Geol. Palaont., Mh. 1954, S. 49-70, Stuttgart.

WEYL R. - 1954: "Beitrage zur geologie El Salvador. V. Die Schmelztuffe der Balsamkette". N. Jb. Geol. Palaontl. Abh. 99, S. 1-32, Stuttgart.

WEYL R. - 1955: "Beitrage zur Geologie El Salvador. IV. Die Laven der jungen Vulkane". N. Jb. Geol. Palaont., Abh. 99, 101, S. 12-38, Stuttgart.

WEYL R. - 1961: "Die Geologie Mittelamerikas". 226 S., Gebr. Borntrager-Verlag, Berlin.

WILLIAMS H. & MEYER-ABICH, H. - 1953: "El origen del lago de Ilopango". Com. Inst. Trop. Invest. Cient., 2, no. 1, Pag. 1-8, San Salvador.

WILLIAMS H. & MEYER-ABICH, H. - 1955: "Volcanism in the southern part of El Salvador". Univ. Calif. Publ. Geol. Sci., 32, pag. 1-54, Berkeley, Los Angeles.

XIMENEZ Fr. - 1722: "Historia Natural del Reyno de Guatemala". Titulo VI. Guatemala.

APENDICE I - Anexo fotografico

Foto 1 Volcan San Salvador.

Foto 2 Pared interna del crater del Boqueron.

Foto 3 Vista general del interior del crater del Boqueron.

Foto 4 Lava y piroclastitas del Boqueron cubiertas por Tierra Blanca Joven.

Foto 5 Deposito de lapilli escoriaceos del cono adventicio La Joya.

Foto 6 Talpetate. Deposito piroclastico freatomagmatico pre-historico del Boqueron.

Foto 7 Talpetate finamente estratificado sobre los depositos de Tierra Blanca Joven.

Foto 8 Domo del San Jacinto.

Foto 9 Lava fracturada de los domos del San Jacinto

Foto 10 Pared interna de la caldera de Los Planes de Renderos.

Foto 11 Lava "colapse flow" del crater Montserrat.

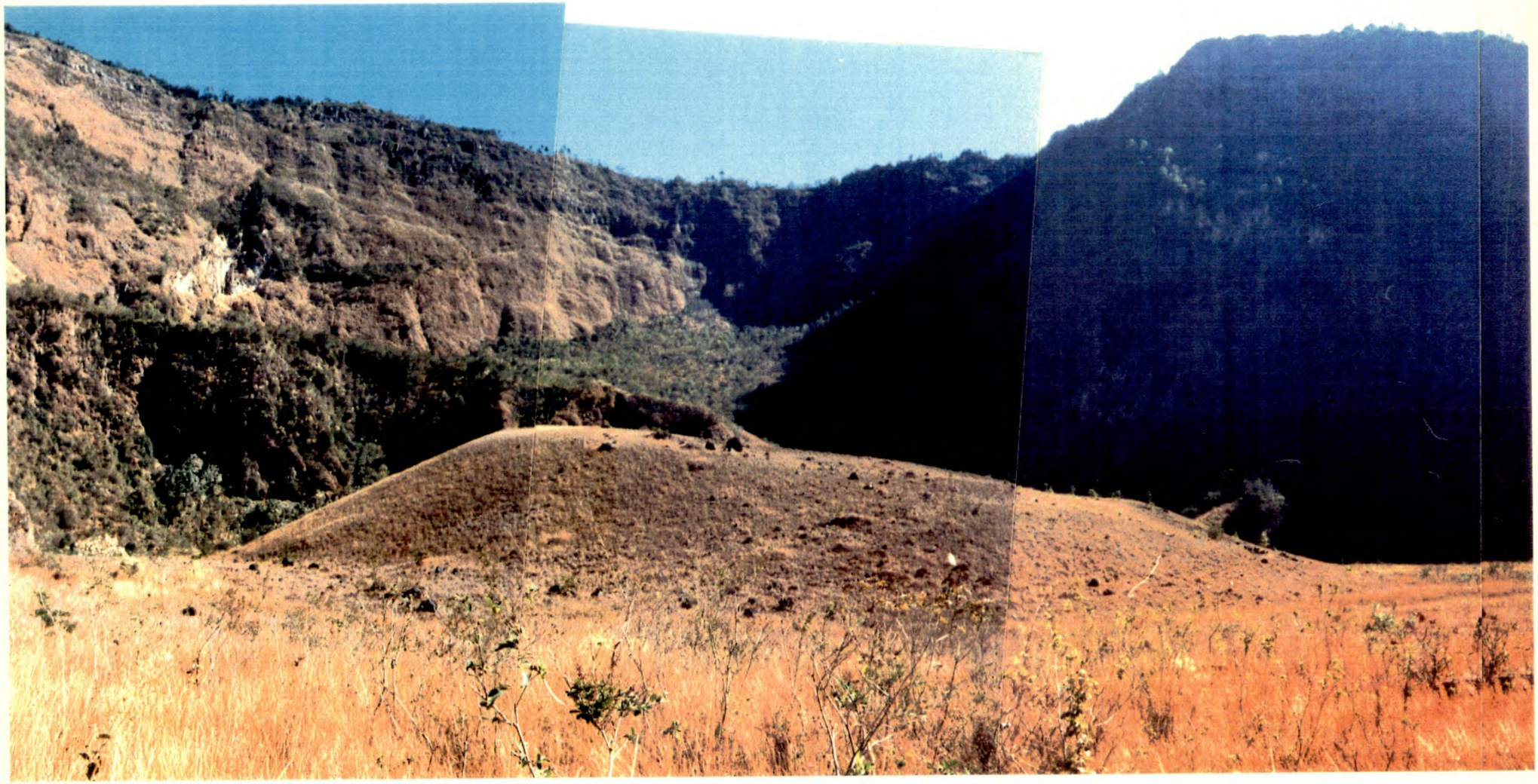
Foto 12 Lago de Ilopango: domos Islas Quemadas y paredes de la caldera Ilopango. Al fondo a la izquierda: caldera Los Planes de Renderos, domos San Jacinto, volcan Boqueron.

Foto 13 Lago de Ilopango: domos Islas Quemadas.

Foto 14 Lago de Ilopango: domos Islas Quemadas.

1

2



3

4

5

Geotermica Italiana srl

consorzio salvador e.
ITALTEKNA-ITALCONSULT

6

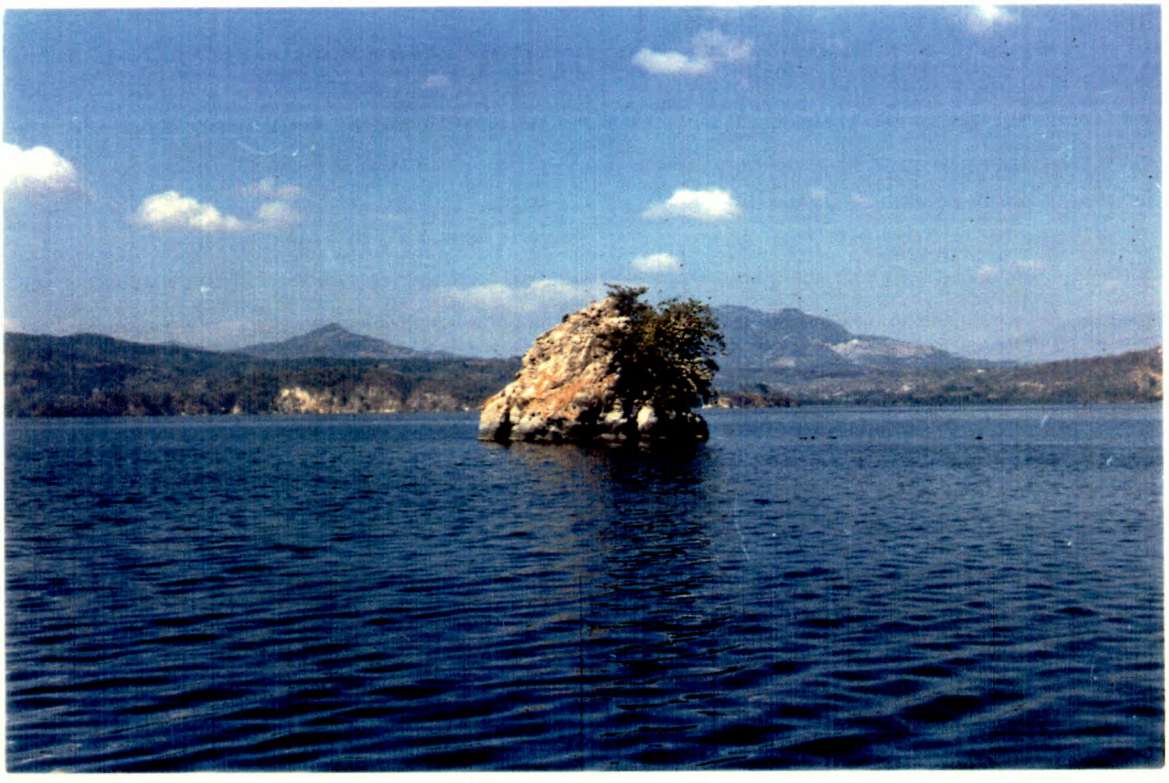
7

8

9

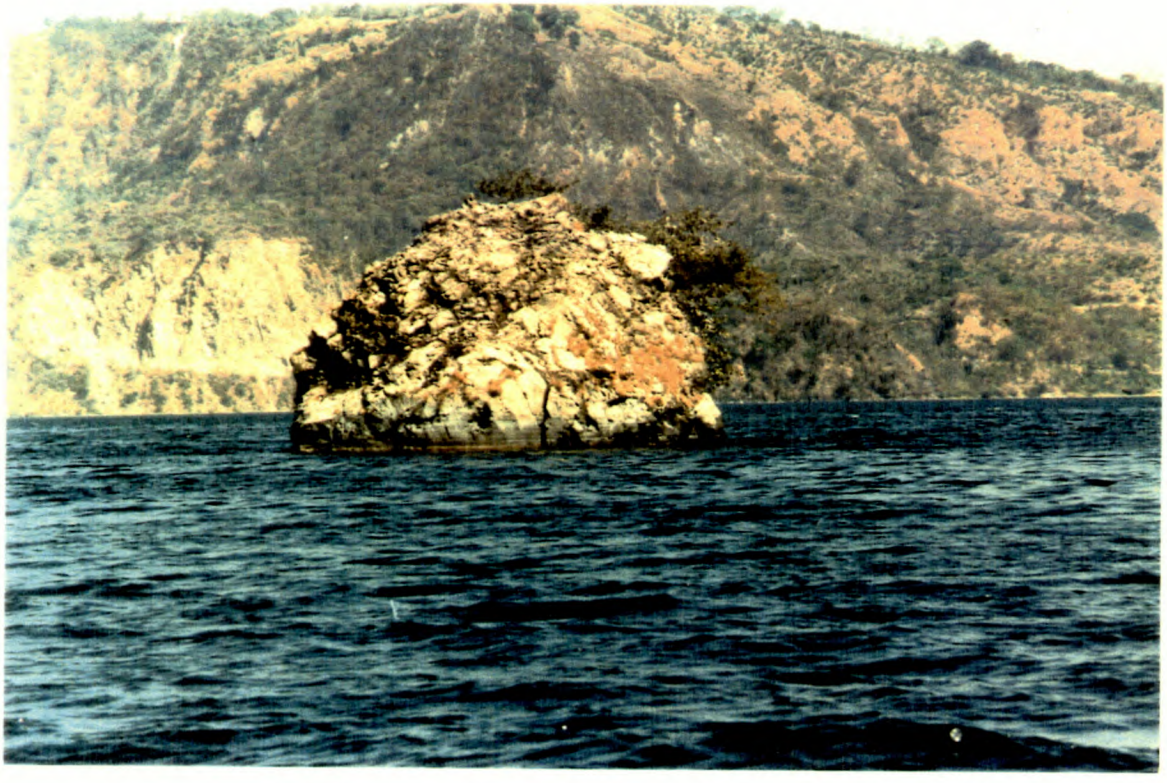
10

11



12

13



14

APENDICE II. - Lista de muestras

SS1 - Lava antigua del volcan San Salvador muestreada sobre la carretera Panamericana 1 km antes de Colon.

SS2 - Lava del Boqueron (erupcion del 1917) cerca del autodromo Jabali.

SS3 - Pomez del flujo piroclastico T1c de la TBJ (San Marcos).

SS4 - Bloque de vidrio porfirico del flujo piroclastico T1c de la TBJ. Aflora en la carretera de San Martin a San Agustin (Lago de Ilopango).

SS5 - Lava escoriacea basica de Ilopango (cono en la cercania de la quebrada Champazole).

SS6 - Paleosuelo subyacente a la formacion Tierra Blanca Joven; aflora en el corte de la carretera Panamerica en el desvio a Tecoluca.

SS7 - Paleosuelo subyacente a las cenizas pumiticas TB3. Se encuentra en el mismo afloramiento de SS6.

SS8 - Paleosuelo subyacente al "Fall Pomez Superior" TB2, encontrado en el mismo afloramiento de SS6.

SS9 - Lava de un cono basico de Ilopango, muestreada cerca de Cojutepeque.

SS10- Lava de un domo dacitico de Ilopango en la cercania de Punta de Cinco Tiros.

SS11- Lava del Cerro San Jacinto muestrada en una cantera de San Marcos.

SS12- Lava del Cerro San Jacinto muestrada en la cercania de la colonia Monte Carmelo.

SS13 - Blogue lavico de una brecha de explosion del Boqueron, colectado en el interior del crater.

SS14 - Lava del Distrito 7 (Troncal del Norte).

SS15 - Derrame de lava del Distrito 7 (Troncal del Norte).

SS16 - Lava del Boqueron. Colada de lava en San Salvador (Sondeo Hogar del Nino).

SS17 - Pomez de caida en el estrato basal de la TBJ (San Marcos).

SS18 - Pomez del "Surge" de la TBJ (San Marcos).

SS19 - Pomez del flujo piroclastico T1c de la TBJ (San Marcos).

PZ1 - Lava del Boqueron. Colada de lava en San Salvador.

PZ2 - Paleosuelo debajo el "Pomez Superior" TB2.

PZ3 - Paleosuelo debajo de las "Cenizas Pumiticas" TB3.

PZ4 - Paleosuelo debajo "Fall gris" G1.

P1 - Paleosuelo subjacente a los productos del crater de San Jose Las Flores. Colectado en el borde izquierdo del rio Las Canas.

P2 - Paleosuelo, subjacente al "Fall Pomez Superior" TB2. Muestreado en la calle que de la Troncal del Norte baja hacia el rio Las Canas (columna estratigrafica S3).

P3 - Paleosuelo debajo a las "Cenizas pumiticas" TB3. Colectado en el mismo lugar del P2 (columna estratigrafica S3).

P5 - Paleosuuelo subjacente al "Fall bandeado " TB4.
(columna estratigrafica A3).

APENDICE III: Descripcion petrografica de algunas muestras representativas

---

MUESTRA N SS1 PROCEDENCIA: Volcan San Salvador

ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, muy porfirica
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - presente ya sea en la matriz como en fenocristales de dimensiones desde pequenos hasta muy grandes. Zona oscilatoria An 58-65. Clinopiroxeno - Augita: a veces in crecimiento sobre el Ortopiroxeno. Ortopiroxeno - Hipersteno: estable. Olivino - pocos microfenocristales con bordes de reaccion. Magnetita - presente en la matriz y como fenocristales de dimensiones medias.
MATRIZ: poco Vidrio, poco Sanidino, bastante Plagioclasa, Clinopiroxeno y Magnetita. Microcristalina.
ALTERACION: Ausente
OBSERVACIONES: Presentes liticos intrusivos constituidos de: Plagioclasa, Clinopiroxeno, Magnetita.

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **ANDESITA**

MUESTRA N SS2 PROCEDENCIA: Boqueron (colada del 1917)

ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, porfirica
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - pocos fenocristales; forma, sin embargo, la mayor parte de la matriz.
Clinopiroxeno - presente en cantitad media en la matriz y, tambien, como pocos fenocristales.
Magnetita - pocos microfenocristales, bastante difundida en la matriz.
MATRIZ: Muy oxidada, son reconocibles agujas de Plagioclasa (muchos), microcristales de Clinopiroxeno y de Magnetita.
ALTERACION: Media
OBSERVACIONES: Roca escoriacea con pocos fenocristales. Presentes glomeroporfiros de Plagioclasa.

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **ANDESITA**

MUESTRA N SS13 PROCEDENCIA: Boqueron (comienzo de la actividad)

ESTRUCTURA: Holocristalina, intergranular, muy porfirica
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - constituye el 80% (aprox.) de los fenocristales y gran parte de la matrix.
Clinopiroxeno - Augita: presente en gran cantidad en la matrix, y como pocos fenocristales.
Olivino - Pocos fenocristales y algunos microfenocristales siempre con bordes de reaccion de piroxeno.
Magnetita - presente ya sea como en fenocristales como en la matriz.
MATRIZ: Constituida por mucho Plagioclasa, Clinopiroxeno, poco Olivino y Magnetita en cantitad media.
ALTERACION: Ausente.
OBSERVACIONES: /

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **ANDESITA-BASALTICA**

MUESTRA N PZ1 PROCEDENCIA: Boqueron (colada en San Salvador)

ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - Representa el 90% de los fenocristales.
Clinopiroxeno - Pocos fenocristales; difundido esencialmente en la matriz.
Olivino - Un microfenocristal con bordes de reaccion.
MATRIZ: Constituida por poco vidrio en la mayor parte desvitrificado, Plagioclasa (mucho), Clinopiroxeno y Magnetita.
ALTERACION: Media; limitada a la matriz desvitrificada.
OBSERVACIONES: Pocos fenocristales.

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **ANDESITA**

MUESTRA N SS11 PROCEDENCIA: San Jacinto

ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, muy porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - Presente en gran cantitad, zona oscilatoria An 45-58.
Clinopiroxeno - Augita: presente en media cantitad ya sea en fenocristales como en la matriz.
Ortopiroxeno - Hipersteno: presente en media cantitad como fenocristales; a menudo con bordes de Clinopiroxeno.
Magnetita - Presente tanto en la matriz y como fenocristales.
MATRIZ: Microcristalina. Constituida por poco vidrio, poco Sanidino, poco Clinopiroxeno, poca Magnetita, mucho Plagioclasa.
ALTERACION: Ausente.
OBSERVACIONES: Presentes glomeroporfiros de Clinopiroxeno y Plagioclasa y de Clinopiroxeno, Plagioclasa y Ortopiroxeno.

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **ANDESITA ACIDA**

MUESTRA N SS12 PROCEDENCIA: San Jacinto

ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, muy porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - Muy difundido tanto en la matriz como en la forma de fenocristales. Zona oscilatoria An 43-45.
Clinopiroxeno: Augita.
Ortopiroxeno: Hipersteno: bordes de oxidacion.
Anfibol: Hornblenda: bordes de oxidacion.
Magnetita: Presente, tambien, como microfenocristales.
MATRIZ: Microcristalina; es posible reconocer solo algunos oxidos (Magnetita), Plagioclasa, en algunas zonas uno poco de vidrio.
ALTERACION: Media-baja debida predominantemente a la oxidacion.
OBSERVACIONES: Esta presente un xenolito de Basalto constituido por muy abundante Plagioclasa, poco Clinopiroxeno y muchos maficos totalmente oxidados. Algunos de ellos presentan la tipica forma del Olivino; inclusiones de Plagioclasa, Clinopiroxeno y Anfibol.

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **DACITA**

MUESTRA N SS5 PROCEDENCIA: Ilopango

ESTRUCTURA: Hipocristalina fluidal mediamente porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagiocasa - Abundante en la matriz muy pobre en fenocristales.
Clinopiroxeno - Augita: presente en poca cantidad.
Olivino - Idingisitisada, representa casi la totalidad de los fenocristales.
Magnetita - Abundante en la matriz.
MATRIZ: Muy oxidada, se reconocen Plagioclasas, Clinopiroxenos y algunos Olivinos.
ALTERACION: Bastante elevada. La roca esta´ muy oxidada y las cavidades estan rellenadas por zeolitas.
OBSERVACIONES: Roca escoriacea

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **BASALTO**

MUESTRA N SS9 PROCEDENCIA: Ilopango

ESTRUCTURA: Holocristalina, intergranular, muy porfirica
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - Constituye gran parte de la matriz mientra pocos son los fenocristales.
Clinopiroxeno - Augita: pocos fenocristales.
Olivino - Presente en gran cantitad tanto en la matriz como en fenocristales de tamano notable. A veces estos cristales circundan la plagioclasa.
Magnetita - Presente solo en la matriz.
MATRIZ: Granos bastante gruesos; constituida por mucho Plagioclasa y Olivino, poca Magnetita y Clinopiroxeno.
ALTERACION: Ausente.
OBSERVACIONES: /

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **BASALTO**

MUESTRA N SS10 PROCEDENCIA: Ilopango (Domo)

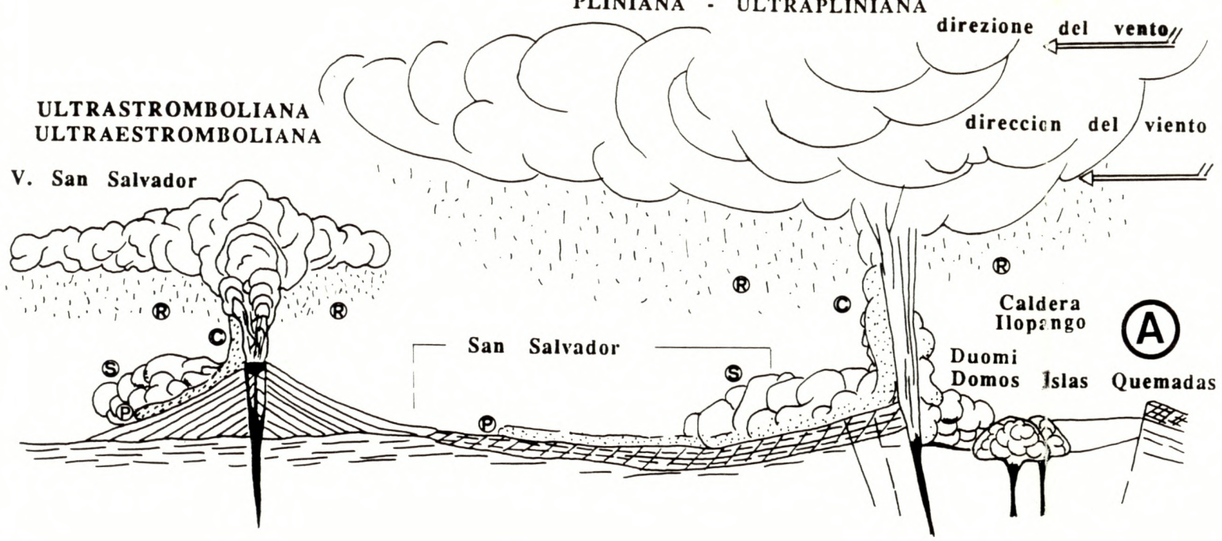
ESTRUCTURA: Hialopilitica, muy porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa - Presente tanto en la matriz como en la forma de fenocristales. Zona oscilatoria An 43-45.
Clinopiroxeno - Augita: presente en pequena cantitad tanto como fenocristales como en la matriz.
Anfibol - Horneblenda: presente en mediana cantitad tanto en la matriz como fenocristales.
Magnetita - Estan presentes algunos fenocristales de pequenas dimensiones.
MATRIZ: Desvitrificada. Se reconocen agujas de Plagioclasa, Anfibol, algunos microcristales de Clinopiroxeno y muy poca Magnetita.
ALTERACION: Poca.
OBSERVACIONES: /

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **DACITA**

MUESTRA N SS14 PROCEDENCIA: Distrito 7 (Lava)

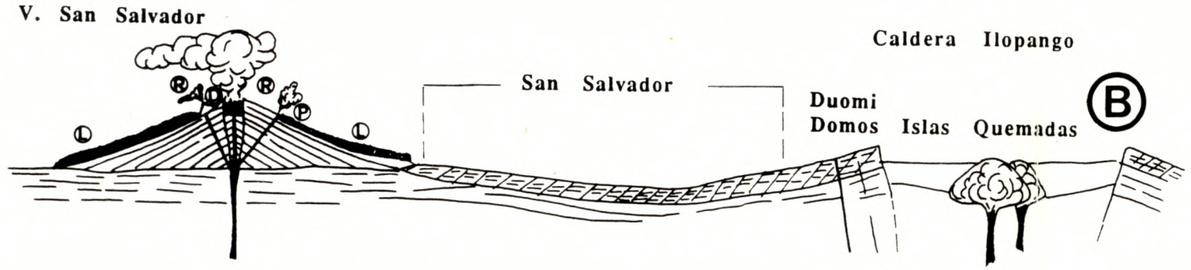
ESTRUCTURA: Hipocristalina, intersertal, porfirica.
MINERALES FUNDAMENTALES: Plagioclasa, solamente en la matriz.
Clinopiroxeno - Augita: solamente en la matriz.
Olivino - Baulingizada. En la matriz y como fenocristales.
Magnetita - Solamente en la matriz.
MATRIZ: Grano grueso. Constituida en gran parte por Plagioclasa con poco Clinopiroxeno observado en los intersticios, mucho Olivino, poco vidrio totalmente alterado y Magnetita.
ALTERACION: Media-baja. Vidrio alterado y Olivino baulingizada.
OBSERVACIONES: /

CLASIFICACION PETROGRAFICA: **BASALTO**



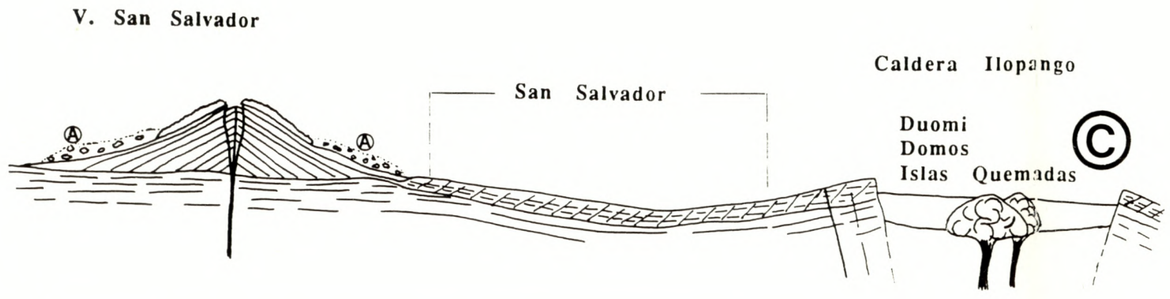
(A)

TIPO DE ERUPCION: Ultraestromboliana (V. San Salvador), pliniana o ultrapliniana (o cataclismica) (Ilopango).
FENOMENOLOGIA ERUPTIVA: Caida de material piroclastico (R), "surge" (S), flujo piroclastico (P)
DESCRIPCION DE LOS FENOMENOS:
Caida de material piroclastico (R): caida de ceniza y lapilli de la nube eruptiva. En las erupciones plinianas y ultraplinianas (caracterizadas por columnas eruptivas muy altas y de grande energia) la caida afecta areas muy grandes.
"Surge" (S): se forman por colapso (C) de la nube eruptiva y representan la porcion superior menos densa del material colapsado. Son producidos en general por interaccion agua-magma en las erupciones plinianas o ultraplinianas pero pueden occurrir tambien en las ultraestrombolianas.
Flujos piroclasticos (P): representan la parte inferior mas densa del material colapsado; son tipicos de las erupciones plinianas o ultrapliniana.



(B)

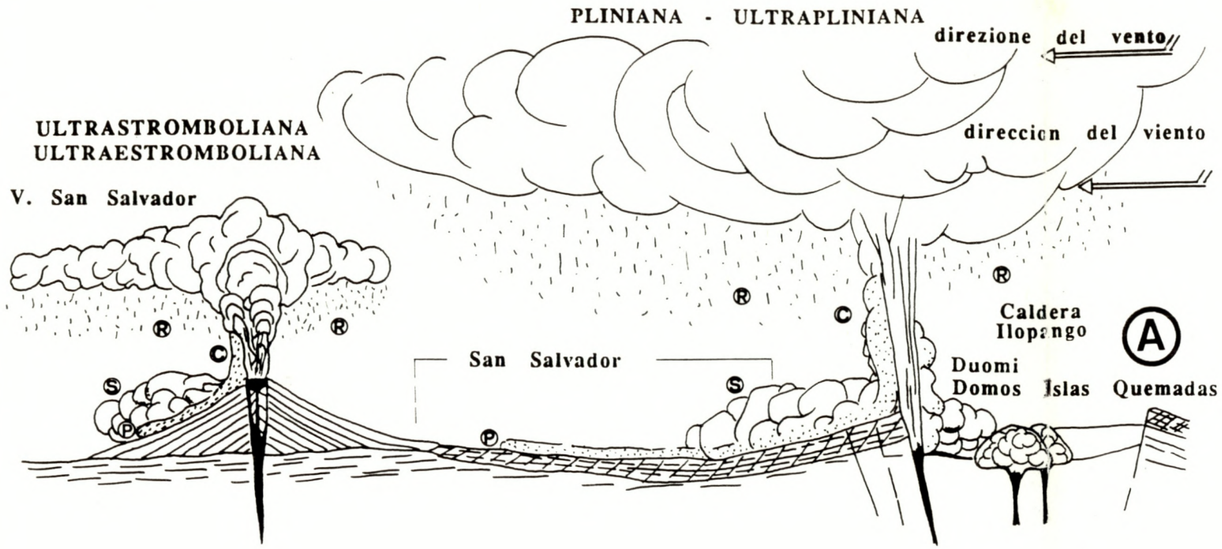
TIPO DE ERUPCION: Estromboliana
FENOMENOLOGIA ERUPTIVA: Emision de lavas (L)
DESCRIPCION: Las lavas pueden ser emitidas de fracturas (F) o pequenos centros adventicios (D). Fluien en las depresiones y pueden llegar hasta aprox. 8 km del centro de emision. La emision de lava puede occurrir junta con una reducida actividad explosiva con caida localizada de ceniza y lapilli (R).



(C)

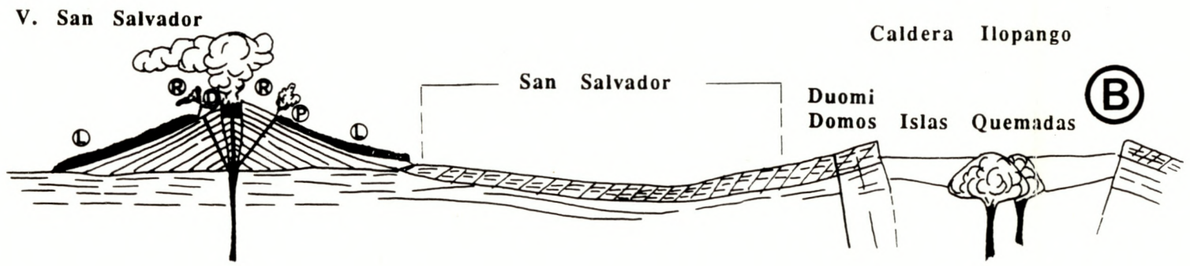
FENOMENOS SEGUNDARIOS: Flujos de lodo (lahar) (A).
DESCRIPCION: Durante las estaciones lluviosas el material volcanico depositado sobre los flancos del volcan puede ser removido por la lluvia. Resulta un flujo de lodo (que puede transportar hasta bloques de grandes dimensiones) y, como el flujo lavico, se mueve a lo largo de las depresiones.

Fig. 7.8 Secciones esquematicas que muestran las diferentes fenomenologias eruptivas.



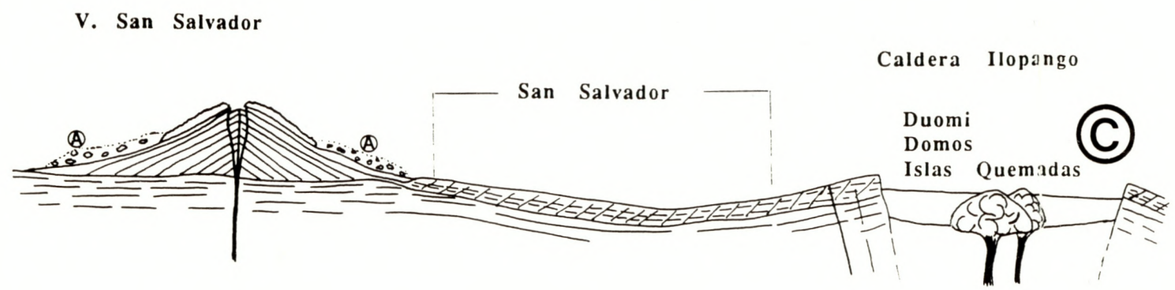
(A)

TIPO DE ERUPCION: Ultraestromboliana (V. San Salvador), pliniana o ultrapliniana (o cataclismica) (Ilopango).
FENOMENOLOGIA ERUPTIVA: Caida de material piroclastico (R), "surge" (S), flujo piroclastico (P)
DESCRIPCION DE LOS FENOMENOS:
Caida de material piroclastico (R): caida de ceniza y lapilli de la nube eruptiva. En las erupciones plinianas y ultraplinianas (caracterizadas por columnas eruptivas muy altas y de grande energia) la caida afecta areas muy grandes.
"Surge" (S): se forman por colapso (C) de la nube eruptiva y representan la porcion superior menos densa del material colapsado. Son producidos en general por interaccion agua-magma en las erupciones plinianas o ultraplinianas pero pueden occurrir tambien en las ultraestrombolianas.
Flujos piroclasticos (P): representan la parte inferior mas densa del material colapsado; son tipicos de las erupciones plinianas o ultraplinianas.



(B)

TIPO DE ERUPCION: Estromboliana
FENOMENOLOGIA ERUPTIVA: Emision de lavas (L)
DESCRIPCION: Las lavas pueden ser emitidas de fracturas (F) o pequenos centros adventicios (D). Fluien en las depresiones y pueden llegar hasta aprox. 8 km del centro de emision. La emision de lava puede occurrir junta con una reducida actividad explosiva con caida localizada de ceniza y lapilli (R).



(C)

FENOMENOS SEGUNDARIOS: Flujos de lodo (lahar) (A).
DESCRIPCION: Durante las estaciones lluviosas el material volcanico depositado sobre los flancos del volcan puede ser removido por la lluvia. Resulta un flujo de lodo (que puede transportar hasta bloques de grandes dimensiones) y, como el flujo lavico, se mueve a lo largo de las depresiones.

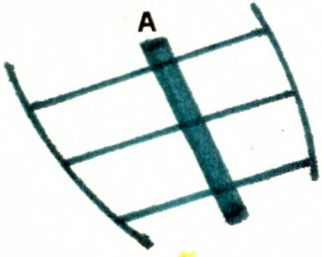
Fig. 7.8 Secciones esquematicas que muestran las diferentes fenomenologias

LEGENDA-LEYENDA

COMPLESSO VULCANICO SAN SALVADOR
COMPLEJO VOLCANICO SAN SALVADOR

Simulazione per prodotti di ricaduta. Le curve rappresentano le aree a uguale distribuzione al suolo di cenere in Kg/m2. E' stato ipotizzato un vento orientale di 5 m/s.
Simulacion para productos de caida. Las curvas expresan las areas a similar distribucion al suelo de ceniza en Kg/m2. Ha sido hipotizado un viento oriental de 5 m/s.

Pericolosità da colate di fango (lahar). Sono riportate le zone soggette a possibile invasione di colate di fango.
Peligrosidad de flujos de lodo (lahar). Estan reportadas las areas sometidas a posible invasion de flujos de lodo.



Pericolosità da colate di lava. Sono riportate le zone soggette a possibile invasione lavica. La linea A rappresenta la zona di probabile apertura di fratture.
Peligrosidad de flujos de lava. Estan reportadas las areas sometidas a posible invasion lavica. La linea A representa la probable abiertura de fracturas.

CALDERA ILOPANGO

Isopache per prodotti di ricaduta. Le curve riportano le aree a uguale spessore al suolo di cenere (m).
Isopacas para productos de caida. Las curvas reportan las areas a similar espesor al suelo de ceniza (m).

Fig. 7.7 Mapa de peligrosidad (preliminar) de erupcion para el area metropolitana de San Salvador.

APENDICE IV **Analisis quimicos y Calculos Normativos CIPW (Fe2O3 = 15% FeO tot)**

□ Weyl, 1955

◘ Williams y Meyer - Abich, 1955

● G.E. Fairbrothers y al, 1978

▲ Hart W.J. E. y Steen - McIntyre V., 1983

✱ Geotermica Italiana.

Boqueron (Serie lavica inferior)

	●B-1	●B-2	●B-5	●B-6	●B-7	●B-8	●B-9
SiO2	56.80	53.10	52.70	51.80	55.50	55.70	53.30
TiO2	0.99	1.14	1.30	0.95	0.92	0.98	1.15
Al2O3	18.00	18.30	17.20	16.70	17.70	18.20	17.20
Fe2O3	2.96	2.85	2.91	4.57	4.38	3.12	3.16
FeO	5.06	6.80	7.46	5.75	4.26	5.47	7.33
MnO	0.18	0.19	0.20	0.19	0.18	0.18	0.20
MgO	2.04	3.59	3.95	4.41	2.48	2.41	3.93
CaO	7.60	9.62	9.10	9.47	7.83	7.82	9.06
Na2O	4.08	3.21	3.33	2.98	3.65	3.64	3.35
K2O	1.81	1.33	1.30	1.23	1.65	1.69	1.25
P2O5	0.22	0.22	0.28	0.20	0.25	0.25	0.20
CO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.43	0.59	0.37	1.54	1.44	1.08	0.23
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	100.17	100.94	100.10	99.79	100.24	100.54	100.36
Q	5.07	1.43	0.92	0.95	5.35	5.25	1.36
or	10.72	7.83	7.70	7.40	9.87	10.04	7.38
ab	34.63	27.08	28.26	25.67	31.27	30.98	28.32
an	25.52	31.49	28.22	29.07	27.37	28.48	28.17
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Den	3.31	5.50	5.81	6.97	3.37	2.86	5.78
Dfs	5.88	6.76	6.91	7.55	5.32	4.65	7.12
en	3.56	6.36	7.17	7.95	4.69	4.71	7.09
fs	7.25	8.96	9.79	9.89	8.49	8.79	10.02
fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	1.48	1.79	1.94	1.92	1.59	1.59	1.95
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	1.89	2.16	2.48	1.84	1.77	1.87	2.18
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.52	0.52	0.67	0.48	0.60	0.60	0.47
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.83	99.86	99.87	99.69	99.69	99.82	99.84
DI	50.42	36.34	36.89	34.02	46.49	46.27	37.06
Plg	42.43	53.76	49.96	53.10	46.67	47.90	49.86
IC	23.37	31.52	34.09	36.12	25.23	24.47	34.14
Mgv	34.83	43.69	44.23	47.50	37.96	37.07	43.87
N/K	2.25	2.41	2.56	2.42	2.21	2.15	2.68

Boqueron (Serie lavica inferior)

	●B-10	●B-11
SiO2	53.10	53.00
TiO2	0.98	1.22
Al2O3	18.10	17.20
Fe2O3	2.85	0.12
FeO	6.02	10.10
MnO	0.16	0.20
MgO	2.75	4.00
CaO	8.94	9.09
Na2O	3.53	3.29
K2O	1.41	1.34
P2O5	0.21	0.20
CO2	0.00	0.00
H2O+	0.99	0.41
H2O-	0.00	0.00
TOT	99.04	100.17
Q	2.20	0.96
or	8.50	7.94
ab	30.47	27.92
an	29.96	28.27
ne	0.00	0.00
le	0.00	0.00
kp	0.00	0.00
C	0.00	0.00
ac	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00
Den	4.71	5.93
Dfs	6.97	7.14
en	4.80	7.24
fs	8.15	10.00
fo	0.00	0.00
fa	0.00	0.00
mt	1.68	1.96
hm	0.00	0.00
il	1.90	2.32
ru	0.00	0.00
tn	0.00	0.00
pf	0.00	0.00
ns	0.00	0.00
ks	0.00	0.00
cs	0.00	0.00
ap	0.51	0.47
Cc	0.00	0.00
aq	0.00.	0.00
TOT	99.85	100.15
DI	41.17	36.82
Plg	49.58	50.32
IC	28.21	34.58
Mgv	39.33	44.22
N/K	2.50	2.46

Boqueron (Serie lavica superior)

	●B-12	●B-13	●B-14	●B-15	●B-16	●B-17	●B-18
SiO2	57.70	58.70	58.60	58.00	58.00	55.60	54.90
TiO2	1.14	1.16	1.19	1.13	0.97	1.07	2.30
Al2O3	15.60	15.60	15.50	15.40	15.40	16.40	16.80
Fe2O3	0.38	2.06	2.12	1.44	0.69	3.38	2.98
FeO	9.04	7.33	7.47	7.91	8.65	6.55	6.86
MnO	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21
MgO	2.47	2.38	2.49	2.47	2.64	3.01	2.92
CaO	6.30	6.12	6.21	6.11	6.27	7.68	8.05
Na2O	3.94	3.99	4.02	3.99	3.97	3.74	3.74
K2O	2.07	2.06	2.08	2.07	2.07	1.80	1.52
P2O5	0.19	0.22	0.19	0.24	0.20	0.22	0.21
CO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.64	0.42	0.20	0.65	0.69	0.21	0.23
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.67	100.24	100.27	99.61	99.75	99.86	100.72
Q	6.96	8.21	7.53	7.53	6.97	3.72	4.32
or	12.35	12.19	12.28	12.36	12.35	10.67	8.94
ab	33.68	33.83	34.00	34.13	33.92	31.77	31.50
an	18.95	18.61	18.09	18.19	18.26	22.72	24.44
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Den	3.45	3.13	3.51	3.34	3.72	4.71	5.04
Dfs	6.18	5.66	6.19	5.86	6.29	7.15	6.64
en	4.61	4.49	4.57	4.67	4.91	5.34	4.90
fs	9.48	9.32	9.25	9.41	9.53	9.32	7.40
fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	1.82	1.76	1.80	1.78	1.79	1.84	1.82
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	2.19	2.21	2.26	2.17	1.86	2.04	4.35
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.45	0.52	0.45	0.57	0.48	0.52	0.49
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	100.11	99.94	99.94	100.01	100.08	99.82	99.86
DI	52.99	54.24	53.82	54.02	53.24	46.17	44.76
Plg	36.01	35.48	34.73	34.76	34.99	41.70	43.69
IC	27.72	26.57	27.58	27.23	28.10	30.40	30.15
Mgv	34.76	34.40	34.95	35.19	36.56	38.84	38.24
N/K	1.90	1.94	1.93	1.93	1.92	2.08	2.46

Boqueron (Lavas de erupciones historicas y pre-historicas)

	●B-19	●B-20	●B-21	●B-24	●B-3
SiO2	59.00	58.90	59.00	56.70	60.70
TiO2	1.90	1.20	1.23	1.22	0.93
Al2O3	15.10	14.70	14.80	15.30	15.50
Fe2O3	2.00	6.74	2.59	1.31	0.34
FeO	7.57	3.25	7.09	9.21	8.29
MnO	0.23	0.22	0.22	0.23	0.21
MgO	2.03	2.00	2.05	2.87	1.55
CaO	5.40	5.44	5.54	6.81	4.49
Na2O	3.86	4.40	4.42	3.97	4.17
K2O	2.35	2.23	2.23	1.92	2.71
P2O5	0.22	0.23	0.25	0.23	0.22
CO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.14	0.30	0.15	0.20	0.30
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.80	99.61	99.57	99.97	99.41
Q	10.23	7.69	7.42	4.67	10.61
or	13.93	13.27	13.25	11.37	16.16
ab	32.79	37.50	37.63	33.68	35.61
an	16.99	13.87	14.04	18.30	15.71
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Den	2.42	3.16	3.24	4.38	1.24
Dfs	4.76	6.90	6.96	7.52	3.32
en	3.95	3.55	3.63	5.13	3.32
fs	8.93	8.90	8.96	10.12	10.17
fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	1.80	1.80	1.82	2.00	1.66
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	3.62	2.29	2.35	2.32	1.78
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.52	0.55	0.60	0.55	0.53
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.95	99.48	99.90	100.04	100.11
DI	56.95	58.46	58.30	49.72	62.39
Plg	34.14	27.00	27.17	35.20	30.61
IC	25.49	26.60	26.96	31.47	21.49
Mgv	30.48	30.29	30.57	35.86	26.73
N/K	1.64	1.97	1.98	2.07	1.54

Lavas de centros eventicios (Boqueron) San Salvador

	●B-22	●B-23	●EP	●LC	●SS1
SiO2	56.70	51.70	56.70	56.10	57.41
TiO2	1.15	1.22	1.13	1.23	0.81
Al2O3	16.60	18.30	16.60	17.20	16.93
Fe2O3	3.32	13.46	3.32	3.79	3.95
FeO	6.19	5.71	6.19	5.99	4.45
MnO	0.21	0.17	0.21	0.22	0.18
MgO	2.47	4.79	2.47	2.64	3.07
CaO	7.18	9.16	7.18	7.47	7.15
Na2O	3.98	3.28	3.98	3.77	3.75
K2O	1.78	0.92	1.78	1.68	1.29
P2O5	0.25	0.23	0.25	0.33	0.16
CO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.22	0.84	0.22	0.00	0.06
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	100.05	109.78	100.03	100.42	99.21
Q	5.32	0.00	5.31	5.12	8.16
or	10.54	4.99	10.54	9.89	7.69
ab	33.75	25.49	33.75	31.78	32.01
an	22.21	29.83	22.21	24.94	25.77
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Den	3.65	3.14	3.64	3.11	3.31
Dfs	6.38	5.78	6.38	5.19	4.18
en	4.47	2.42	4.47	5.10	6.17
fs	8.97	5.11	9.00	9.75	8.94
fo	0.00	4.96	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	11.54	0.00	0.00	0.00
mt	1.76	3.13	1.76	1.79	1.55
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	2.19	2.13	2.15	2.33	1.55
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.59	0.50	0.59	0.78	0.38
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.82	99.00	99.82	99.78	99.73
DI	49.60	30.48	49.60	46.79	47.86
Plg	39.69	53.92	39.69	43.97	44.60
IC	27.41	38.20	27.41	27.27	25.71
Mgv	35.26	35.23	35.26	36.24	43.70
N/K	2.24	3.57	2.24	2.24	2.91

San Jacinto

	* SS11	*SS12	◘ SJ-1
SiO2	60.87	64.34	60.43
TiO2	0.72	0.52	0.74
Al2O3	16.49	16.13	17.38
Fe2O3	3.50	4.47	2.60
FeO	3.12	1.11	4.09
MnO	0.15	0.11	0.19
MgO	2.67	1.81	3.06
CaO	6.23	4.80	6.13
Na2O	3.96	4.08	3.38
K2O	1.48	1.89	1.49
P2O5	0.12	0.12	0.02
CO2	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.06	0.23	0.65
H2O-	0.00	0.00	0.00
TOT	99.37	99.61	100.16
Q	12.95	18.25	14.00
or	8.81	11.24	8.85
ab	33.75	34.75	28.75
an	23.01	20.24	27.99
ne	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00
Den	2.88	1.04	1.01
Dfs	3.23	1.42	1.02
en	5.36	4.05	7.19
fs	6.89	6.38	8.33
fo	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00
mt	1.21	0.99	1.24
hm	0.00	0.00	0.00
il	1.38	0.99	1.41
ru	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00
ap	0.29	0.29	0.05
Cc	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00
TOT	99.75	99.64	99.84
DI	55.51	64.24	51.60
Plg	40.53	36.81	49.33
IC	20.95	14.88	20.20
Mgv	46.29	41.65	49.06
N/K	2.68	2.16	2.27

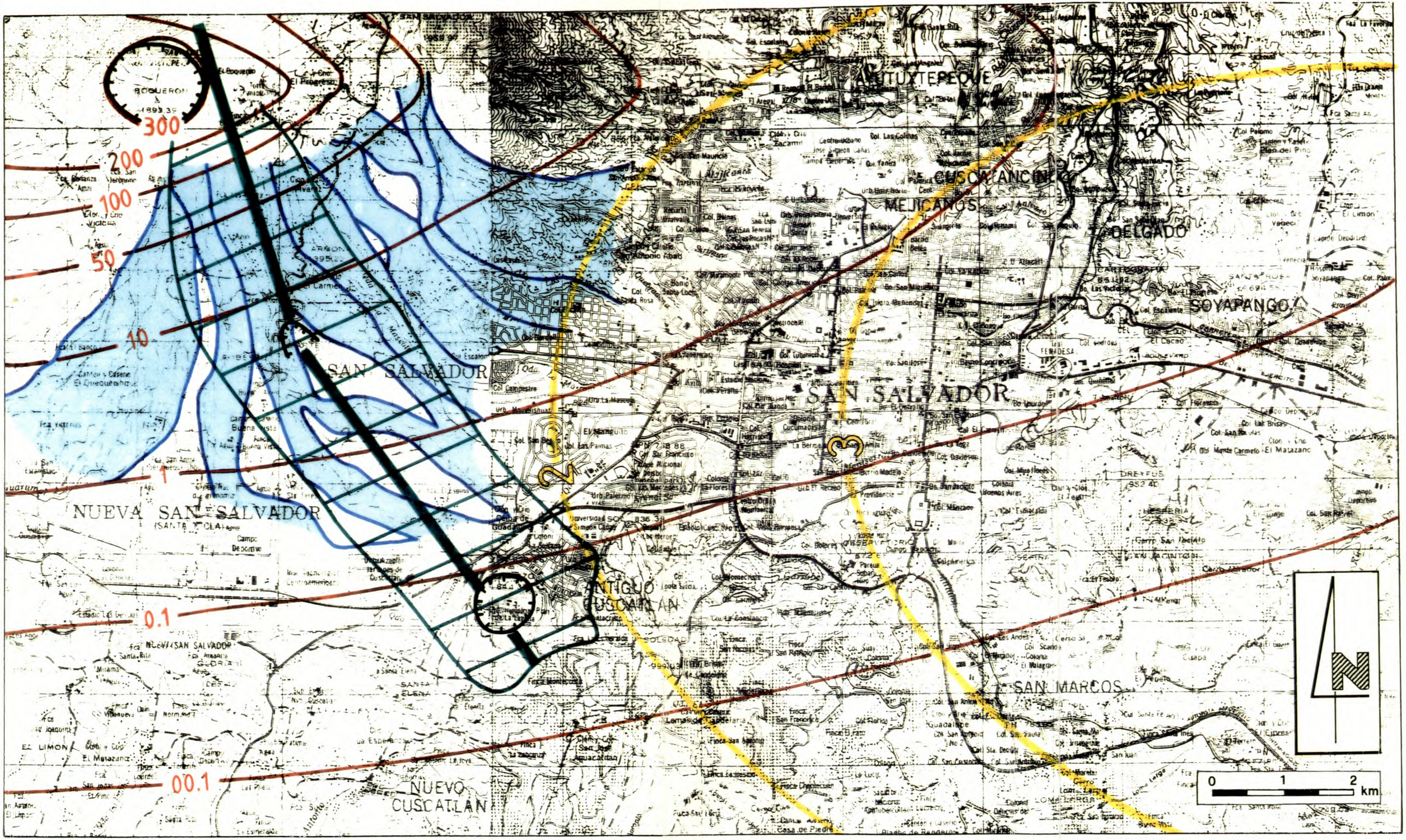
	Ilopango (Lavas)		Ilopango (Tobas superiores)
	●SS9	●SS10	▲TB1
SiO2	50.92	69.30	72.15
TiO2	1.16	0.33	0.26
Al2O3	17.51	14.67	16.17
Fe2O3	2.98	1.37	2.59
FeO	6.36	1.51	0.00
MnO	0.18	0.10	0.00
MgO	6.10	0.82	0.39
CaO	8.85	3.10	2.80
Na2O	3.42	4.41	3.21
K2O	1.12	2.16	2.38
P2O5	0.31	0.09	0.03
CO2	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.04	1.86	0.00
H2O-	0.00	0.00	0.00
TOT	98.95	99.72	99.98
Q	0.00	26.83	36.48
or	6.69	13.04	14.07
ab	29.27	38.15	27.18
an	29.44	14.16	13.70
ne	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	3.30
ac	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00
Den	6.26	0.31	0.00
Dfs	4.33	0.50	0.00
en	5.77	1.94	0.97
fs	4.58	3.60	3.09
fo	4.68	0.00	0.00
fa	4.10	0.00	0.00
mt	1.75	0.54	0.45
hm	0.00	0.00	0.00
il	2.23	0.64	0.49
ru	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00
ap	0.74	0.22	0.07
Cc	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00
TOT	99.85	99.92	99.78
DI	35.96	78.02	77.72
Plg	50.15	27.07	33.51
IC	33.71	7.53	5.00
Mgv	57.72	37.69	25.30
N/K	3.05	2.04	1.35

Ilopango (Tierra blanca joven)

	▲TB6	▲TB4	✱SS17	✱SS18	✱SS19
SiO2	67.90	69.20	68.90	69.60	69.70
TiO2	0.37	0.33	0.34	0.35	0.32
Al2O3	15.64	15.40	14.30	13.70	14.20
Fe2O3	3.80	3.20	1.37	1.22	1.23
FeO	0.00	0.00	1.72	1.62	1.47
MnO	0.00	0.00	0.10	0.12	0.12
MgO	1.09	0.84	0.84	0.75	0.78
CaO	4.95	4.35	2.98	2.62	2.84
Na2O	4.22	4.30	4.25	4.17	4.42
K2O	2.06	2.10	2.14	2.29	2.22
P2O5	0.16	0.13	0.09	0.09	0.09
CO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	0.00	0.00	2.63	3.13	2.51
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	100.19	99.85	99.66	99.66	99.90
Q	22.85	25.17	27.70	29.54	27.85
or	12.15	12.43	13.03	14.02	13.47
ab	35.65	36.45	37.08	36.57	38.42
an	17.62	16.54	14.04	12.33	12.68
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Den	2.00	1.38	0.19	0.16	0.38
Dfs	2.92	2.18	0.32	0.28	0.62
en	1.78	1.46	2.07	1.86	1.82
fs	2.98	2.64	4.04	3.73	3.35
fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	0.65	0.55	0.58	0.54	0.51
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	0.70	0.63	0.67	0.69	0.62
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.38	0.31	0.22	0.22	0.22
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	99.69	99.74	99.92	99.93	99.93
DI	70.65	74.05	77.81	80.12	79.73
Plg	33.07	31.21	27.46	25.21	24.82
IC	11.05	8.84	7.86	7.26	7.30
Mgv	39.21	37.12	36.53	35.83	37.99
N/K	2.05	2.05	1.99	1.82	1.99

Ilopango (Islas Quemadas)

	□Q1	□Q2	□I1
SiO2	65.00	67.16	55.34
TiO2	0.72	0.42	0.58
Al2O3	15.60	16.48	18.46
Fe2O3	5.40	0.78	2.55
FeO	2.10	2.92	5.56
MnO	0.10	0.22	0.24
MgO	1.10	1.86	5.33
CaO	4.40	4.18	8.02
Na2O	3.50	3.58	2.93
K2O	1.40	1.46	0.88
P2O5	0.10	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
H2O+	1.18	0.00	0.00
H2O-	0.00	0.00	0.00
TOT	100.60	99.06	99.89
Q	24.32	26.92	5.76
or	8.32	8.71	5.21
ab	29.80	30.59	24.83
an	21.30	20.93	34.66
ne	0.00	0.00	0.00
le	0.00	0.00	0.00
kp	0.00	0.00	0.00
C	0.57	1.42	0.00
ac	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00
Den	0.00	0.00	2.44
Dfs	0.00	0.00	1.82
en	2.76	4.68	12.16
fs	9.55	5.23	10.38
fo	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00
mt	1.34	0.70	1.51
hm	0.00	0.00	0.00
il	1.38	0.81	1.10
ru	0.00	0.00	0.00
tn	0.00	0.00	0.00
pf	0.00	0.00	0.00
ns	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00
cs	0.00	0.00	0.00
ap	0.24	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	0.00
aq	0.00	0.00	0.00
TOT	99.57	99.99	99.86
DI	62.44	66.22	35.80
Plg	41.68	40.63	58.26
IC	15.02	11.41	29.41
Mgv	24.23	50.96	57.86
N/K	2.50	2.45	3.33


300
200
100
50
10
1
0.1
00.1
SAN SALVADOR
NUEVA SAN SALVADOR
(SANTA TECLA)
ANTIGUO CUSCATLAN
NUEVO CUSCATLAN
ANTIOXTEPEQUE
CUSCATANCINGO
MEJICANOS
DELGADO
SOYAPANGO
SAN MARCOS
0 1 2 km

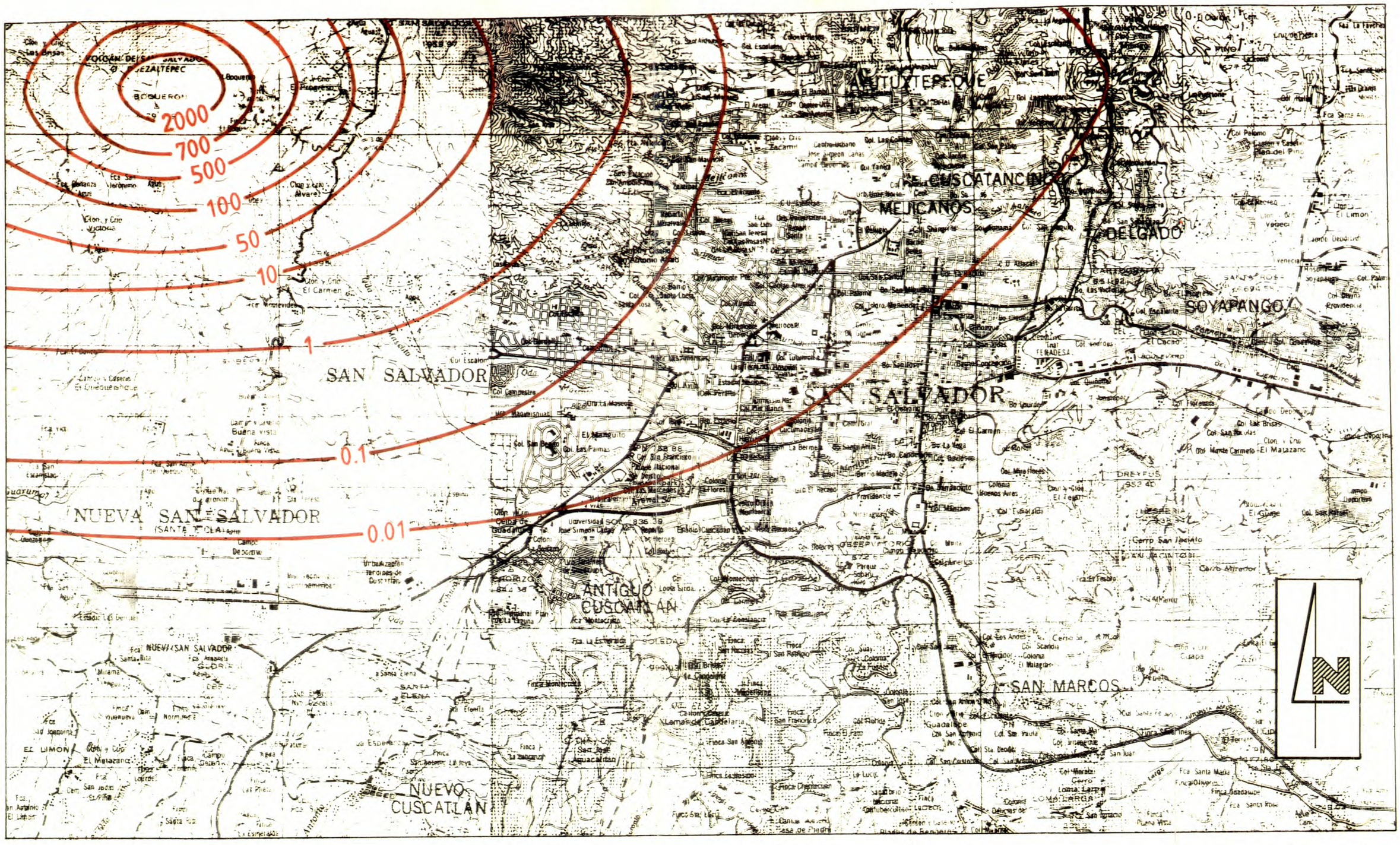


Fig. 7.2b Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos sobre el area metropolitana de San Salvador. Datos como en la Fig. 7.2a.

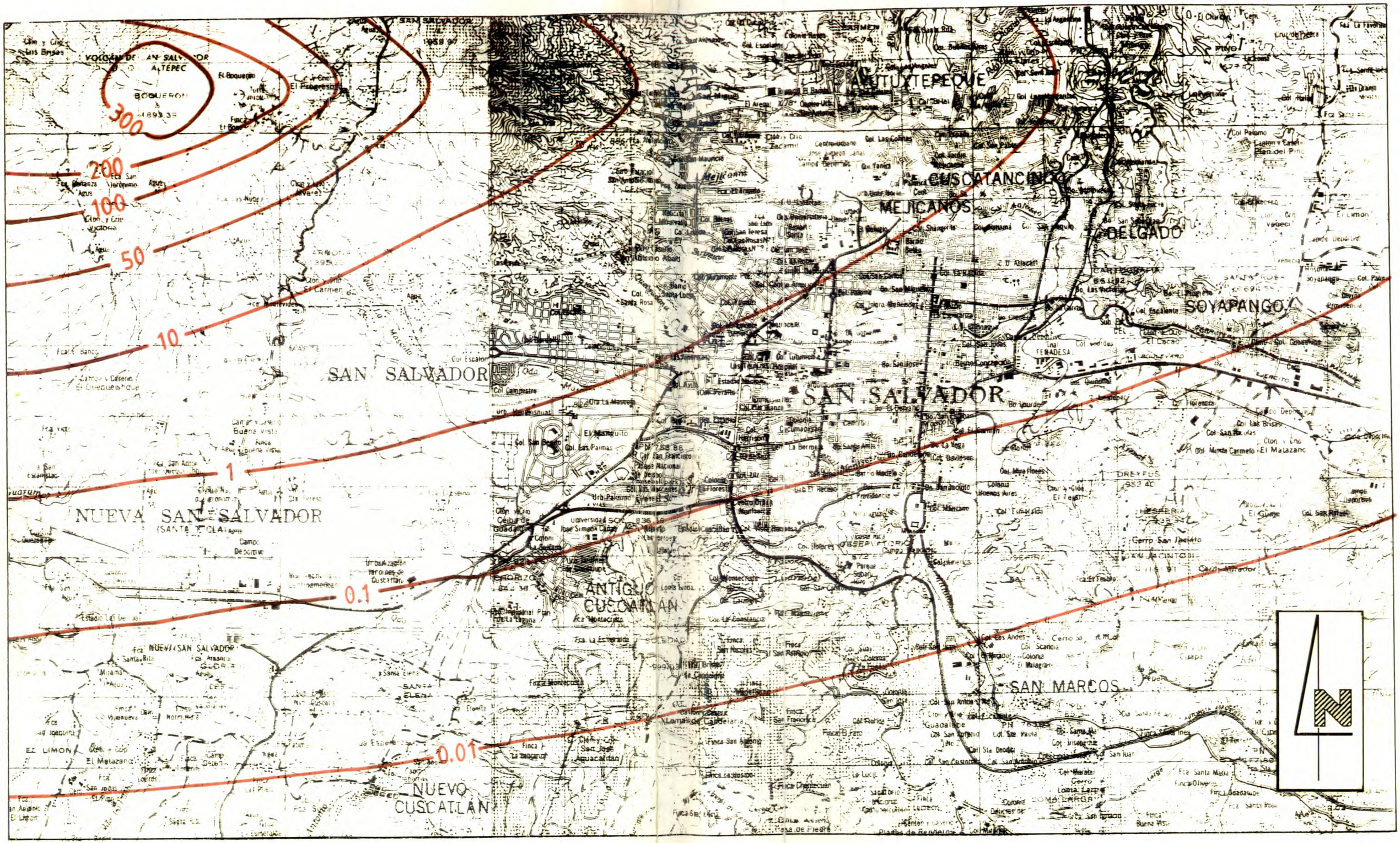
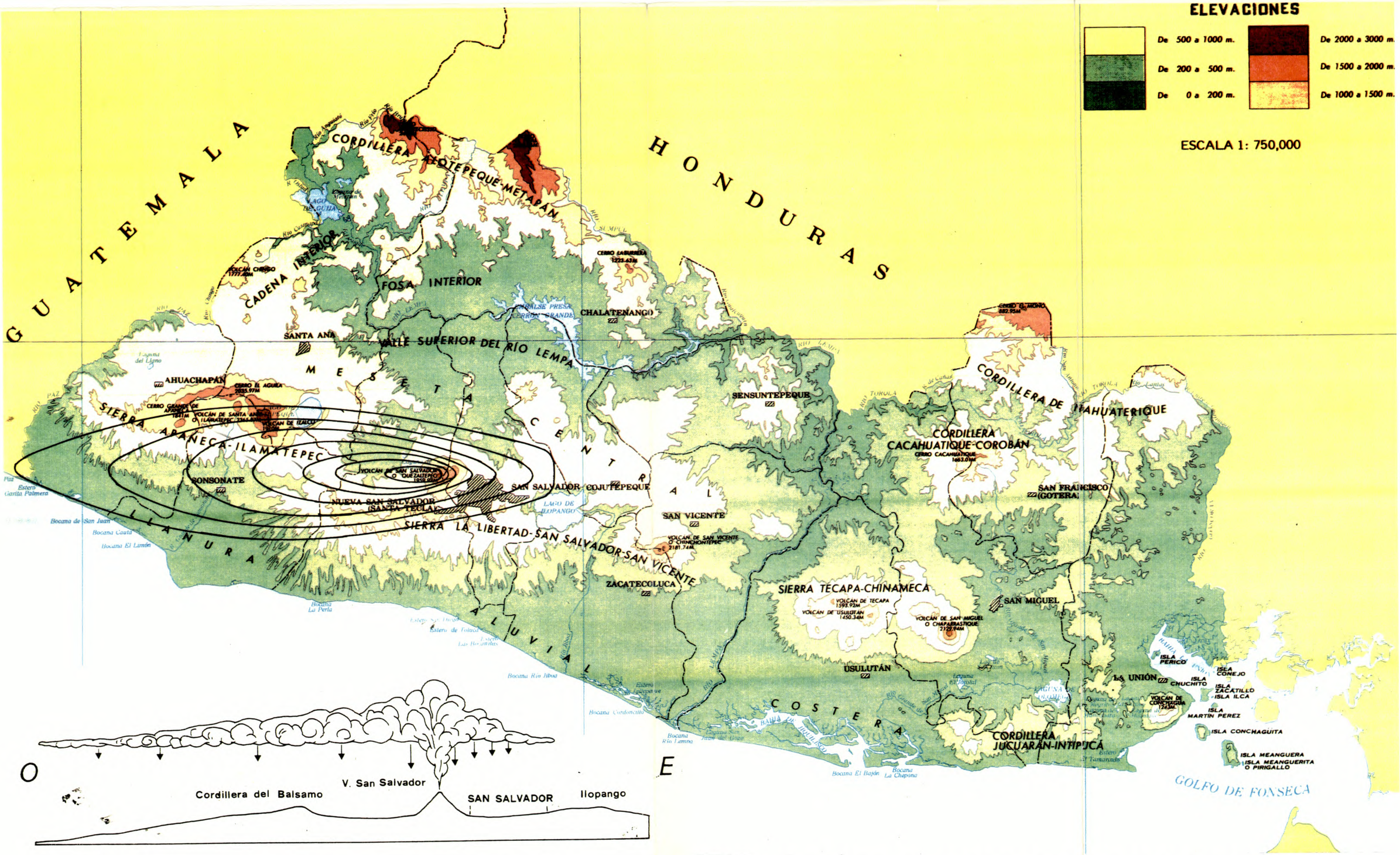
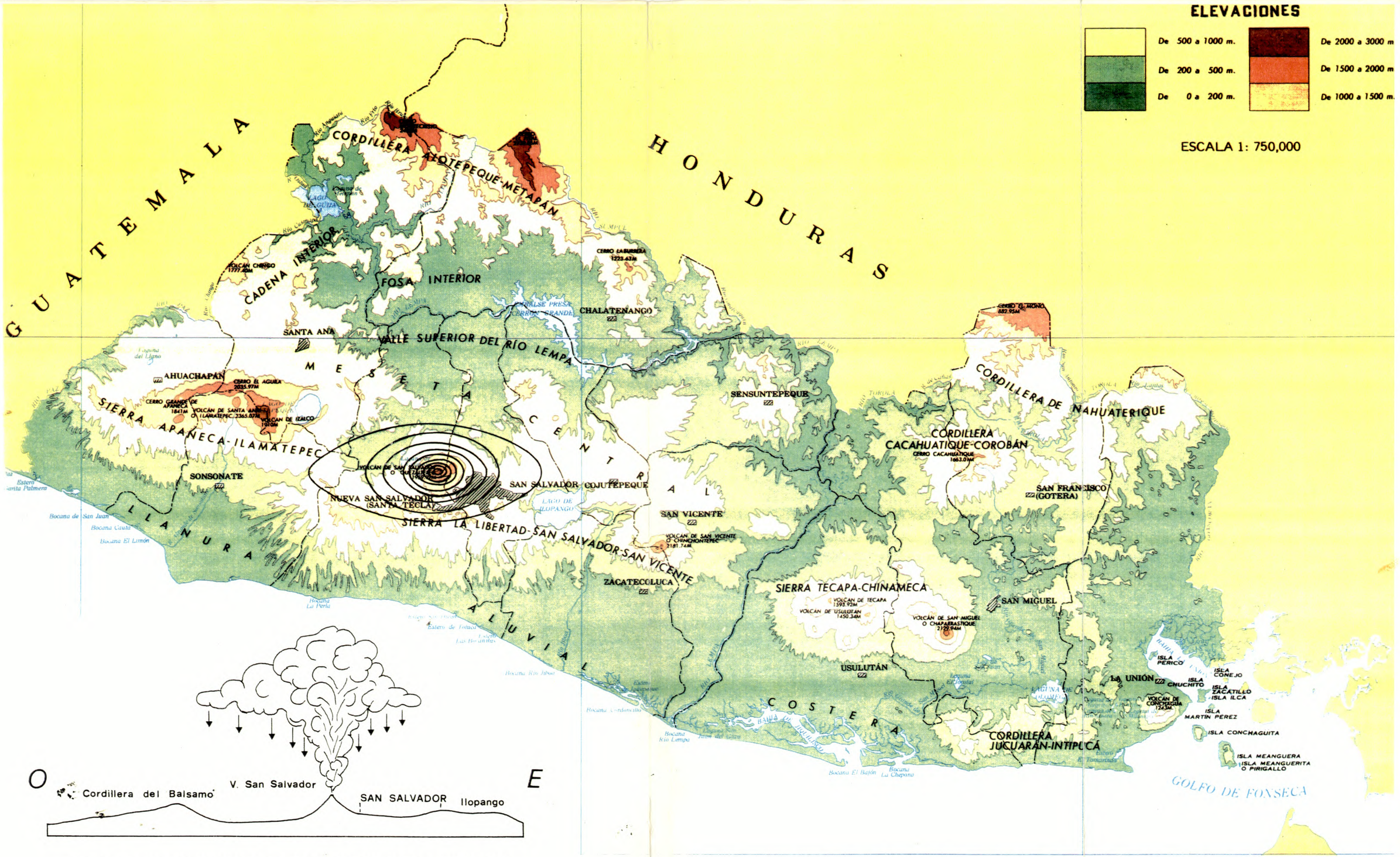


Fig. 7.3b Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclastico en el area metropolitana de San Salvador. Datos como en la Fig. 7.3a.



SECCION INTERPRETATIVA DE LA NUBE ERUPTIVA SIMULADA.

Fig. 7.3a Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos. Datos como en la fig. 7.2a pero con velocidad del viento de 5 m/seg. Distribucion sobre El Salvador.



SECCION INTERPRETATIVA DE LA NUBE ERUPTIVA SIMULADA

Fig. 7.2a Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos por una columna de 5 km de altura y masa total de 4 x 10^{10} kg con viento del este a 1.5 m/seg. Los valores de las curvas se expresan en kg/m2. Distribucion sobre El Salvador.

LEGENDA
LEYENDA

Q — Alluvioni recenti
Aluviones recientes

VULCANO SAN SALVADOR
VOLCANO SAN SALVADOR

L1 — Colata lavica andesitica del 1917 e cono di scorie Boqueroncito
Flujo de lava andesitica del 1917 y cono de escorias Boqueroncito

L2 — Colata lavica andesitica del Playon (1658)
Flujo de lava andesitica del Playon (1658)

L3 — Colate laviche preistoriche (andesiti)
Flujos de lava pre-historicos (andesitas)

T — Talpetate: depositi freatomagmatici preistorici ("surges" e ricaduta)
Talpetate: depositos freatomagmaticos pre-historicos ("surges" y caida)

C1 — Lave e scorie andesitiche di coni e crateri avventizi (Laguna Chanmico, Crater de la Laguna, ecc.)
Lavas y escorias andesiticas de conos y crateres adventicios (Laguna Chanmico, Crater de la Laguna, etc.)

T1 — Piroclastiti andesitiche recenti del Boqueron
Piroclastitas andesiticas recientes del Boqueron

C — Coni di scorie basiche antichi
Conos de escorias basicas antiguos

L — Colate laviche e piroclastiti basiche-intermedie associate del Boqueron
Flujos de lavas y piroclastitas basicas-intermedias asociadas del Boqueron

F — Antico edificio vulcanico pre-Boqueron di composizione basaltico-andesitica (Picacho, El Jabali')
Antiguo edificio volcanico pre-Boqueron de composicion basaltico-andesitica (Picacho, El Jabali')

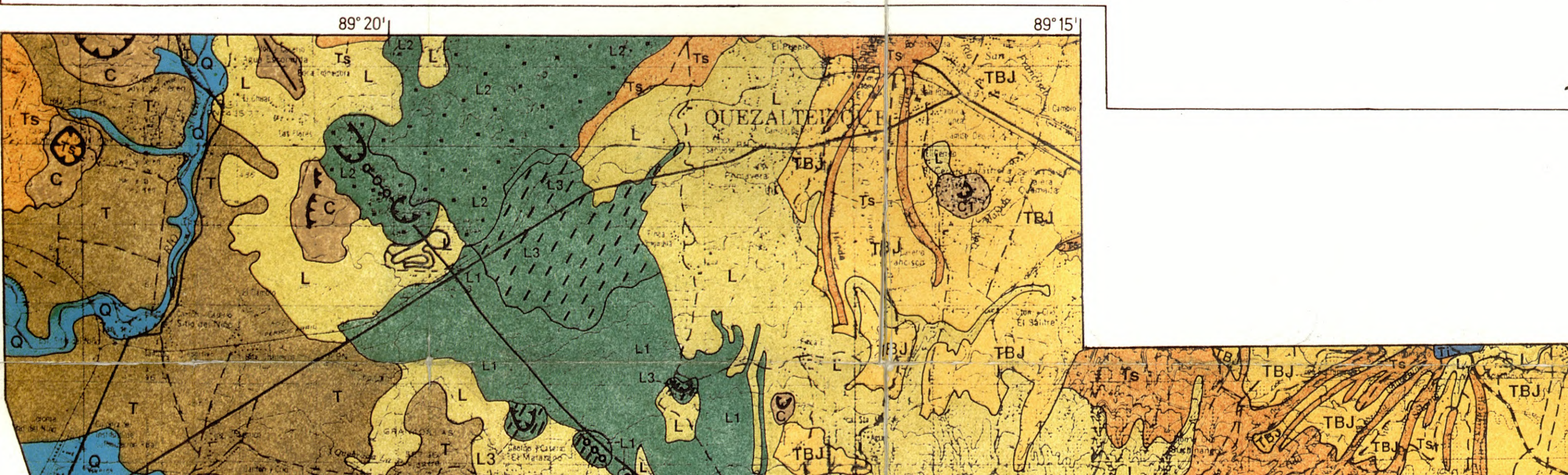
CALDERA DI ILOPANGO
CALDERA DE ILOPANGO

Q1 — Depositi rimaneggiati per erosione fluviale della TBJ
Depositos retrabajados por erosion fluvial de la TBJ

D — Duomi e colate acide
Domos y flujos de lavas acidas

TBJ — Tierra Blanca Joven

Ts — Piroclastiti acide (Tufi superiori)
Piroclastitas acidas (Tobas superiores)



J Duomi e colate laviche acide del San Jacinto
Domos y flujos de lavas acidas del San Jacinto

Ti Piroclastiti acide (Tufi inferiori)
Piroclastitas acidas (Tobas inferiores)

Ma-Mb Colate laviche e duomi (Cerros de Mariona, Soyapango, ecc.)
Ma - acide Mb - basiche
Flujos de lavas y domos de los Cerros de Mariona, Soyapango, etc.)
Ma - acidas Mb - basicas

Lv Colate laviche basiche antiche
Flujos de lavas basicas antiguas

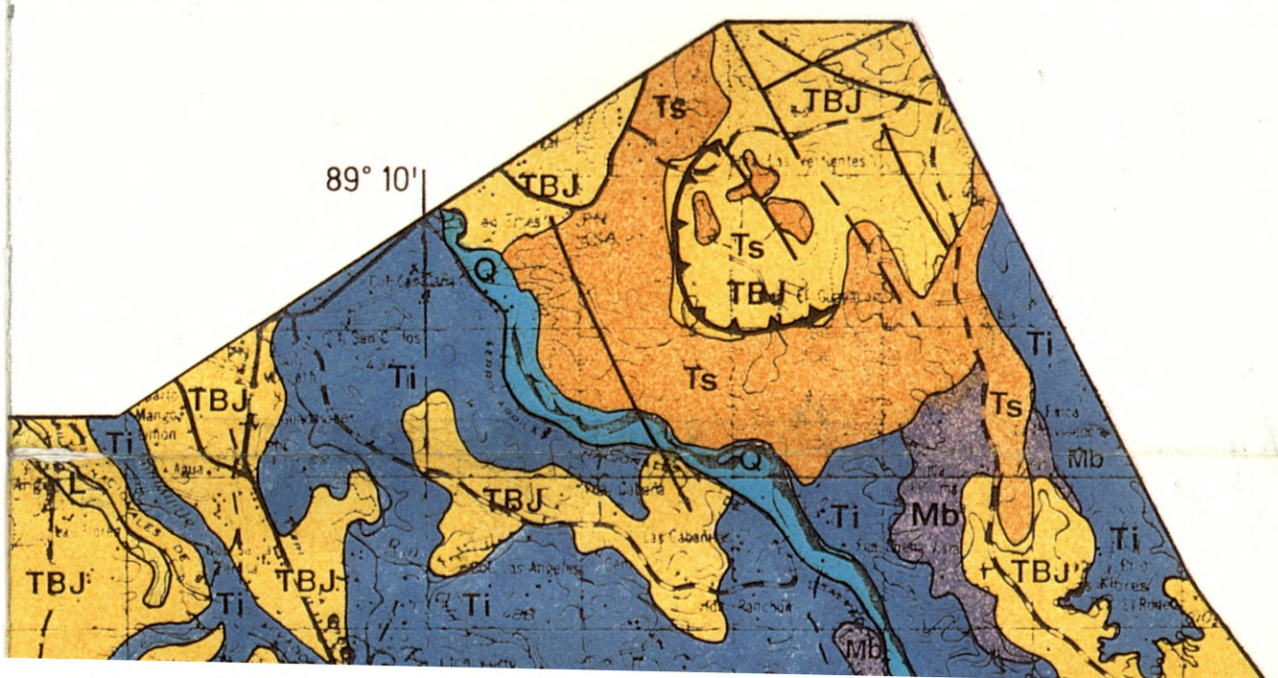
A Agglomerati
Aglomerados

IMBOLI
IMBOLOS

Faglie e/o fratture (presunte)
Fallas y/o fracturas (inferidas)

Crateri e/o caldere
Crateres y/o calderas

Fratture di alimentazione e conetti associati ("hornitos")
Fracturas de alimentacion y pequenos conos asociados ("hornitos")



REPUBBLICA ITALIANA
MINISTERO DEGLI AFFARI ESTERI

Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo

SAN SALVADOR

PROGRAMMA DI RICOSTRUZIONE
PROGRAMA DE RECONSTRUCCION

AREA METROPOLITANA DI SAN SALVADOR E SUOI DINTORNI
AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y SUS ALREDEDORES

CARTA VULCANOLOGICA
MAPA VULCANOLOGICO

DATA *FECHA* 04/06/1988 SCALA *ESCALA* 1:50.000

consorzio salvador e.
ITALTEKNA-ITALCONSULT

Geotermica Italiana srl

AREA DI STUDIO
AREA DE ESTUDIO

89°05'

Lago de
ILOPANGO

islas quemadas

Punta Peña del Eco

Punta La Península

Punta Shuguén

Punta Los Muriecos o Tenango

Punta Tempisque

Punta Chaltipa

Punta Los Marroquín

Punta Cuachimalco

Punta Cinco Tiros

Isla Chachagaste

Punta Tegualtepeque

Punta Apaxtasco

Punta El Achiotal

SOYAPANGO

ILOPANGO

SAN MARCOS

CUSCATANCINGO

TBJ

Ts

Ti

Mb

Ma

Q

Q1

D

J

Lv

peligrosidad de "surges" piroclasticos en el Distrito 7. H = altura de la columna eruptiva y del "cono de energia". α = pendiente del "cono de energia".(Figura fuera del texto).

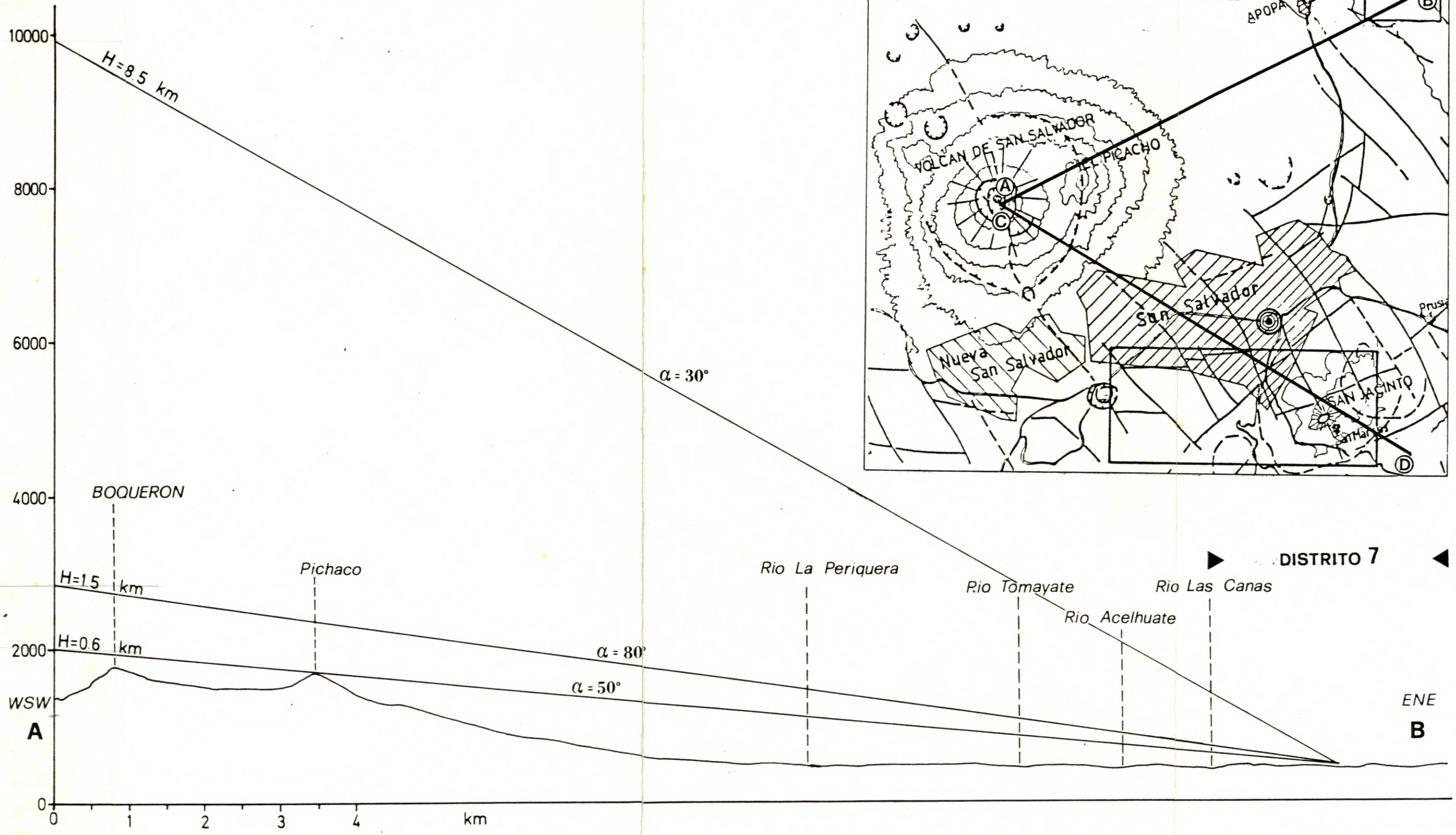
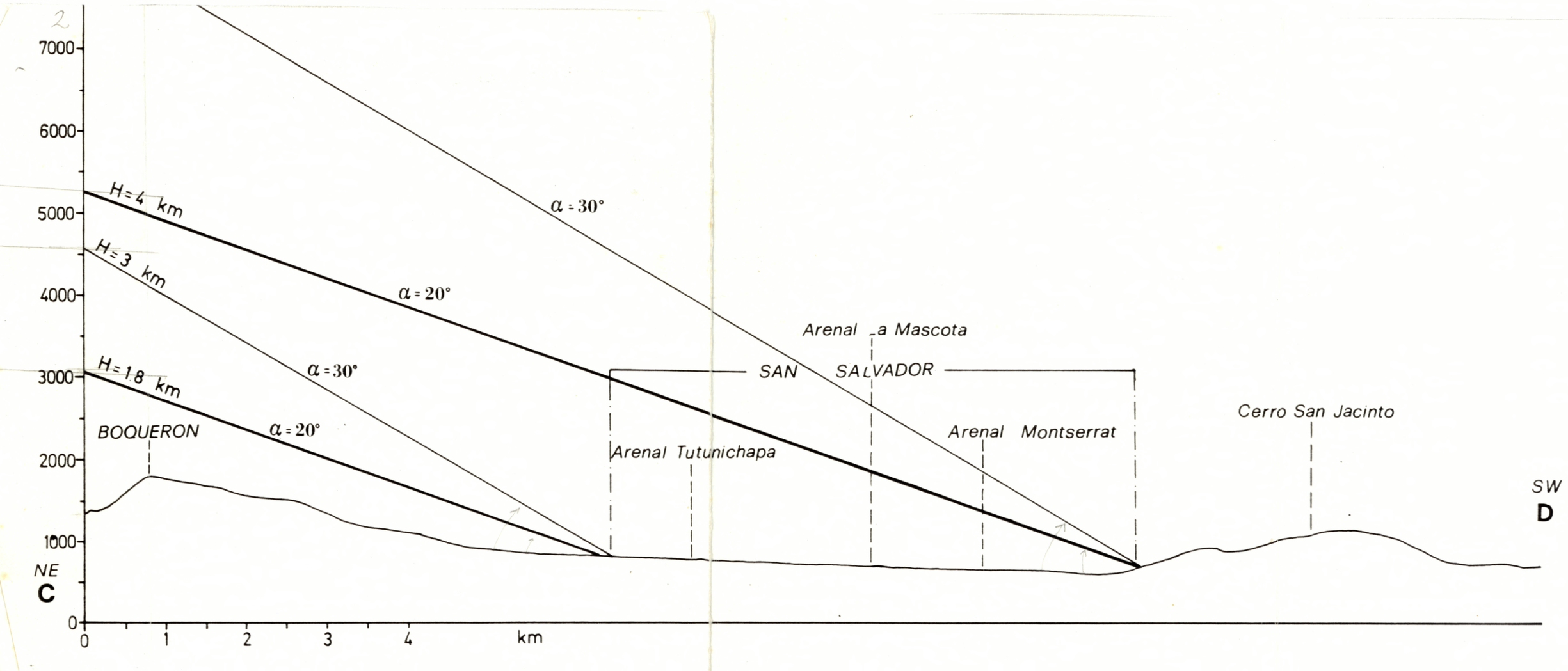


Fig. 7.5. Boqueron.Modelo del "cono de energia" para la peligrosidad de "surges" piroclasticos en la ciudad de San Salvador. H = altura de la columna eruptiva y del "cono de energia". α = pendiente del "cono de energia". (Figura fuera del texto).


2
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
H=4 km
H=3 km
H=1.8 km
α = 30°
α = 20°
α = 30°
α = 20°
BOQUERON
Arenal Tutunichapa
SAN SALVADOR
Arenal a Mascota
Arenal Montserrat
Cerro San Jacinto
NE
C
SW
D
0 1 2 3 4 km

89° 20'

8

1:

QUEZALTEPEQUE

STORICA
HISTORICA

El Playon

Los Chintos

Chanmico

PREISTORICA
PRE-HISTORICA

Jabali

BOQUERON

Boqueroncito

Boqueroncitos

La Joya

PRE TERRA BIANCA
PRE TIERRA BLANCA

Puerta de la Laguna

0 1

13°40'

LEGENDA LEYENDA

1. (rosso): pericolosità alta
   (rojo): peligrosidad alta

2. (arancione): pericolosità media
   (anaranjado): peligrosidad media

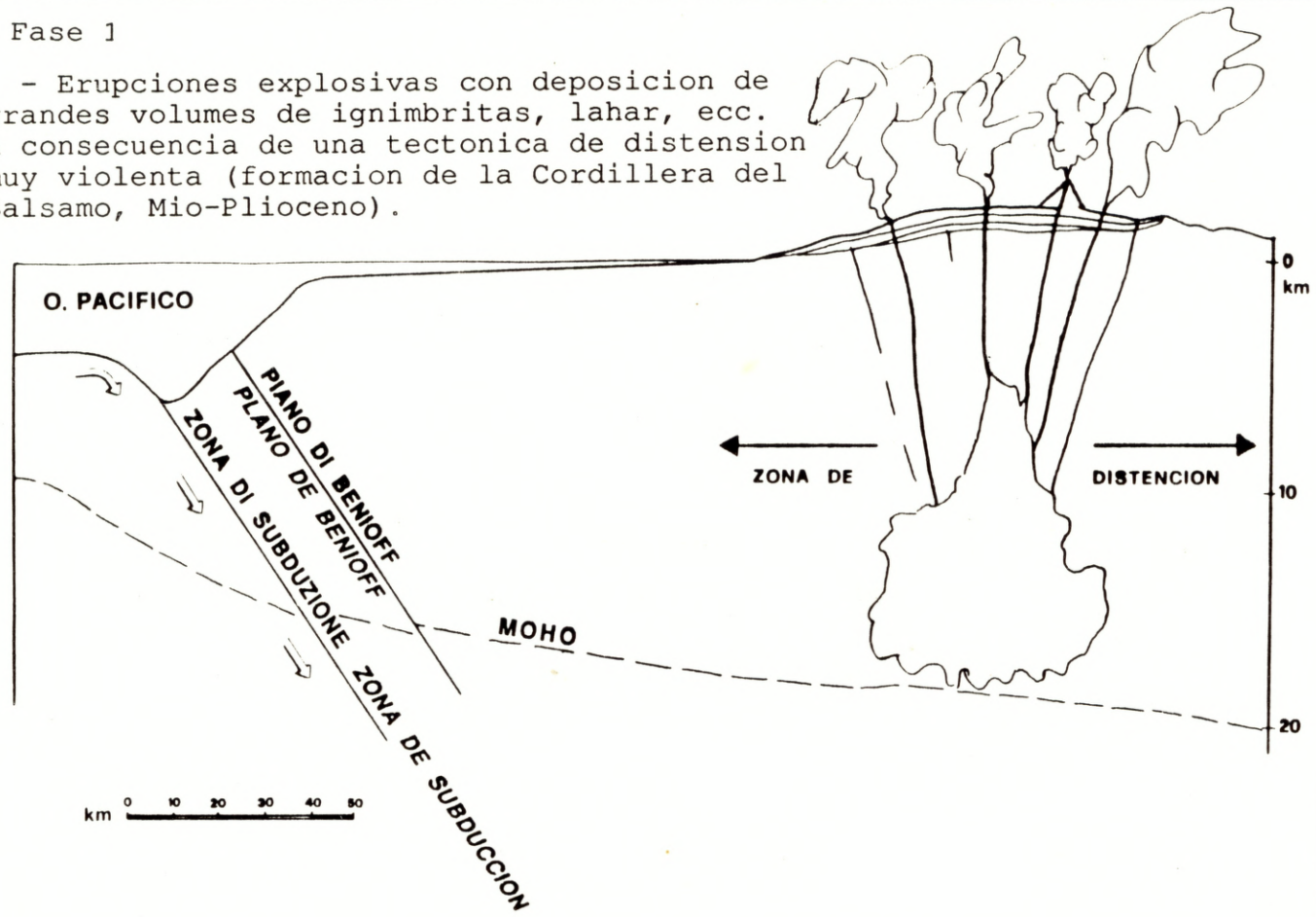
3. (giallo): pericolosità bassa
   (amarillo): peligrosidad baja

La frattura (4) é stata individuata da immagini LANDSAT e non avendo dato colate recenti non viene ritenuta pericolosa.
La fractura (4) ha sido individuada por imagines LANDSAT y como no ha dado flujos recientes no es considerada peligrosa.

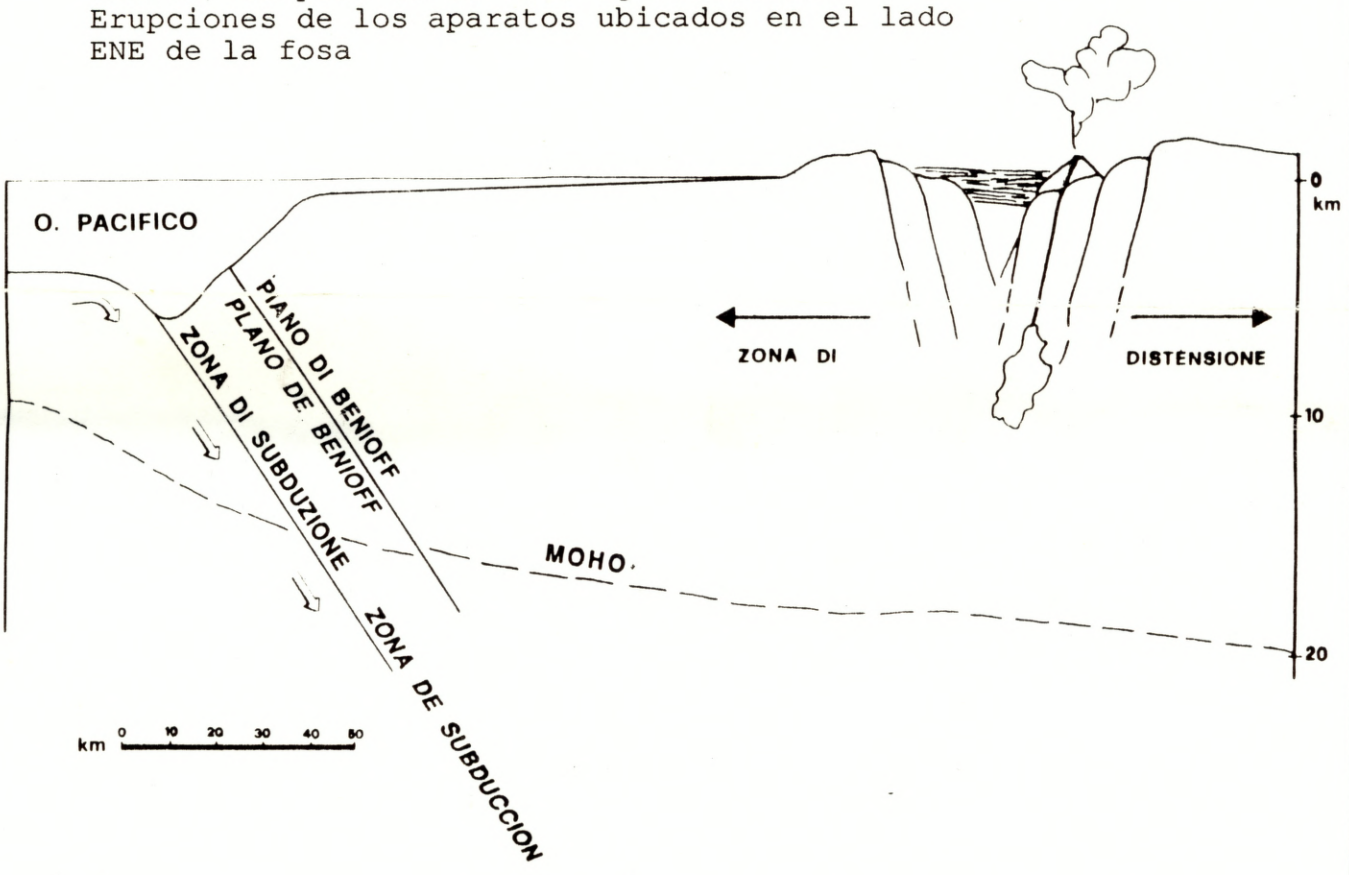
Fig. 7.1 Complejo volcanico San Salvador. Mapa de peligrosidad relativo a la abiertura de fracturas (lineas negras espesas). Los numeros crecientes indican la prioridad relativa de peligrosidad.

Fase 1

- Erupciones explosivas con deposicion de grandes volumes de ignimbritas, lahar, ecc. a consecuencia de una tectonica de distension muy violenta (formacion de la Cordillera del Balsamo, Mio-Plioceno).



Fase 2 - Formacion de la fosa mediana (Plioceno - Pleistoceno) por colapso vulcano - tectonico) despues de la fase ignimbritica. Erupciones de los aparatos ubicados en el lado ENE de la fosa



Fase 3 - Situacion actual

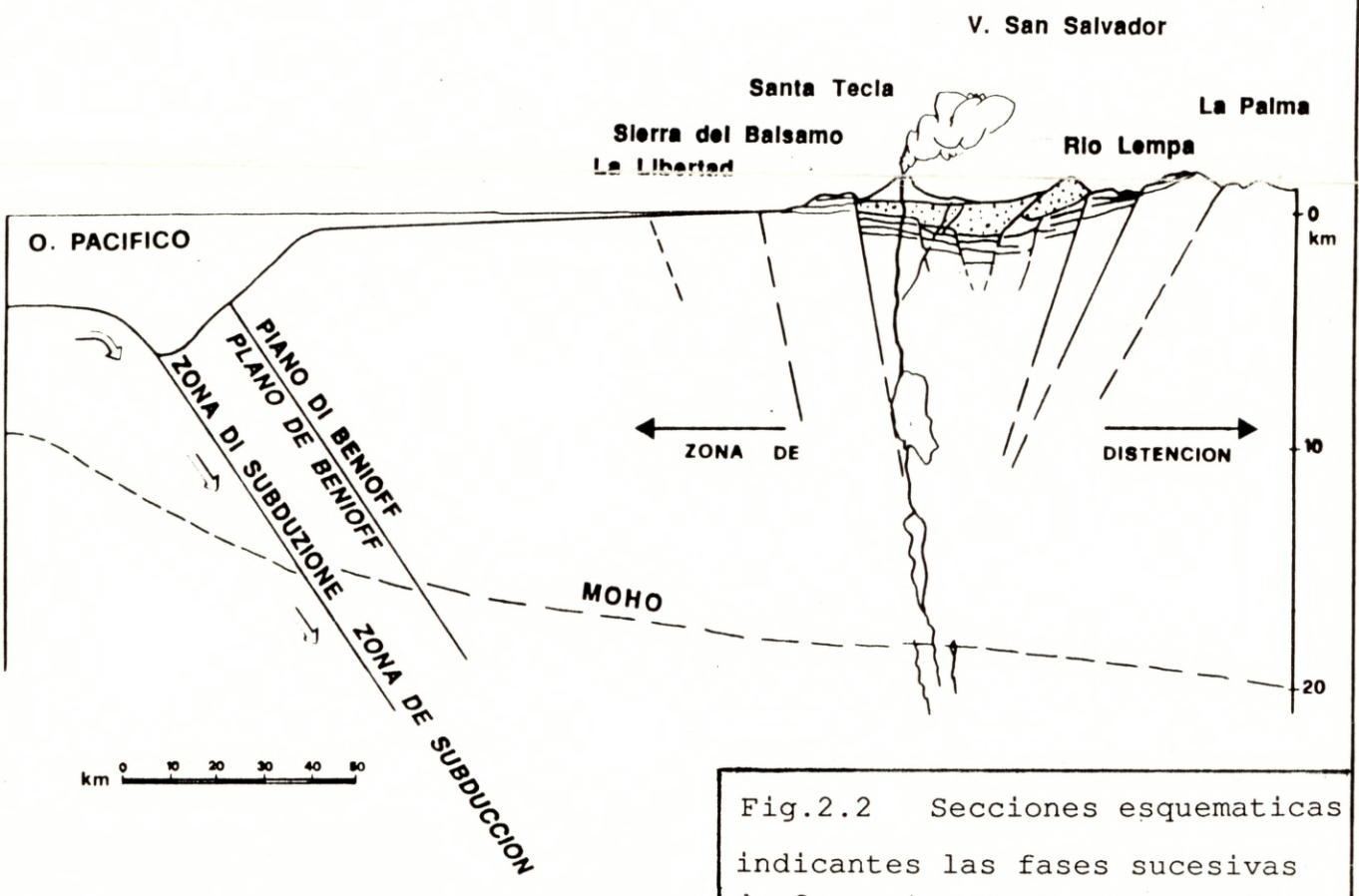


Fig.2.2 Secciones esquematicas indicantes las fases sucesivas de formacion de la fosa mediana.

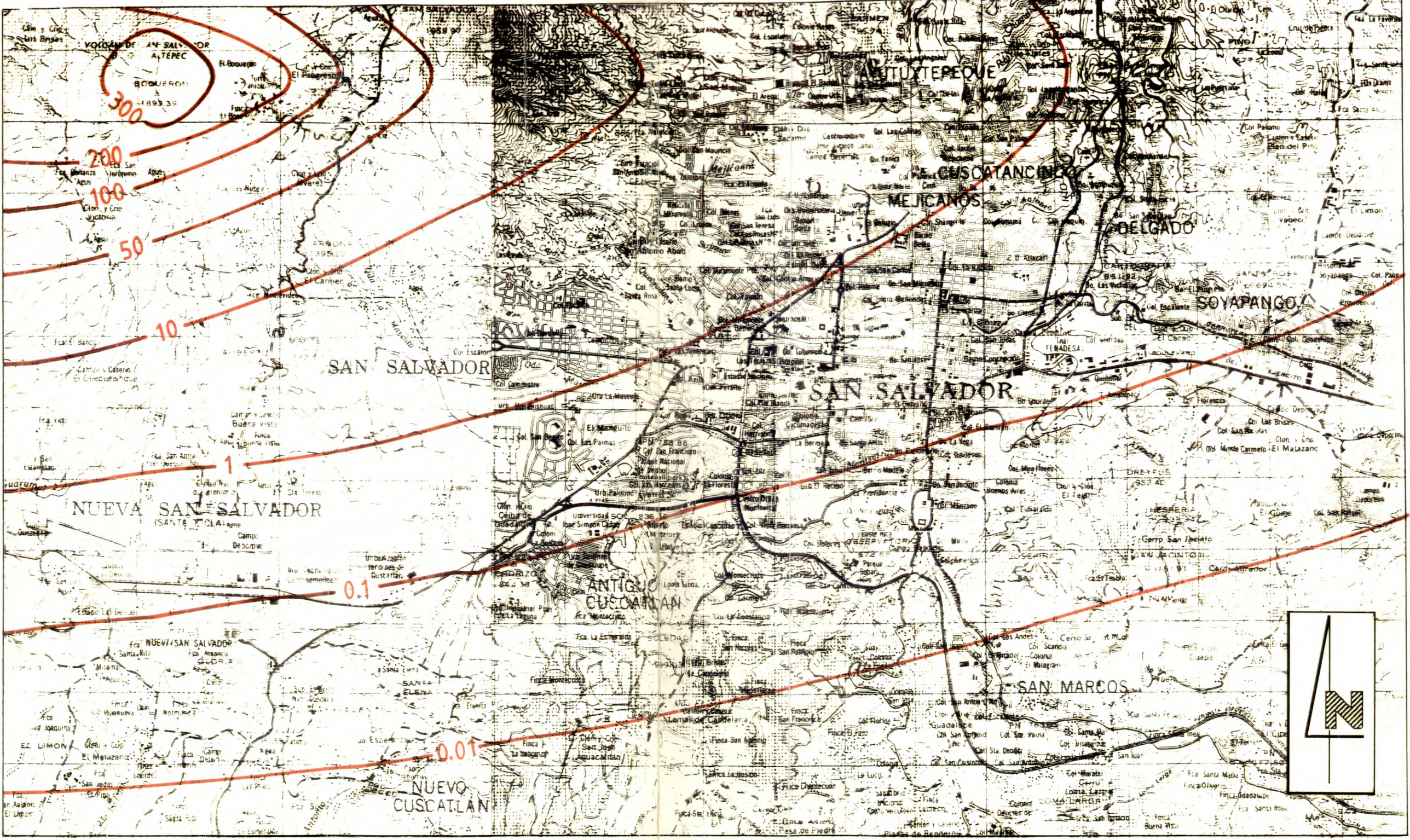


Fig. 7.3b Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclastico en el area metropolitana de San Salvador. Datos como en la Fig. 7.3a.

SECCION INTERPRETATIVA DE LA NUBE ERUPTIVA SIMULADA.

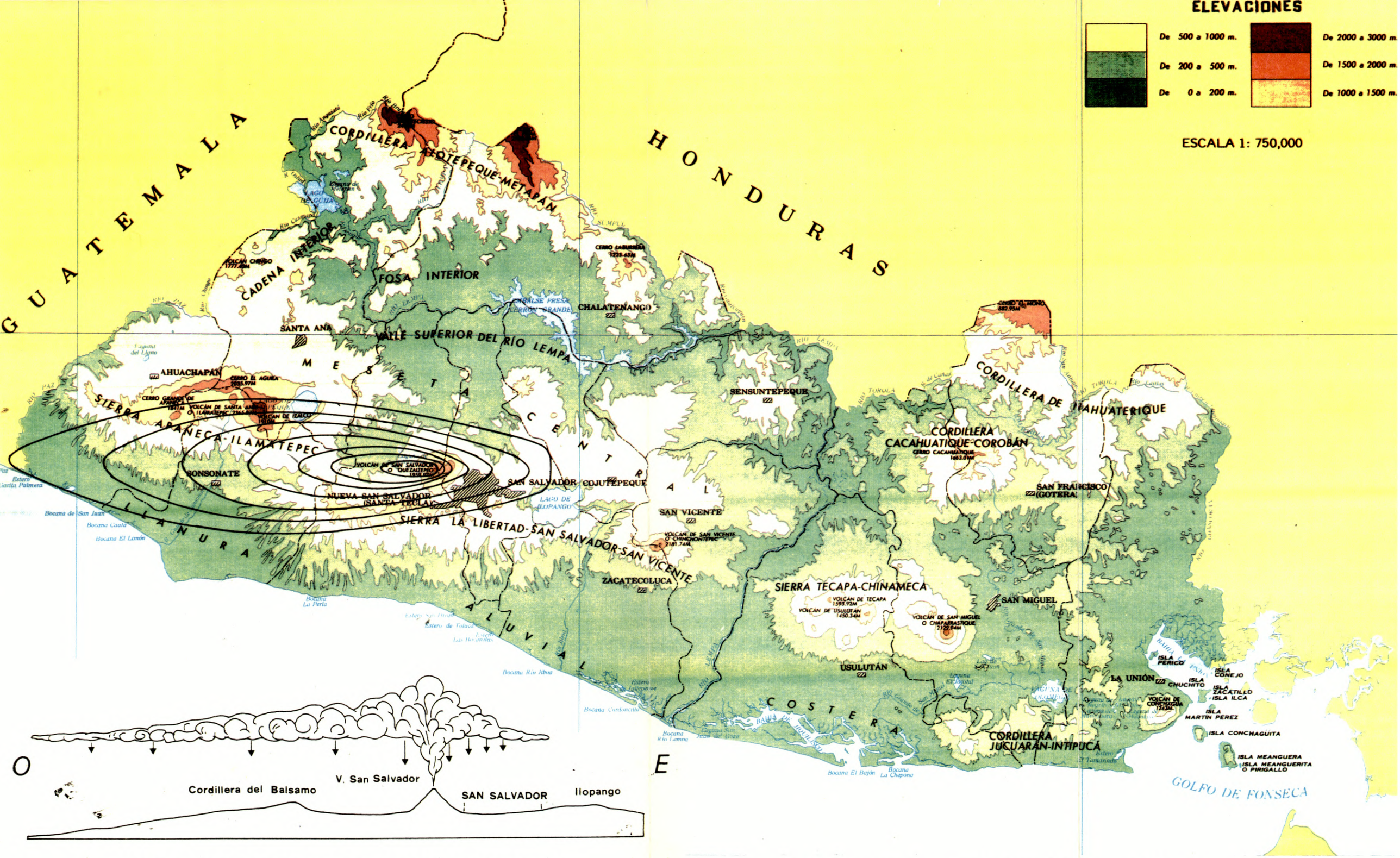


Fig. 7.3a Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos. Datos como en la fig. 7.2a pero con velocidad del viento de 5 m/seg. Distribucion sobre El Salvador.

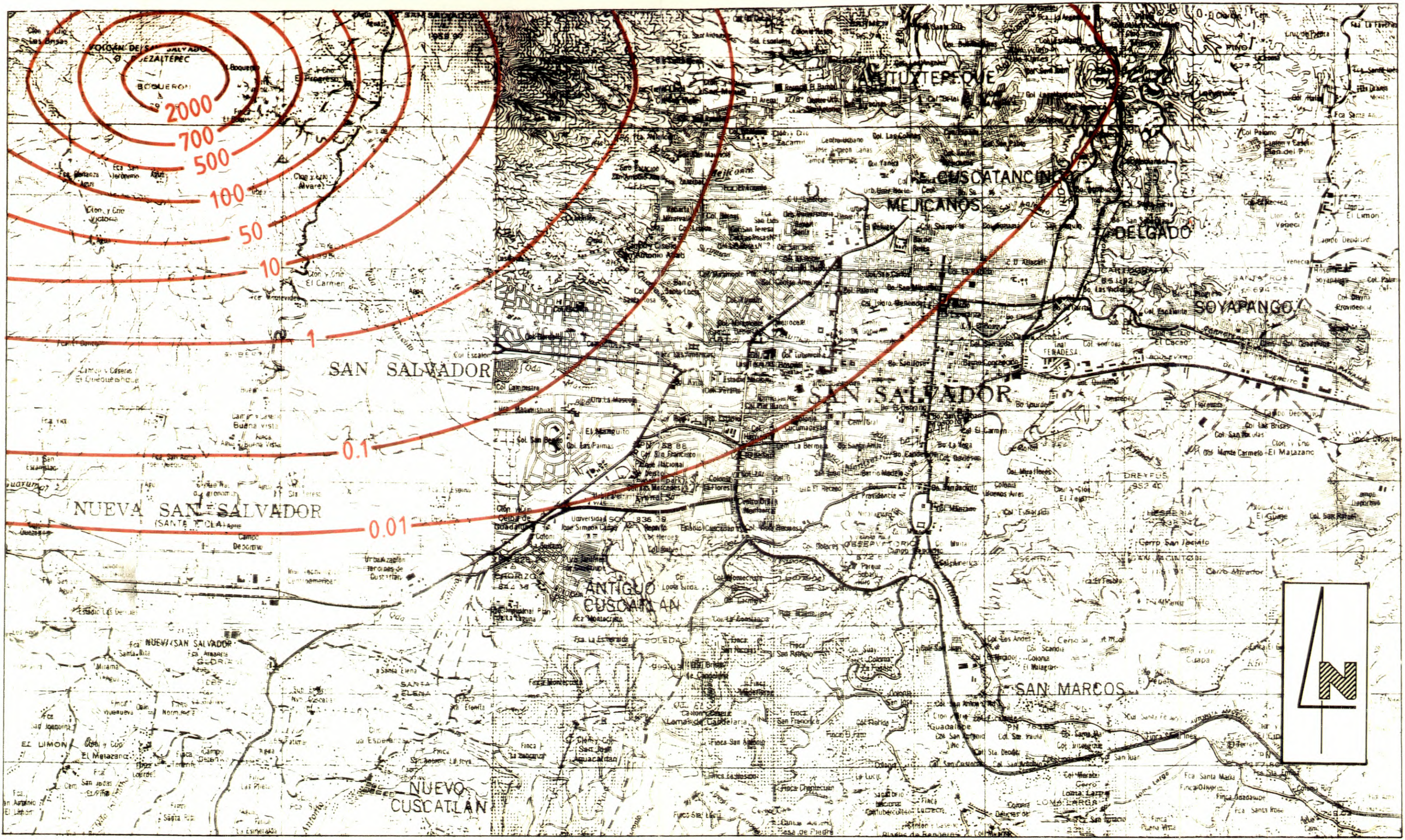


Fig. 7.2b Boqueron. Simulacion de la caida de productos piroclasticos sobre el area metropolitana de San Salvador. Datos como en la Fig. 7.2a.

Q Alluvioni recenti
Aluviones recientes

VULCANO SAN SALVADOR
VOLCANO SAN SALVADOR

L1 Colata lavica andesitica del 1917 e cono di scorie Boqueroncito
Flujo de lava andesitica del 1917 y cono de escorias Boqueroncito

L2 Colata lavica andesitica del Playon (1658)
Flujo de lava andesitica del Playon (1658)

L3 Colate laviche preistoriche (andesiti)
Flujos de lava pre-historicos (andesitas)

T Talpetate: depositi freatomagmatici preistorici ("surges" e ricaduta)
Talpetate: depositos freatomagmaticos pre-historicos ("surges" y caida)

C1 Lave e scorie andesitiche di coni e crateri avventizi (Laguna Chanmico, Crater de la Laguna, ecc.)
Lavas y escorias andesiticas de conos y crateres adventicios (Laguna Chanmico, Crater de la Laguna, etc.)

T1 Piroclastiti andesitiche recenti del Boqueron
Piroclastitas andesiticas recientes del Boqueron

C Coni di scorie basiche antichi
Conos de escorias basicas antiguos

L Colate laviche e piroclastiti basiche-intermedie associate del Boqueron
Flujos de lavas y piroclastitas basicas-intermedias asociadas del Boqueron

P Antico edificio vulcanico pre-Boqueron di composizione basaltico-andesitica (Picacho, El Jabali')
Antiguo edificio volcanico pre-Boqueron de composicion basaltico-andesitica (Picacho, El Jabali')

CALDERA DI ILOPANGO
CALDERA DE ILOPANGO

C1 Depositi rimaneggiati per erosione fluviale della TBJ
Depositos retrabajados por erosion fluvial de la TBJ

D Duomi e colate acide
Domos y flujos de lavas acidas

TBJ Tierra Blanca Joven

Ts Piroclastiti acide (Tufi superiori)
Piroclastitas acidas (Tobas superiores)

89° 20'

89° 15'