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

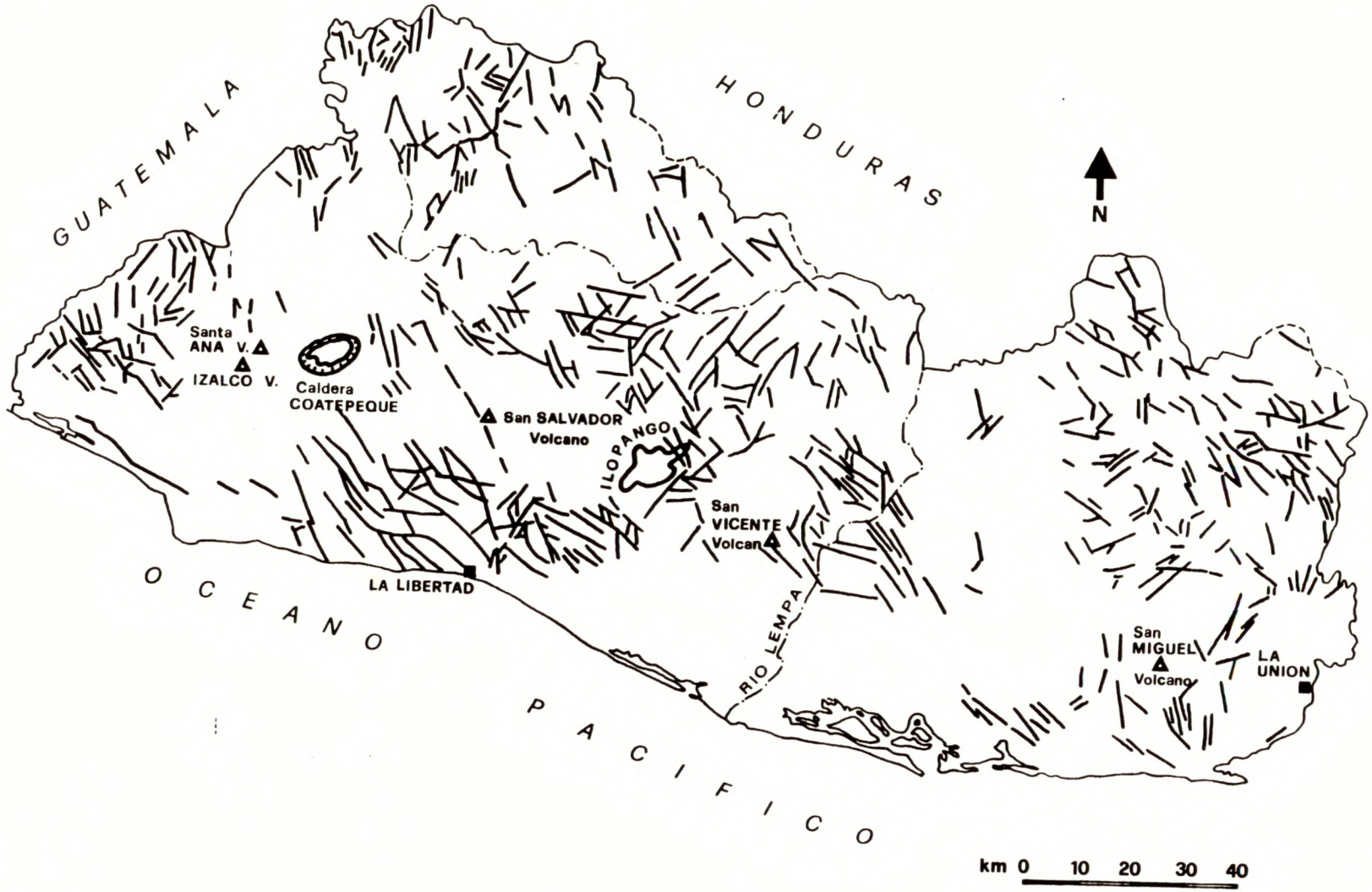


Fig. 2.1. Esquema volcano - tectonico de El Salvador.

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)

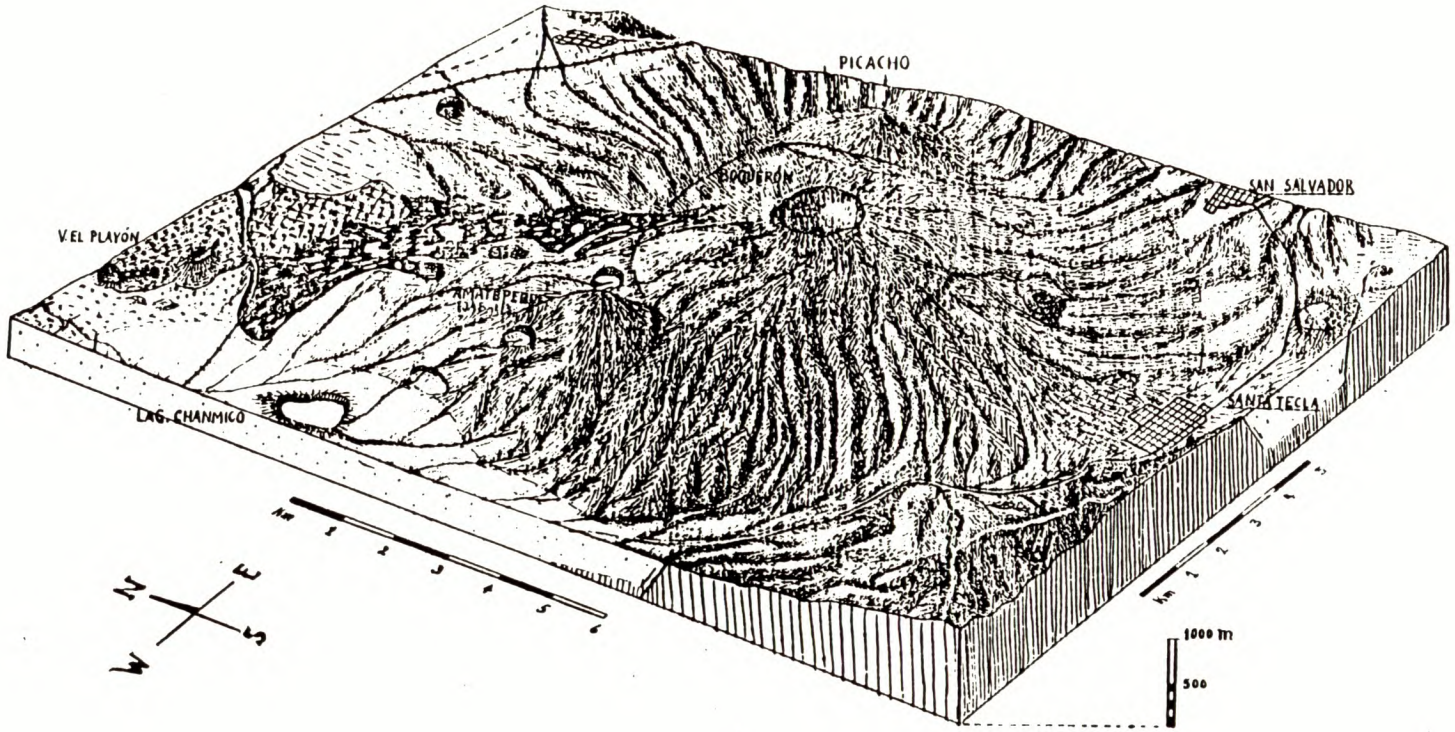


Fig. 3.1. Complejo volcanico **San Salvador**. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

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).

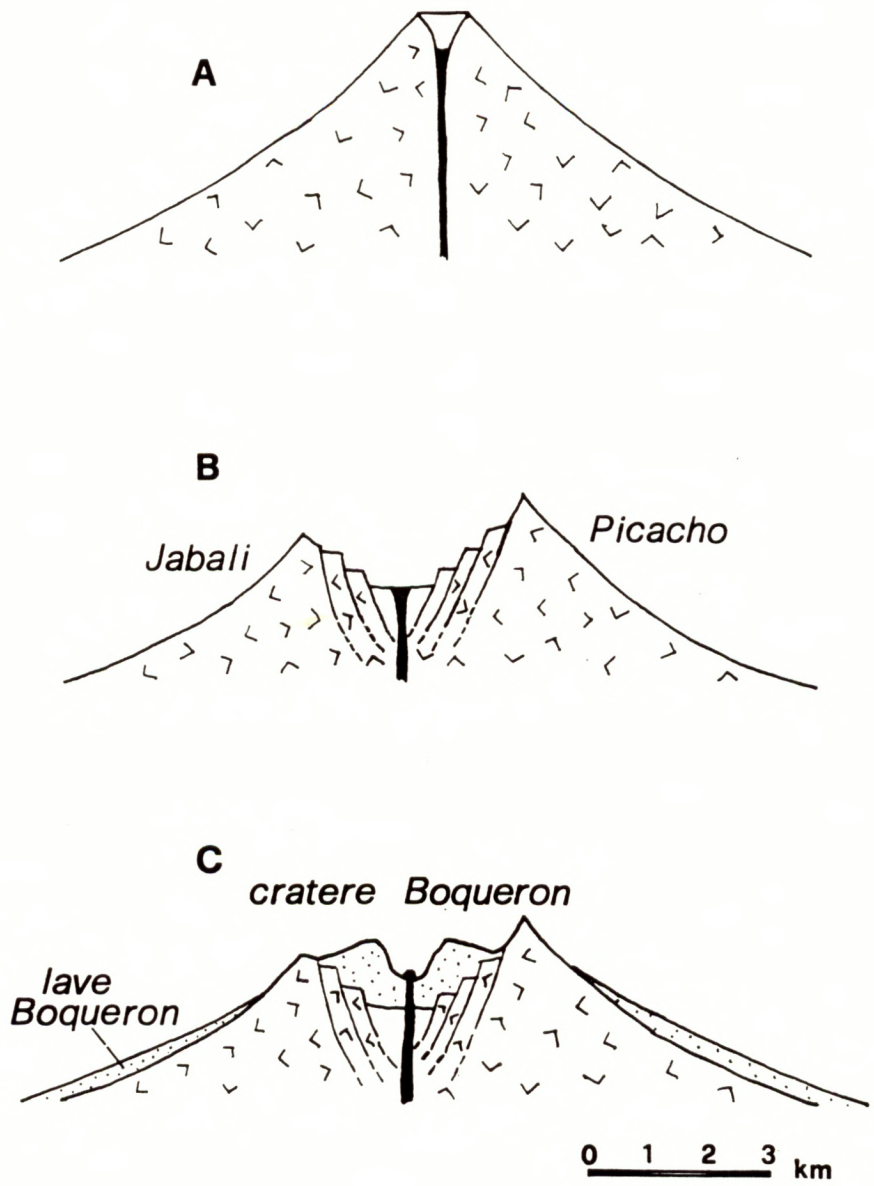


Fig. 3.2. Evolucion estructural del complejo volcanico San Salvador. Seccion esquematica interpretativa E-W. A - Antiguo edificio del San Salvador. B - Formacion de la caldera. C - Formacion del Boqueron.

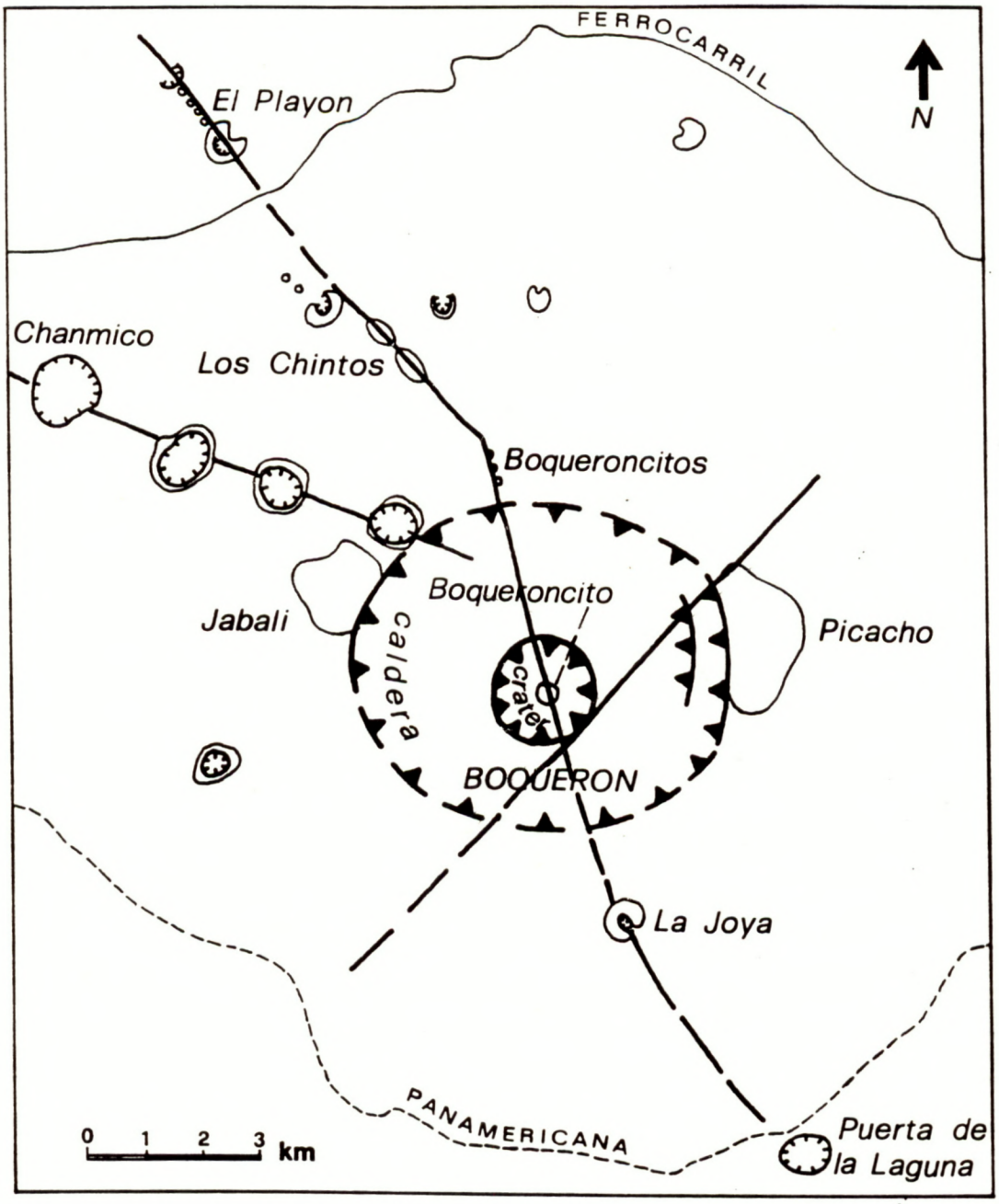


Fig. 3.3. Sistemas de fracturacion principales que interesan el complejo volcanico San Salvador y relativos centros eruptivos.

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);

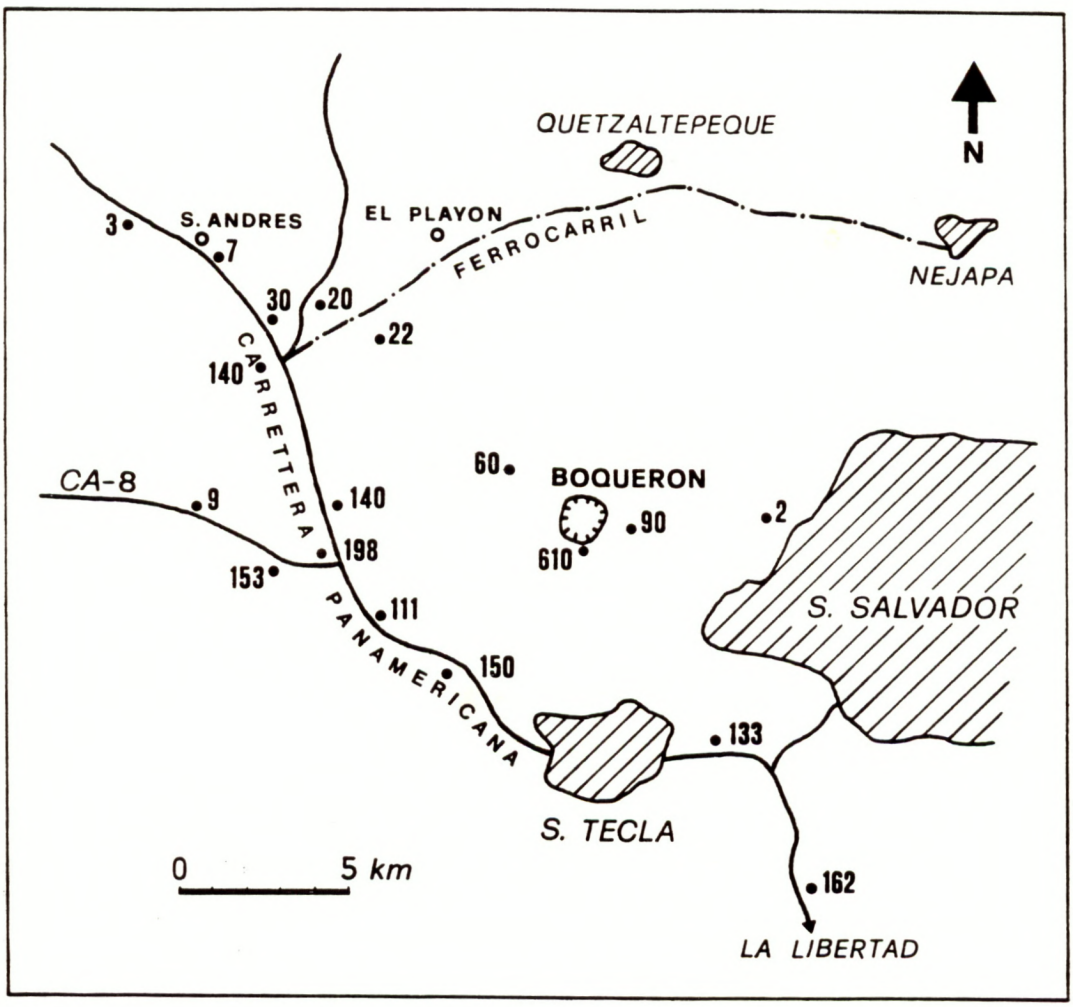


Fig. 3.4. Ubicacion y espesores en centimetros de los afloramientos de Talpetate. Es de notar como el area de distribucion interesa solo marginalmente al area metropolitana de San Salvador (Modificada de Hart, 1983).

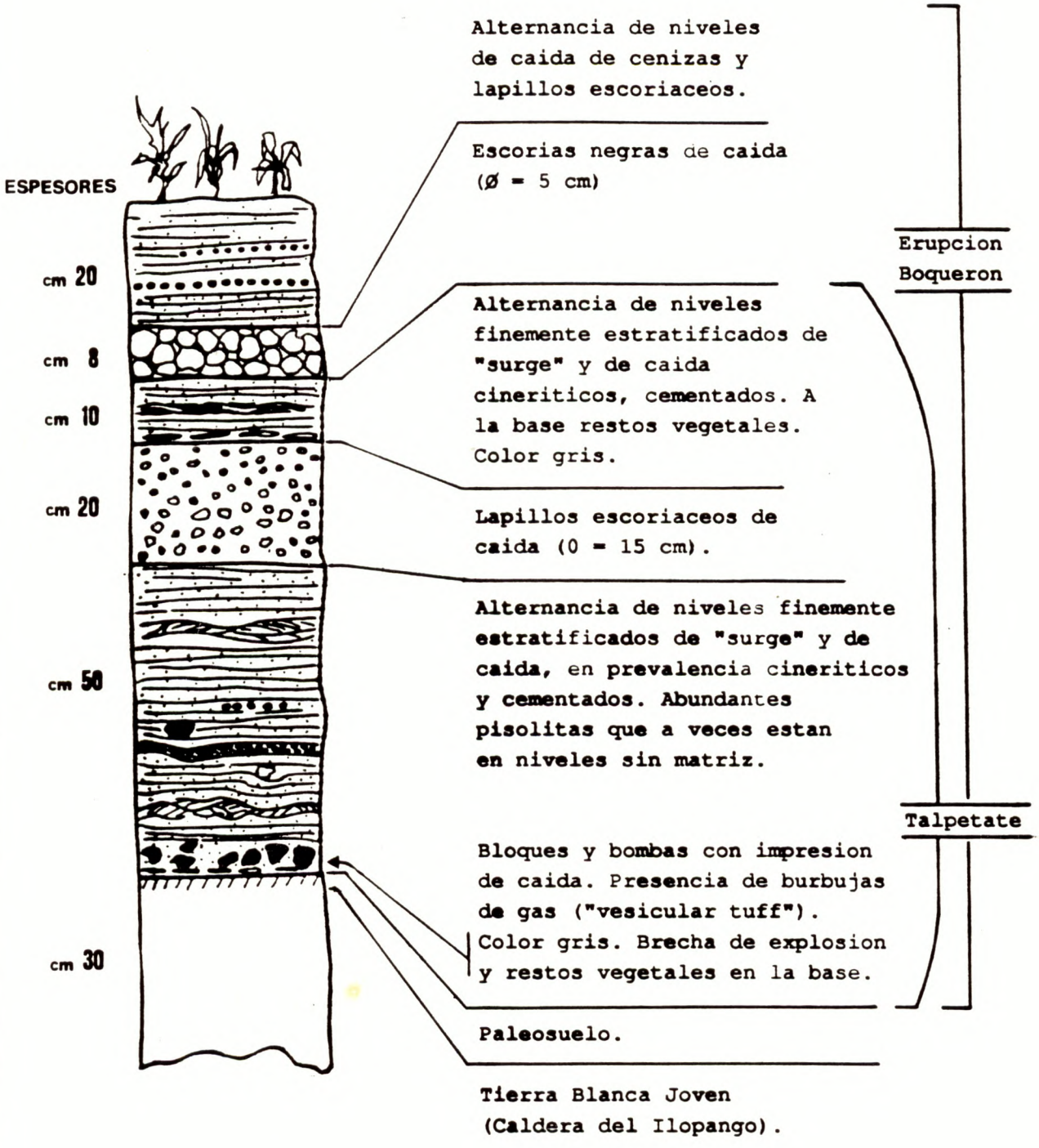


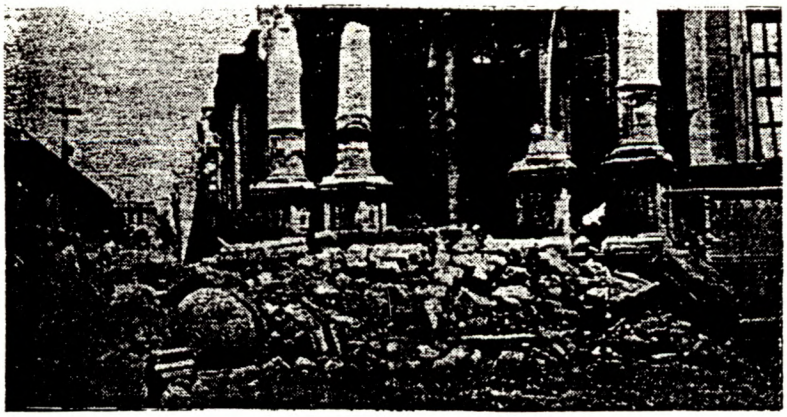
Fig. 3.5 Columna estratigrafica medida a una altura de 1505 m sobre la desviacion que conduce al "mirador" en el crater del Boqueron.

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

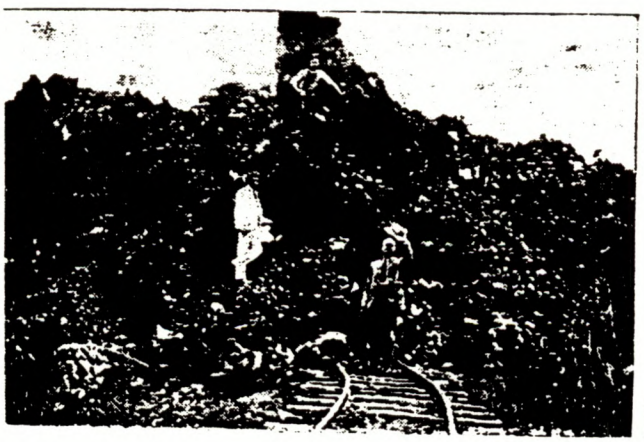
morfologia de crater-pozo que en general es producida por este tipo de actividad.
La edad de la Puerta de La Laguna es antecedente a la Tierra Blanca Joven, que la recubre.

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.

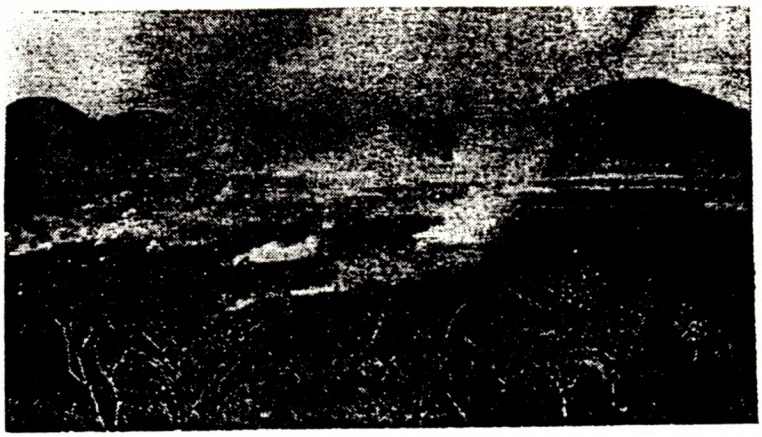
El 29 de junio el agua fue completamente evaporada poniendo asi en evidencia un conito de escoria circular (Boqueroncito).La desaparicion inicial del lago, ha impedido el desarrollo de fenomenos peligrosos de interaccion magma-agua. Mientras las bocas de alimentacion lateral cesaban de hacer erupcion 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).

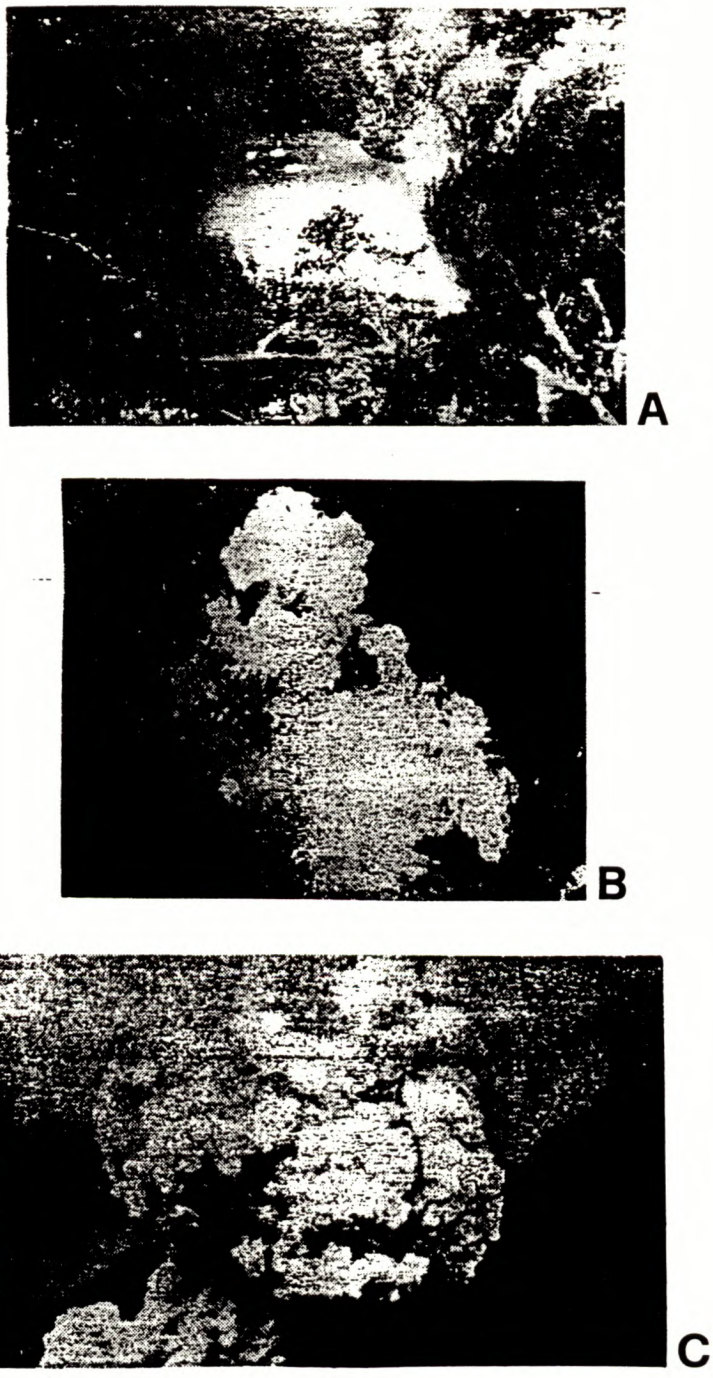
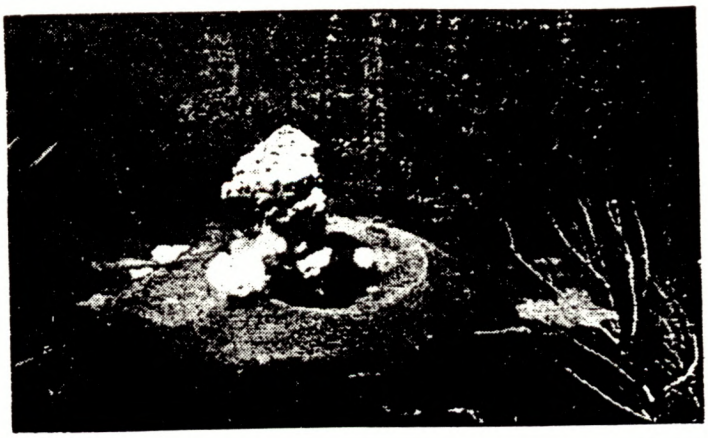
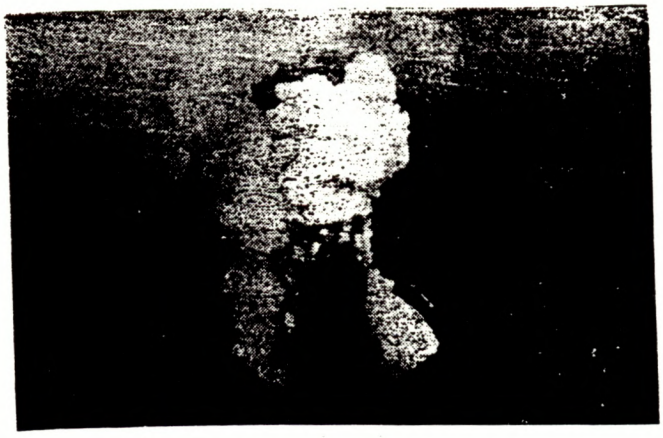


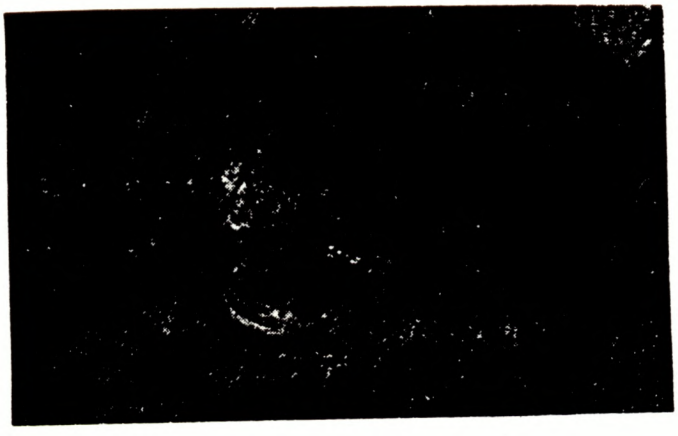
Fig. 3.8. A: Lago existente en el crater del Boqueron ante de la erupcion de 1917. B: Lago en el crater en ebullicion durante la primera fase de la erupcion de 1917. C: Fases finales (fin de Junio de 1917) de la evaporacion del lago con aparicion de un conito (Boqueroncito).



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

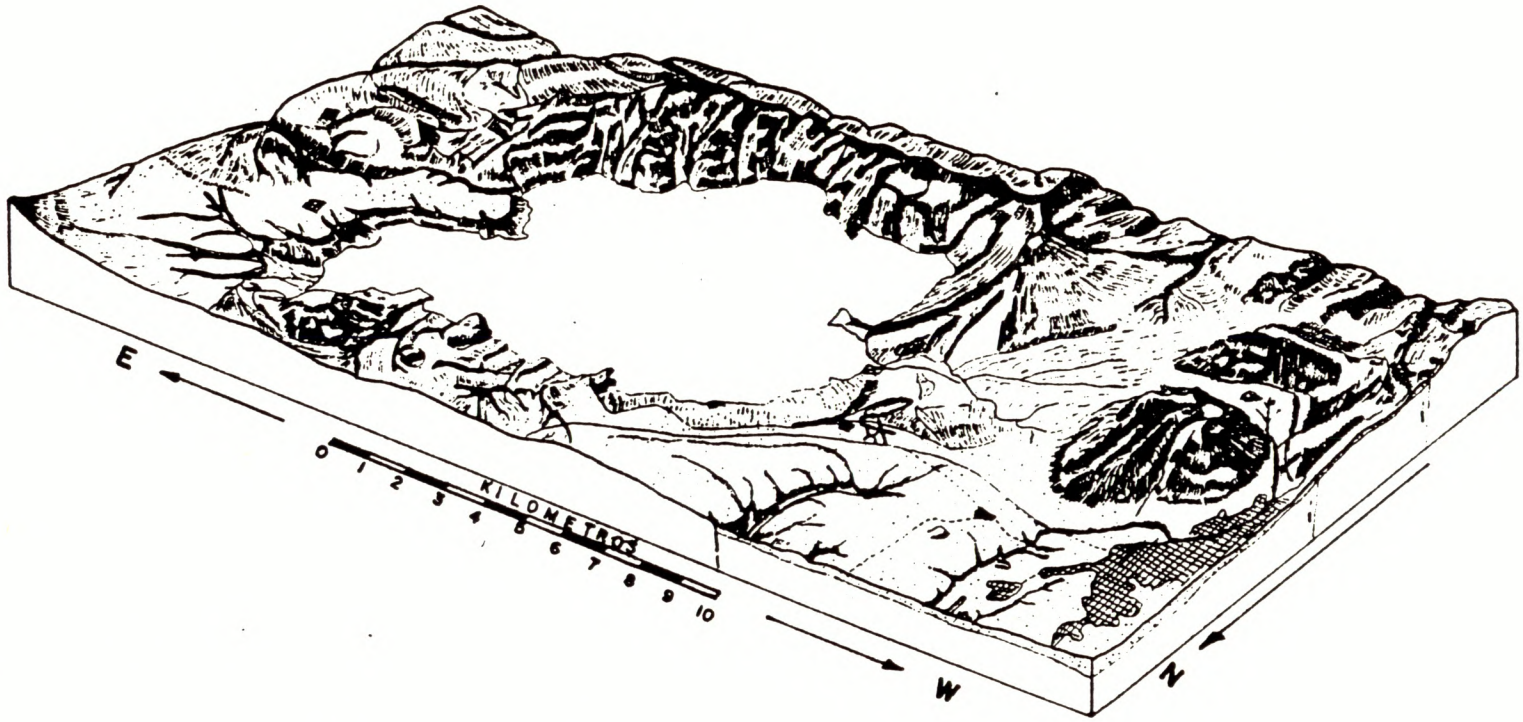


Fig. 5.1. Caldera Ilopango. Bloque diagrama (Meyer-Abich, 1955).

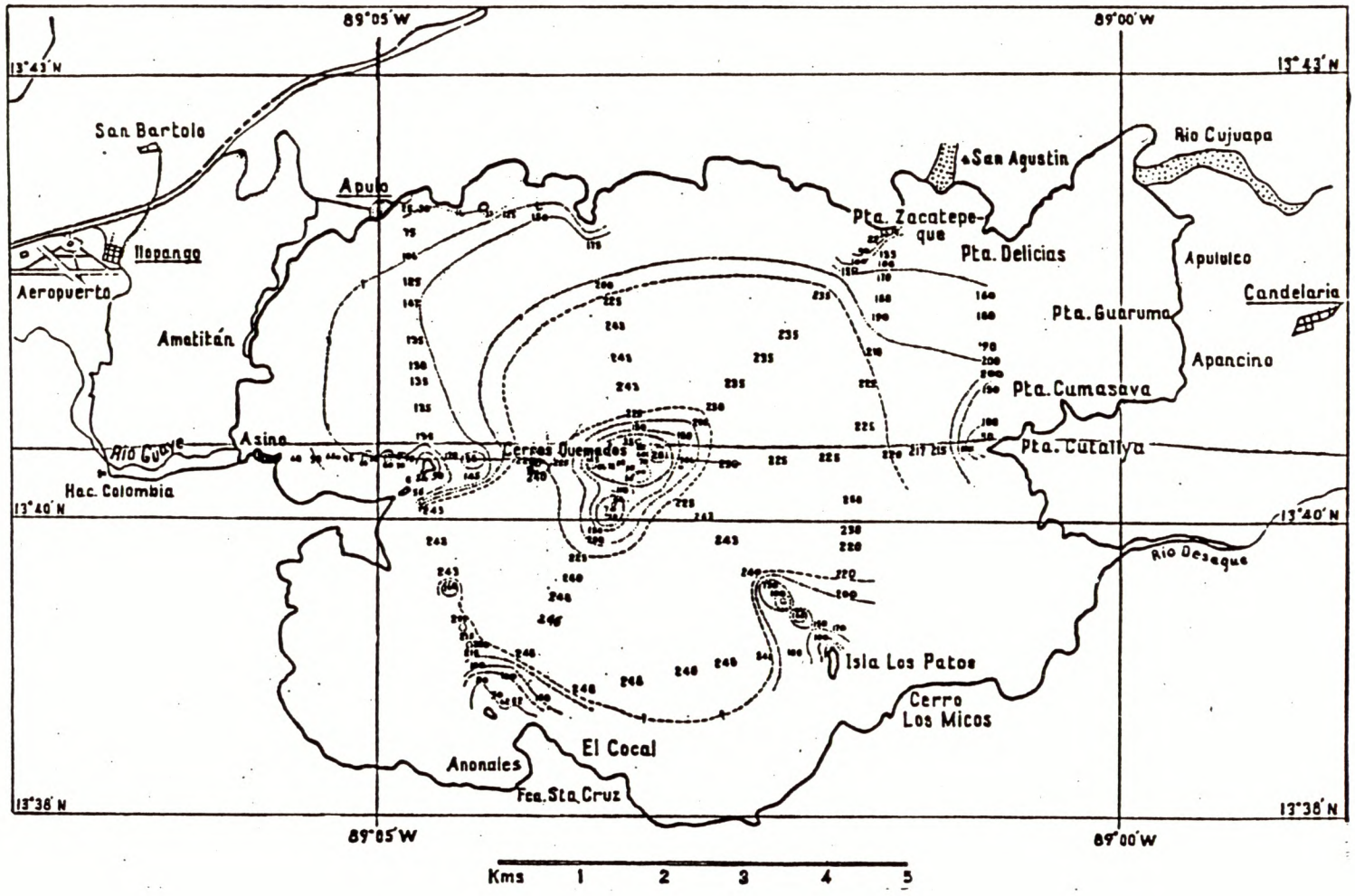


Fig. 5.2. Lago de Ilopango. Carta de profundidades (profundidades relacionadas a nivel de agua = 438m sobre nivel del mar) M. Meyer-Abich, Lotungen (1952).

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

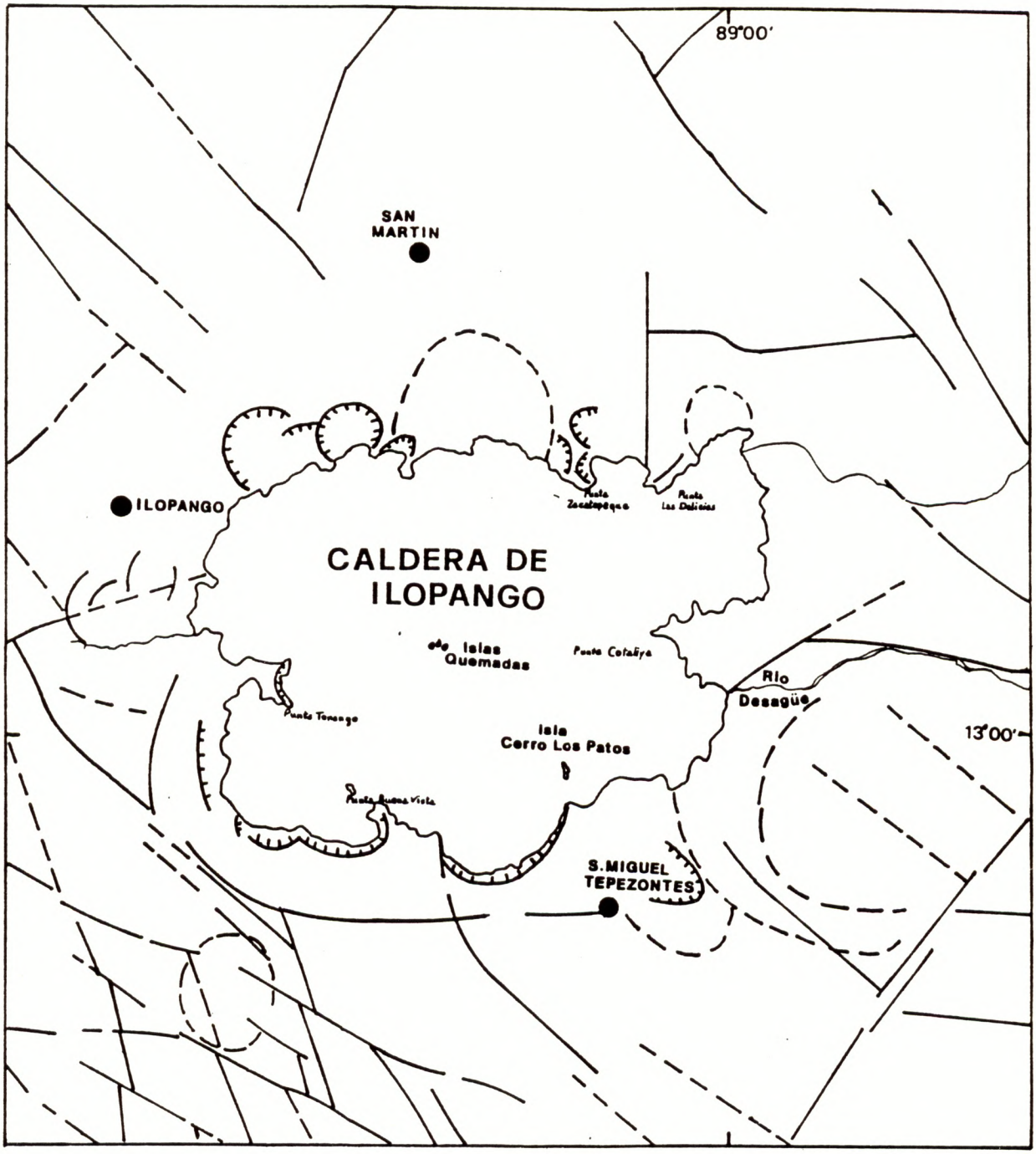


Fig. 5.3. Caldera de Ilopango. Estructuras volcanicas y sistemas de fallas.

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.

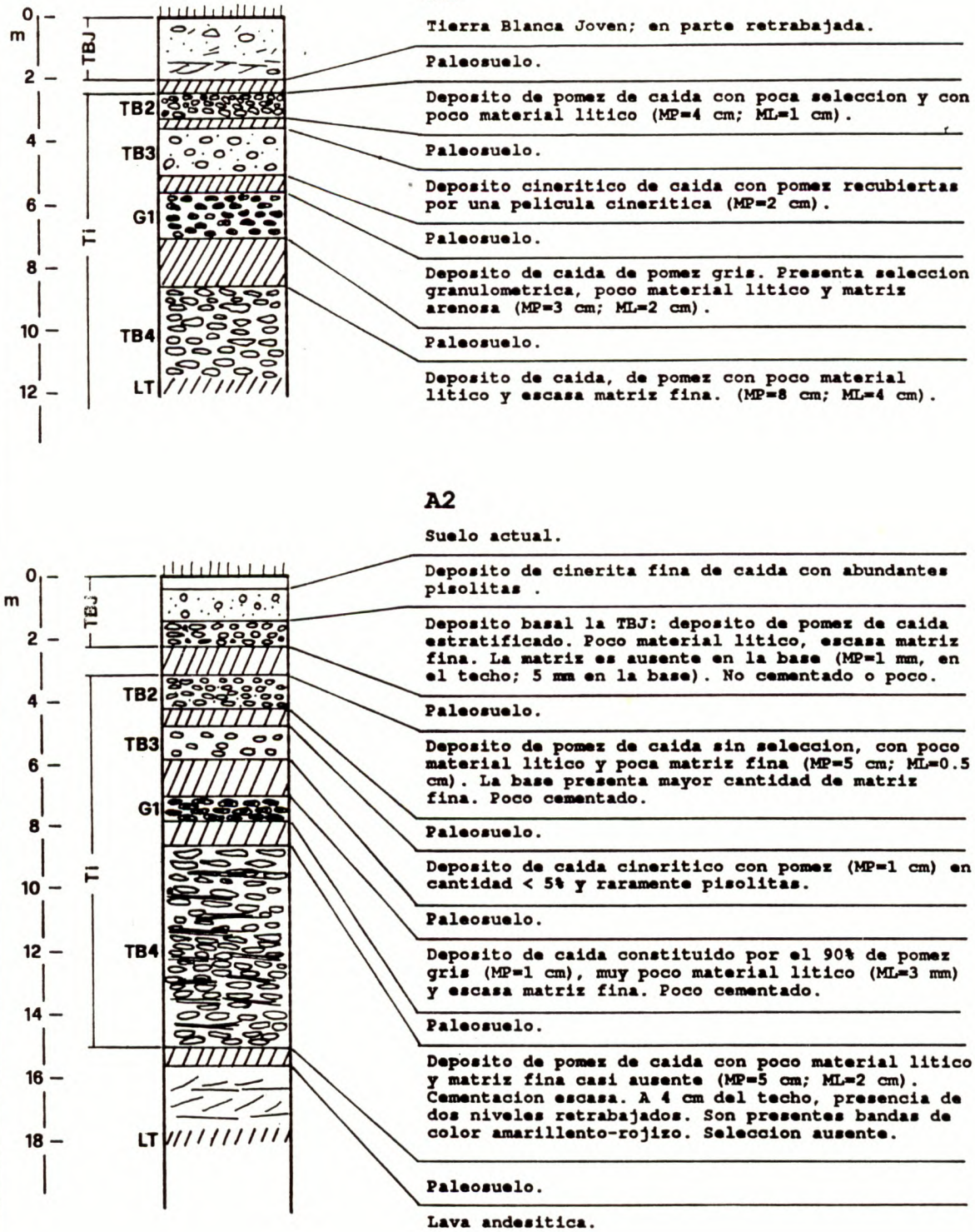
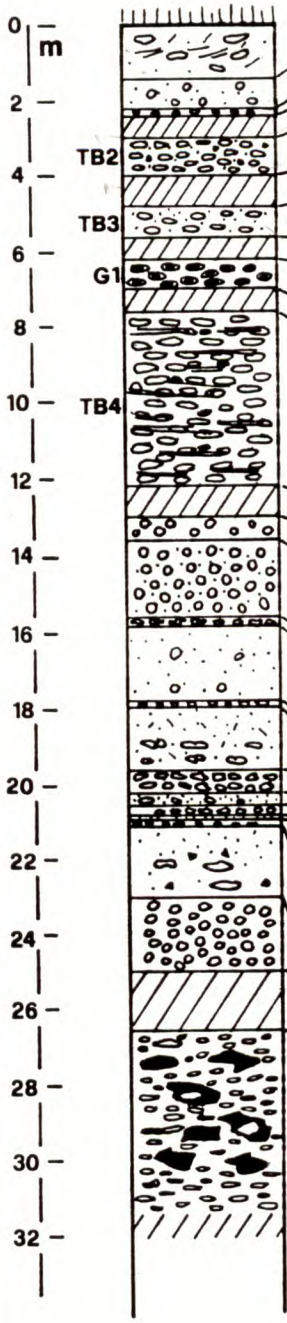


Fig.5.4. Columnas estratigraficas (Distrito Sanitario A3)

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.

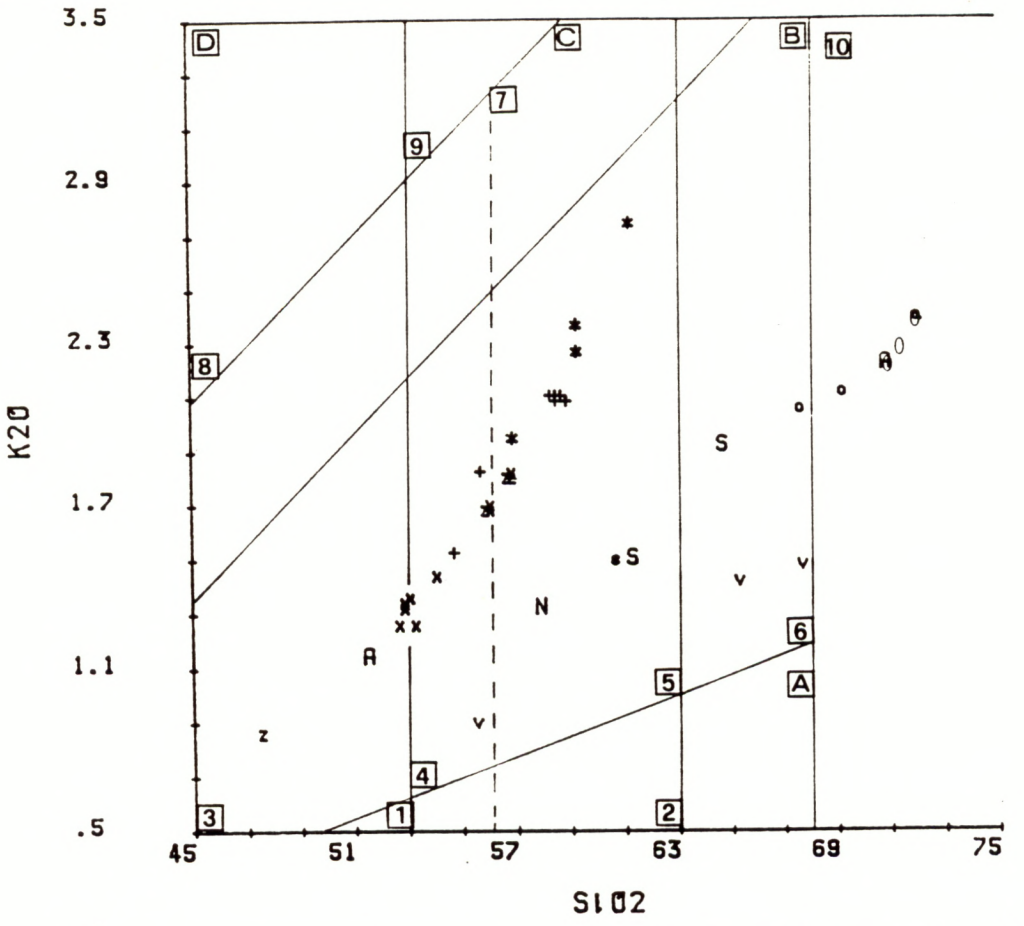
A Serie toleitica
B Serie calco-alcalina
C Serie andesitica alta in K
D Serie shoshonitica

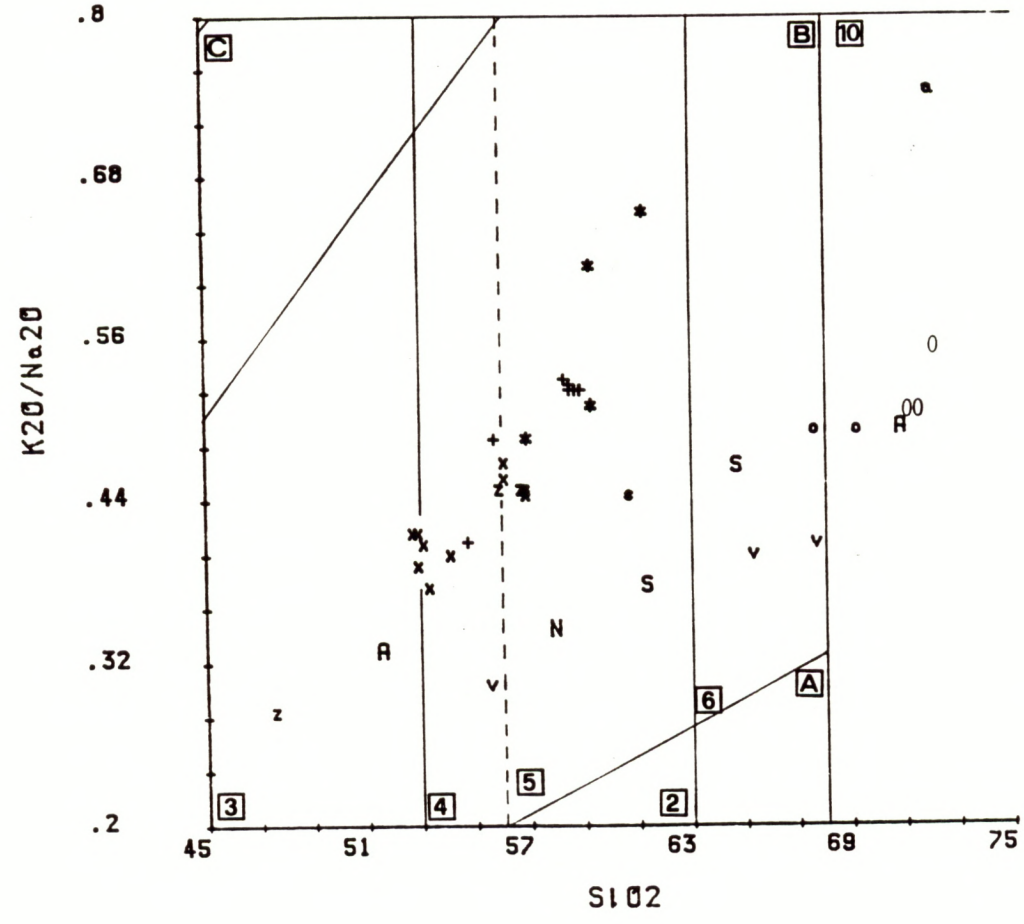
1 - Toleitas, **2** - Andesitas bajas en K20, **3** - Basaltos ricos en Al, **4** - Andesitas bajas en SiO2, **5** - Andesitas, **6** - Dacitas

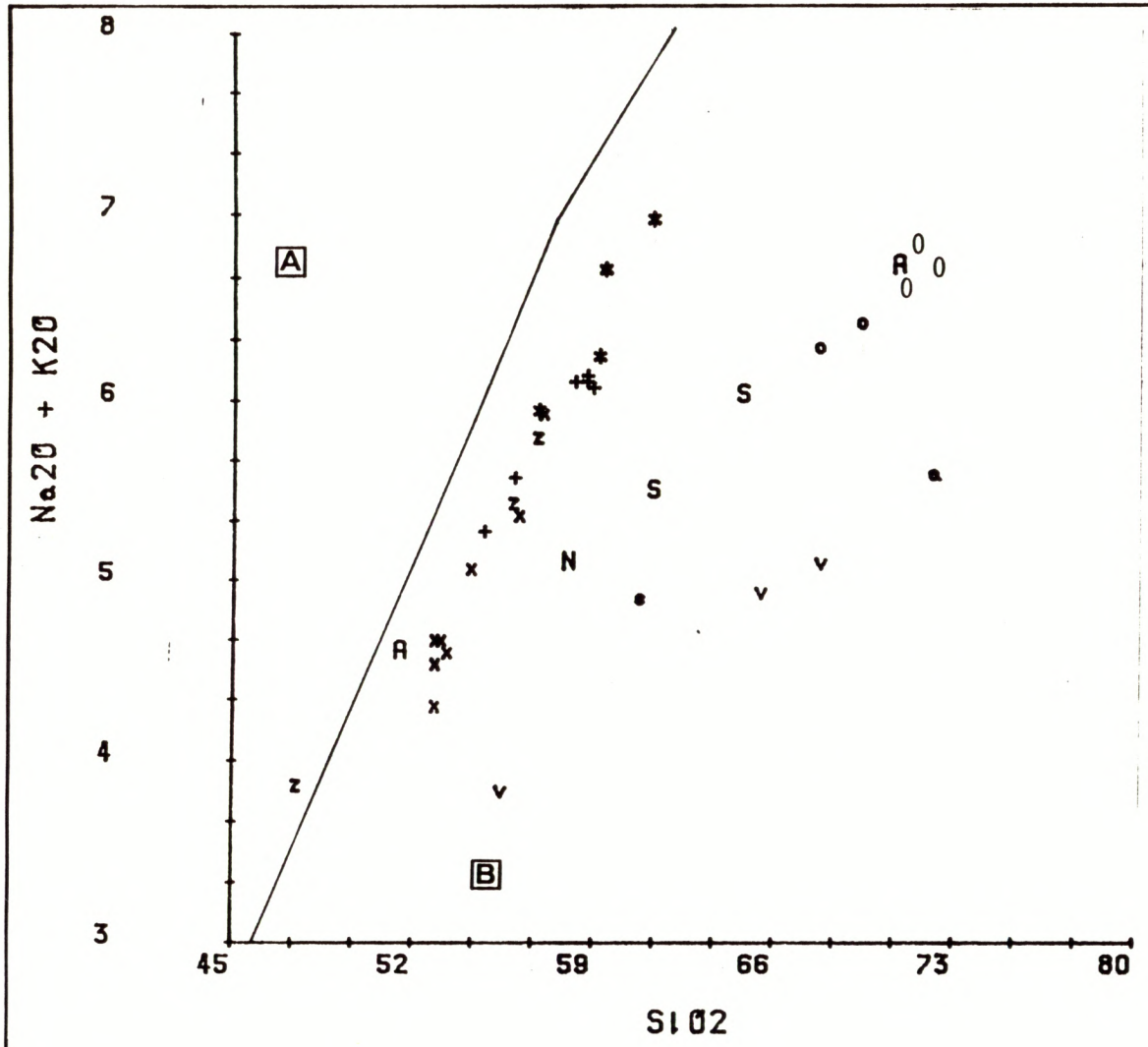
SIMBOLOS

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.**

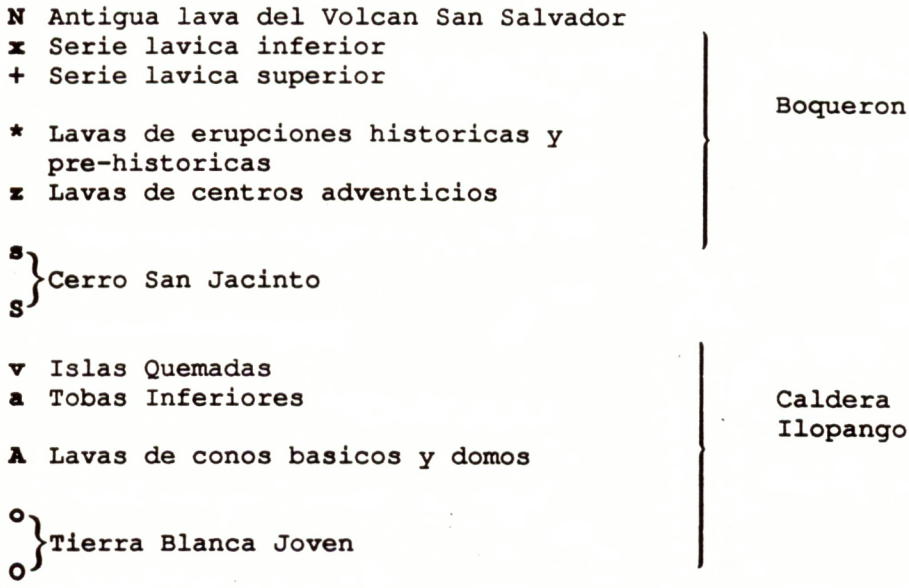
andesitas a dacitas por lo que se refiere a los productos del cerro San Jacinto.
Las muestras relacionadas a la caldera del Ilopango caen todas en el campo dacitico-riolitico con las excepciones de la inclusion basica en las rocas de las Islas Quemadas (I1) y de las muestras del cono basico (SS9) que 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.

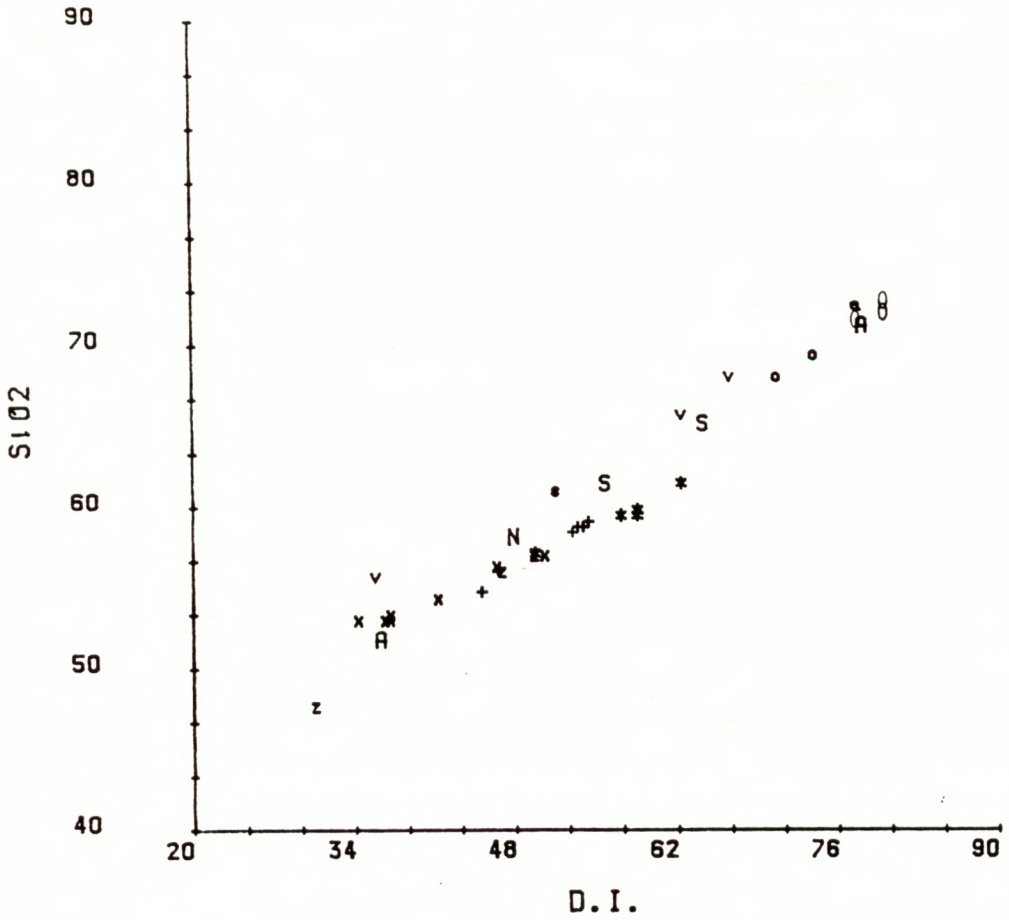
6.2.1 Antiguo edificio San Salvador-Boqueron-Pequenos centros volcanicos

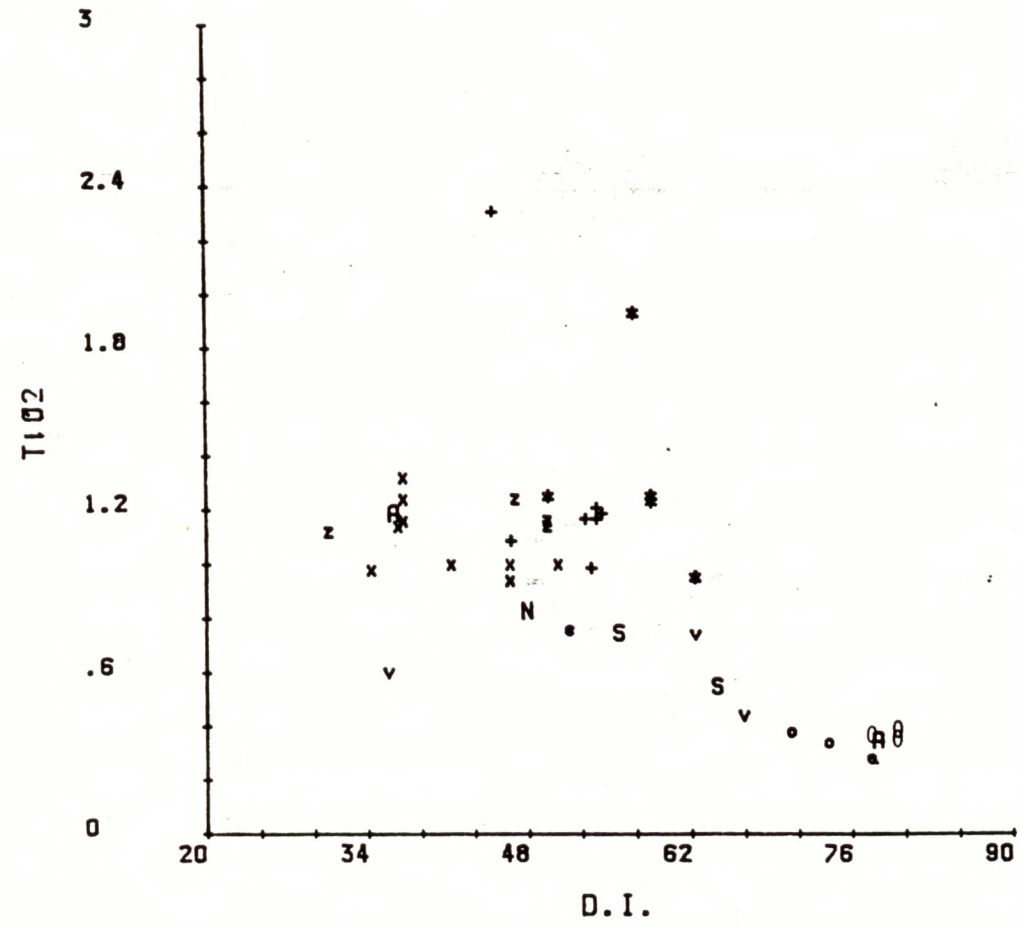
En el estudio de la evolucion magmatologica reciente del edificio volcanico Boqueron sus productos en la mayor parte lavicos, han sido devididos en clases pertenecientes a diferentes estadios temporales de la actividad eruptiva.
Se han por consiguiente, distinguidos las siguientes clases:
- las lavas 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

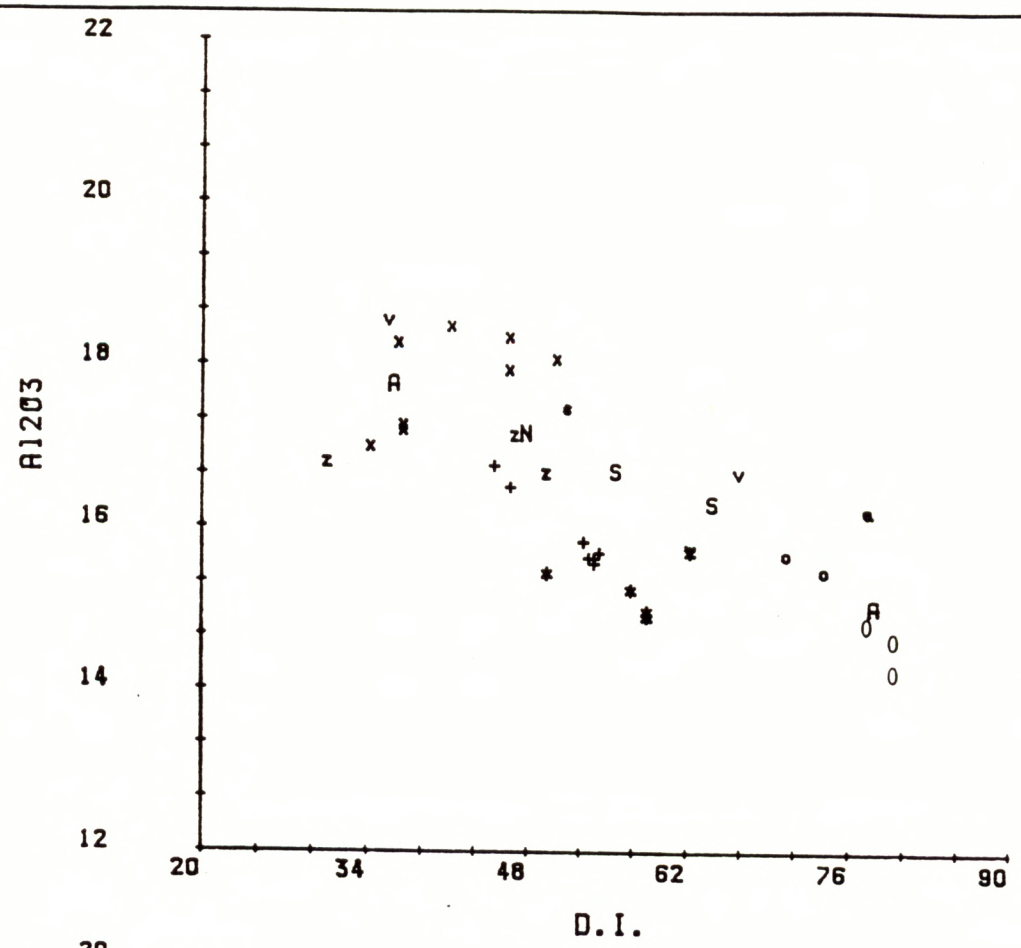
Fig. 6.3 Diagramas de variacion

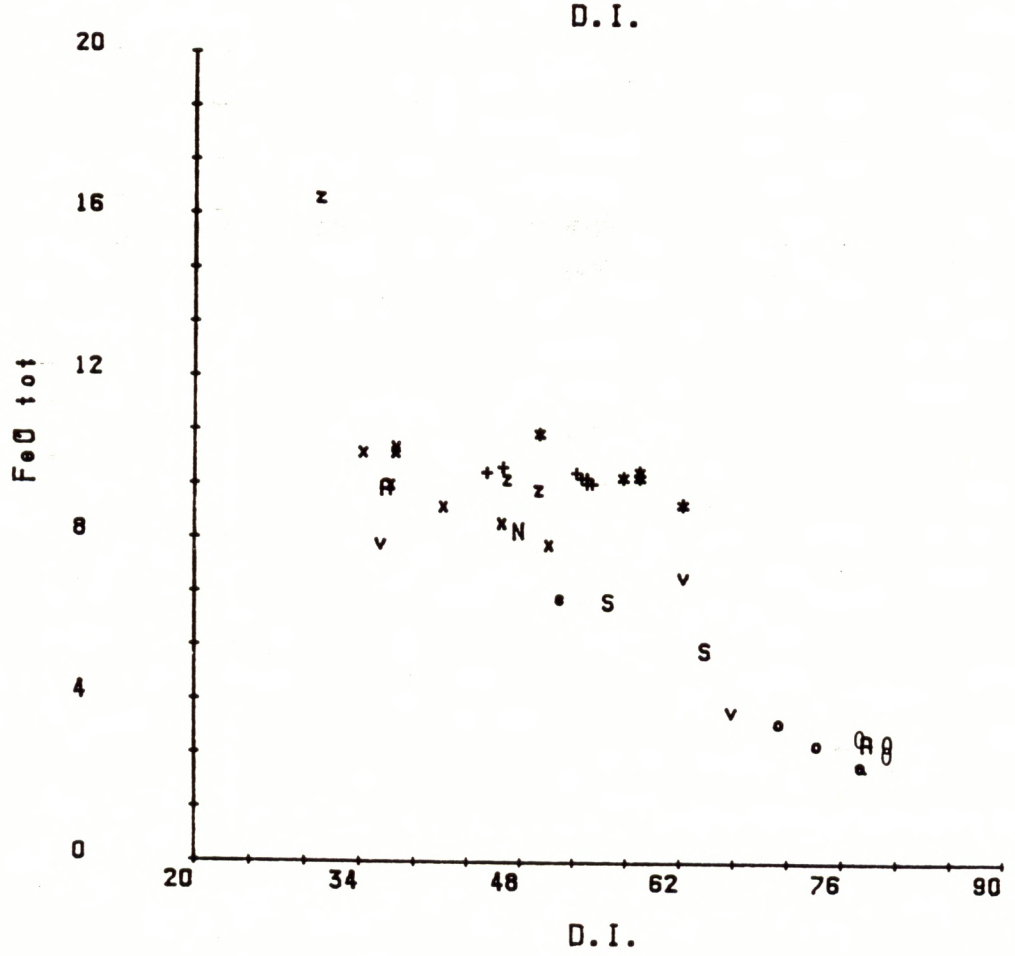


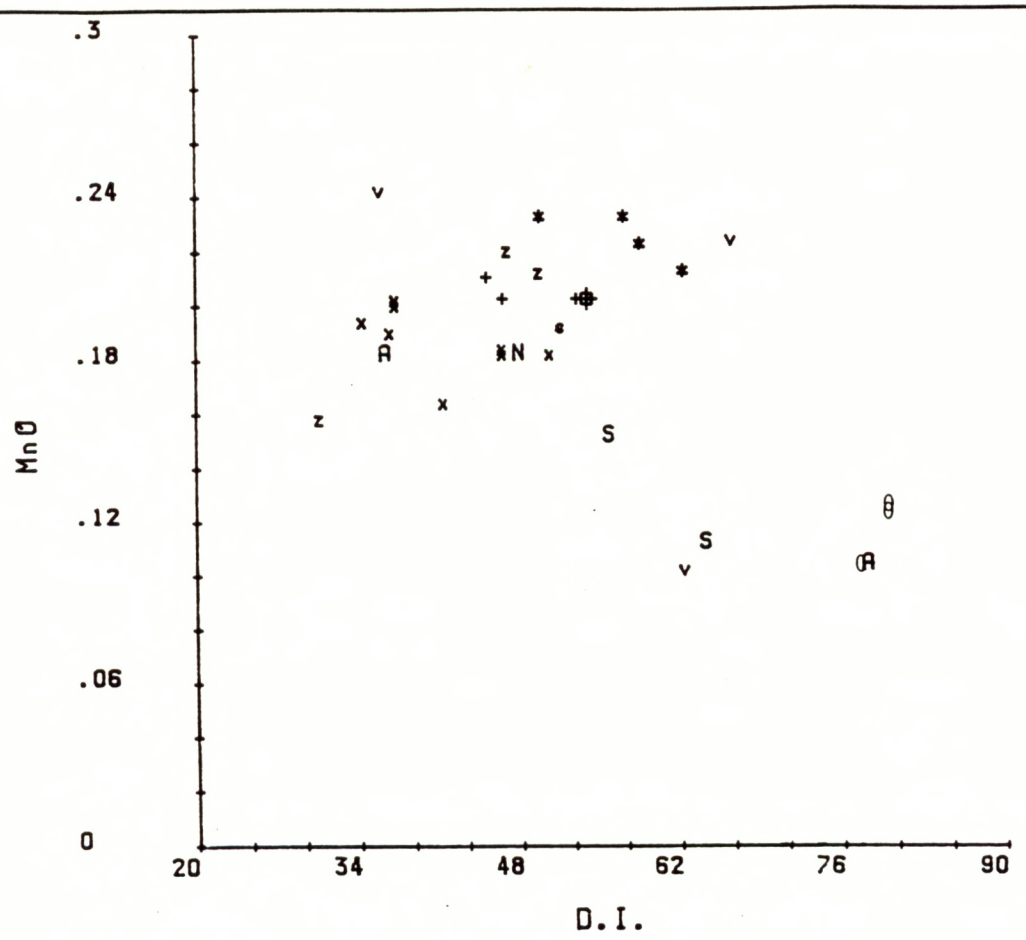
Las letras mayuscolas indican las analisis efectuadas para la Geotermica Italiana.

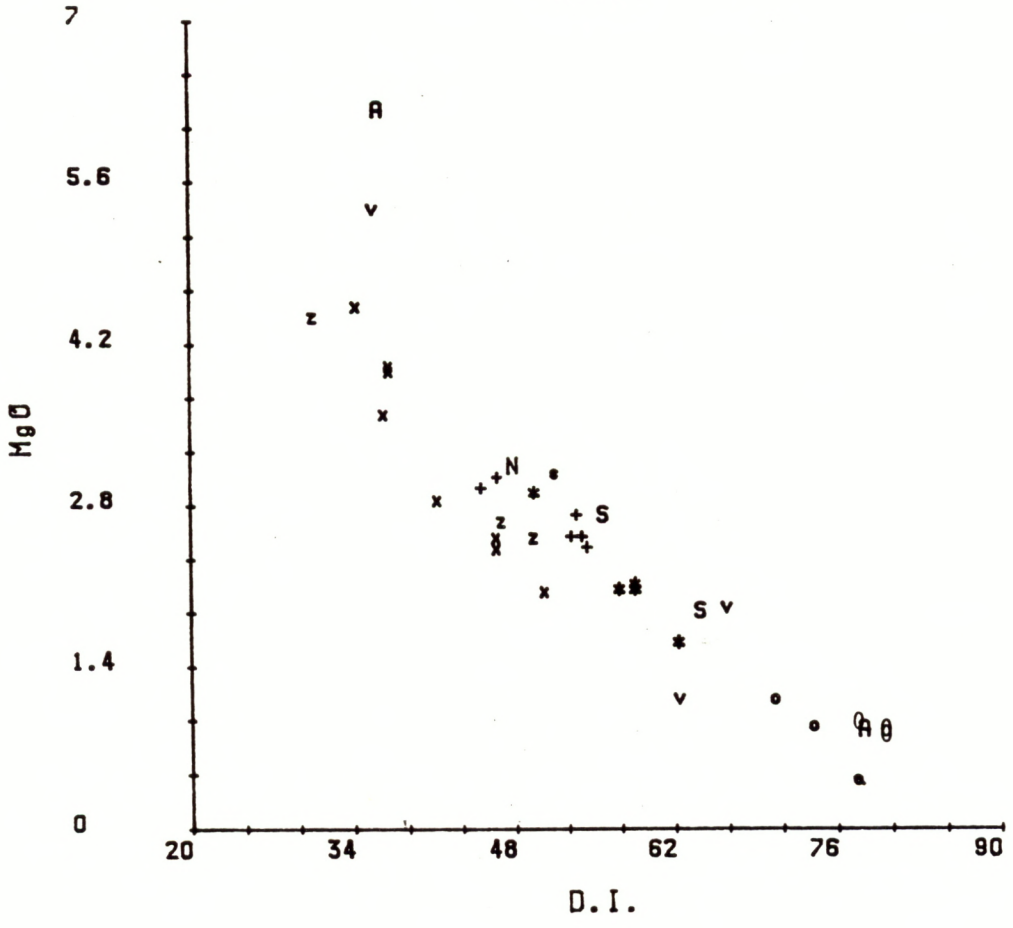

90
80
70
60
50
40
SiO2
20
34
48
62
76
90
D.I.

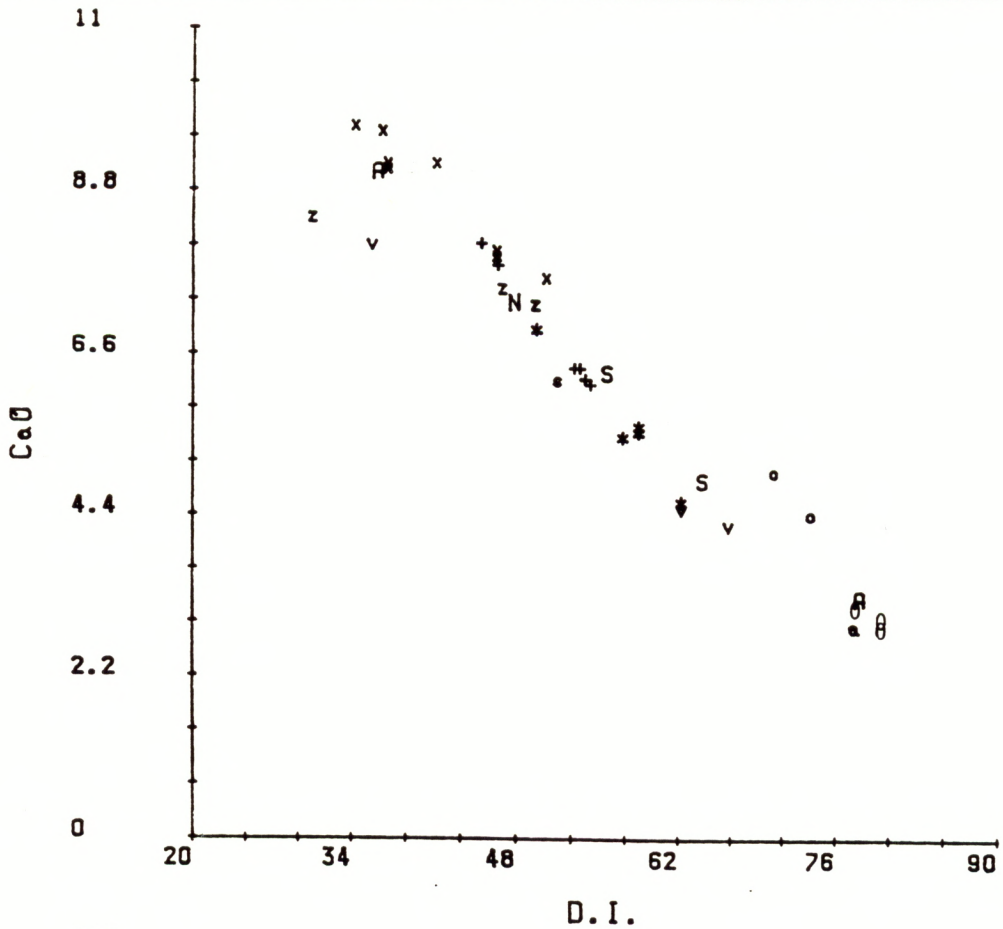

3
2.4
1.8
1.2
.6
0
TiO2
20
34
48
62
76
90
D.I.

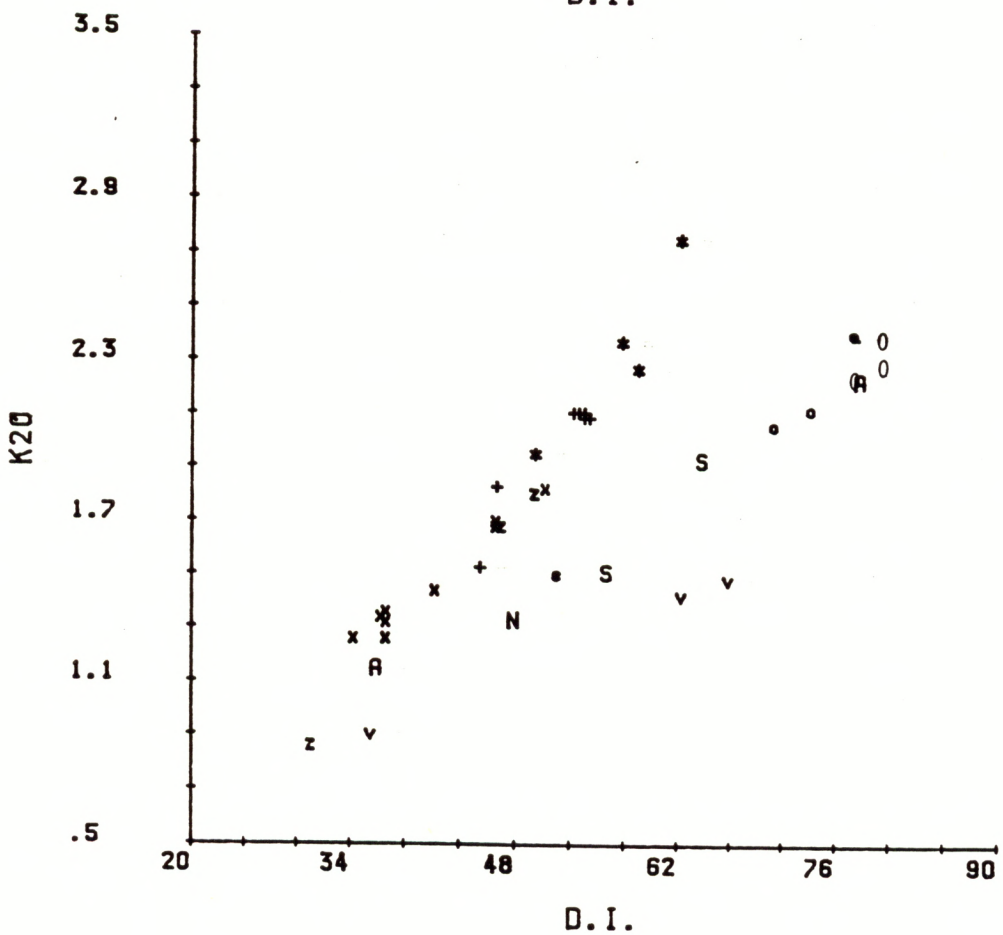

22
20
18
16
14
12
Al2O3
20
34
48
62
76
90
D.I.

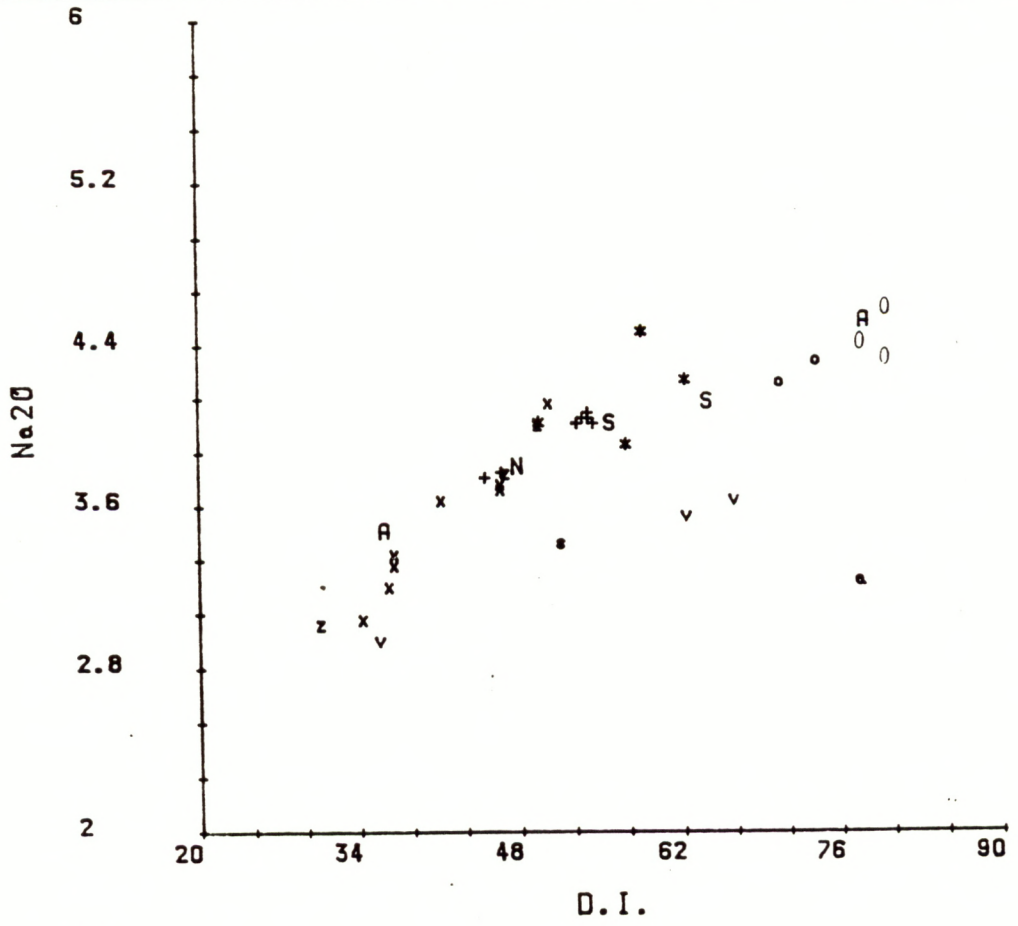

20
16
12
8
4
0
FeO tot
20
34
48
62
76
90
D.I.

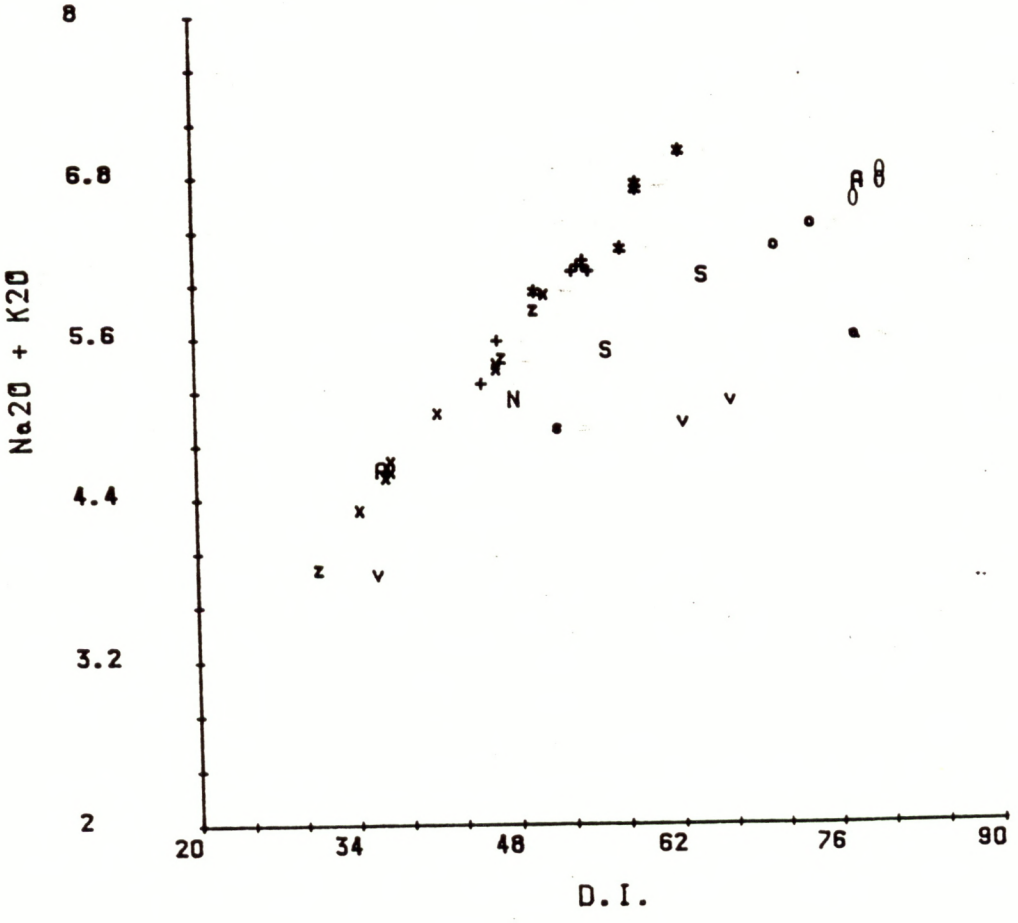

.3
.24
.18
.12
.06
0
MnO
20
34
48
62
76
90
D.I.

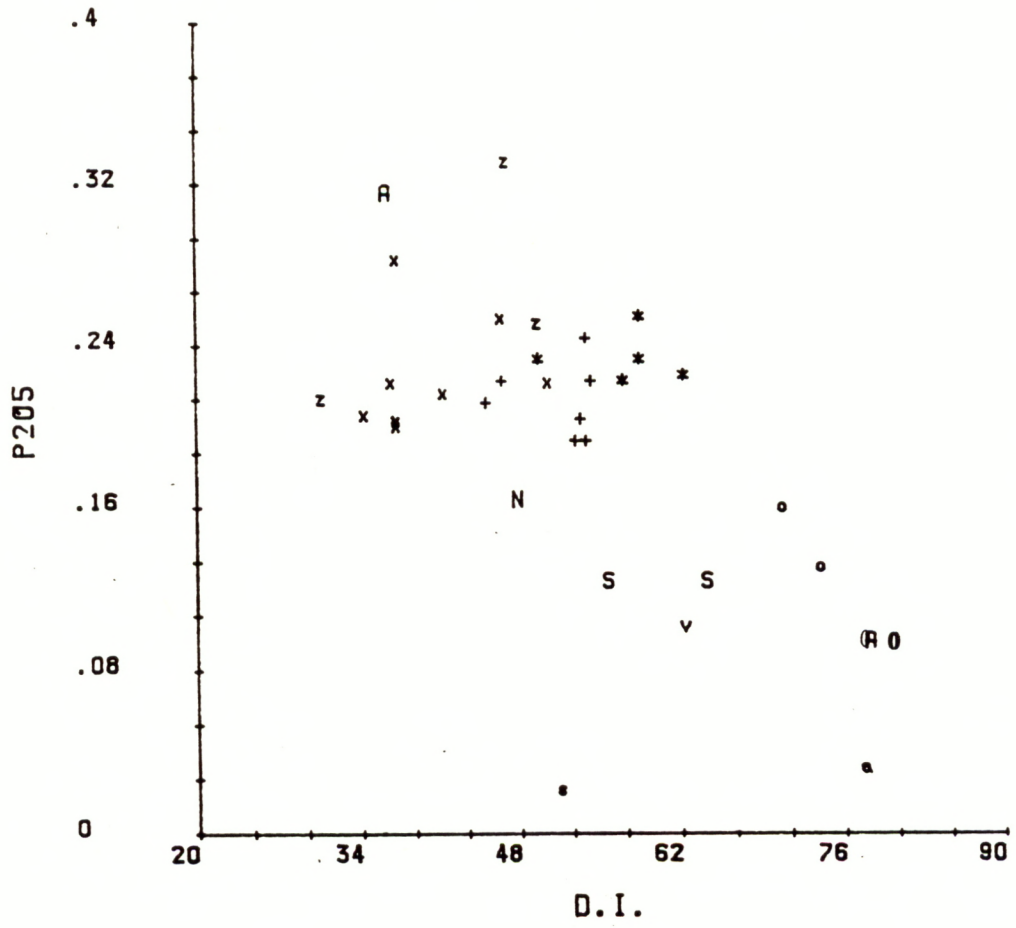

7
5.6
4.2
2.8
1.4
0
MgO
20
34
48
62
76
90
D.I.


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.

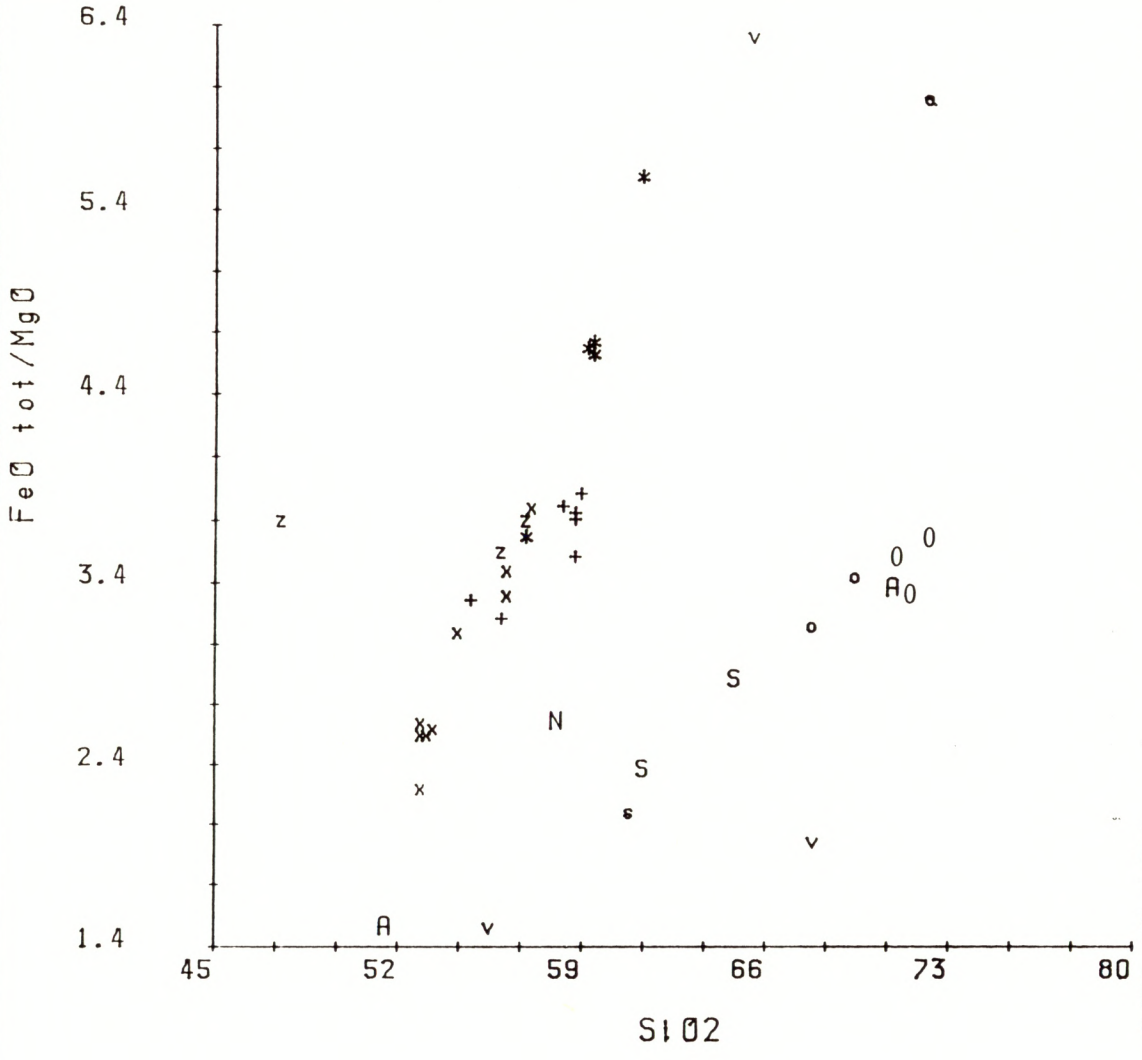
Las diferencias quimicas entre la serie lavica inferior y la superior, pueden ser explicadas por una diferente eficiencia del proceso de fraccionamiento de Plagioclasa. Fairbrothers et al. (1978) establecieron la hipotesis de que tal proceso es debido a la brusca disminucion de pH2O consecuente a la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

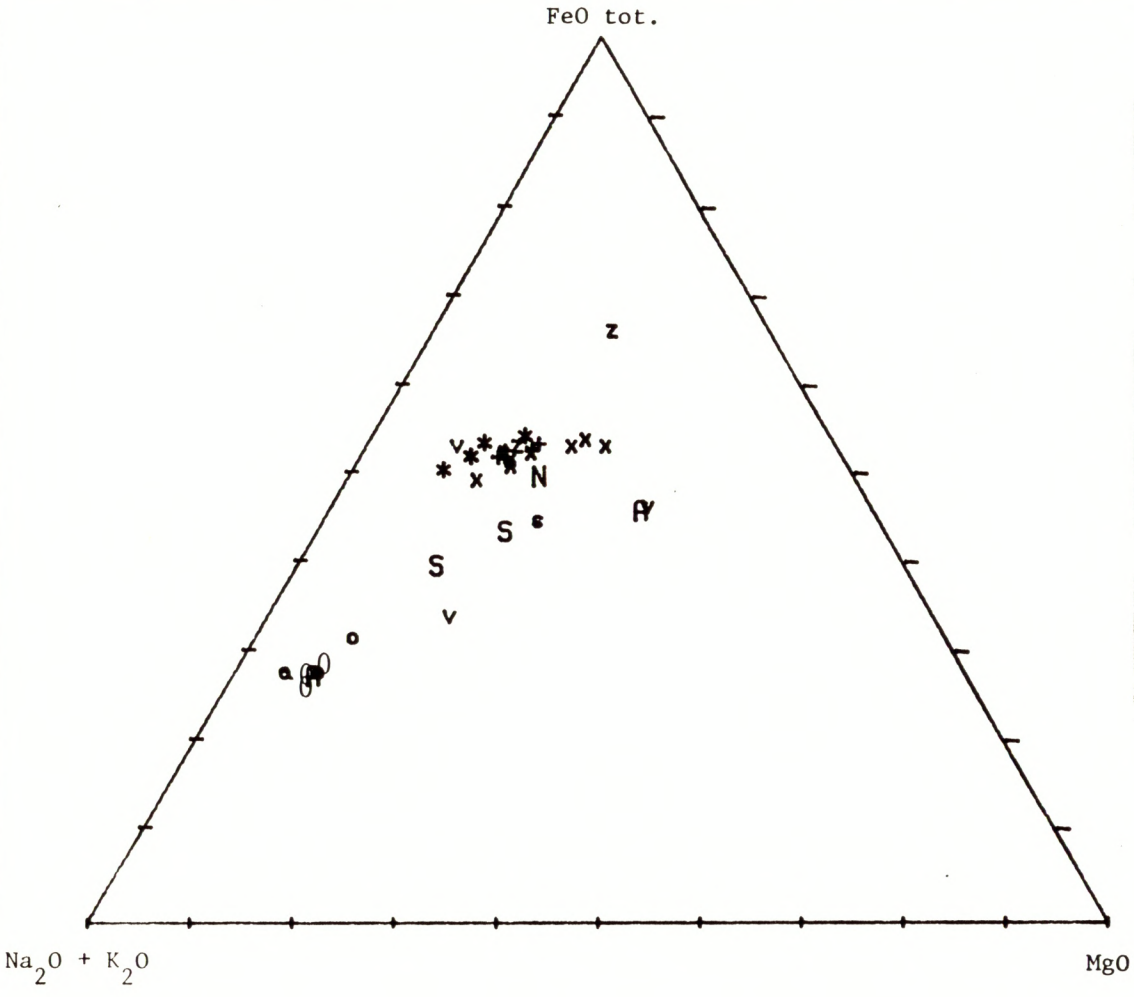
Caldera Ilopango

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.