

PROGRAMA IRHE-BID-OLADE

CONVENIO DE COOPERACION TECNICA IRHE-OLADE

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO GEOTERMICO NACIONAL

AREA CHITRA-CALOBRE

Estudio Geo-vulcanologico de Prefactibilidad

Marzo 1987

Antonio Frullani

## INDICE

### AGRADECIMIENTOS

### INTRODUCCION

1. EVALUACION DE LA INFORMACION GEOCIENFIFICA EXISTENTE
2. RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS
  - 2.1. Trabajo en Panama
  - 2.2. Trabajo en la sede del experto (Italia)
3. GENERALIDADES
  - 3.1. Ubicacion
  - 3.2. Morfologia e hidrografia
  - 3.3. Clima
4. MARCO GEOLOGICO REGIONAL
5. BASAMENTO TERCIARIO
  - 5.1. Rocas Intrusivas
  - 5.2. Rocas Volcanicas
    - 5.2.1. Formacion Canezas
    - 5.2.2. Formacion La Yeguada
  - 5.3. Rocas sedimentarias
6. MARCO TECTONICO REGIONAL
7. VULCANISMO PLIO-CUATERNARIO
  - 7.1. El Picacho de Ola y Cerro Guacamaya
  - 7.2. Cerro S. Andres

- 7.3. El Esquinado
- 7.4. La Montanuela
- 7.5. El Castillo
  - 7.5.1. Actividad antigua
  - 7.5.2. Actividad reciente
- 7.6. La Media Luna
- 8. QUIMISMO DE LAS ROCAS Y EVOLUCION MAGMATICA DEL VULCANISMO
  - 8.1. Fase Terciaria Miocenica
  - 8.2. Fase Pliocenico-Pleistocenica
- 9. MANIFESTACIONES TERMALES
- 10. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS TERRENOS AFLORANTES
  - 10.1. Basamento Terciario
    - 10.1.1. Rocas Intrusivas
    - 10.1.2. Formacion Canazas
    - 10.1.3. Formacion La Yeguada
  - 10.2. Vulcanitas Plio-Cuaternarias
- 11. CONCLUSIONES
  - 11.1. Modelo geotermico preliminar de El Castillo

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea presentar sus agradecimientos al Ingeniero Vicente Rios y al Ingeniero Arturo Ramirez del IRHE por las facilidades y cooperacion brindadas durante el desarrollo de la mision; una mencion particular merecen el Tecnico-Geologo Emerito Marquinez y el Geologo Alexis Tejedor de IRHE que fueron tan buenos colaboradores y guias en el trabajo de campo y muy simpaticos companeros.

Al final el autor desea agradecer por sus apoyo y colaboracion al Ing. Eduardo Almeida, Coordinador de OLADE y el Prof. Franco Barberi, Coordinador Cientifico del Proyecto.

## INTRODUCCION

Este informe presenta los resultados logrados en la ejecucion de los estudios geo-vulcanologicos adicionales efectuados en el area de Chitira-Calobre (Fig. 1). Estos estudios fueron desarrollados al fin de que el conocimiento geo-cientifico (con enfoque especifico en el concepto geotermico) de la mencionada area alcanzara el nivel de Prefactibilidad de la Exploracion Geotermica segun la Metodologia OLADE.

El area de Chitira-Calobre ha sido seleccionada en el cuadro del Reconocimiento Geotermico Nacional de la Republica de Panama, como una de la mas interesantes.

La Junta Asesora del Proyecto, en su tercera reunion realizada en Panama en abril de 1986, recomendo' la ejecucion de estudios geo-vulcanologicos adicionales con el fin que la informacion geo-vulcanologica de detalle y los relativos estudios petrograficos-petrologicos juntos a los programados estudios geoquimicos permitieron la definicion de eventuales estudios geofisicos en el area y el diseno de un modelo geotermico preliminar.

En particular el alcance de los estudios geo-vulcanologicos de Prefactibilidad era el siguiente:

- Recopilacion y analisis de la informacion geocientificas existente.

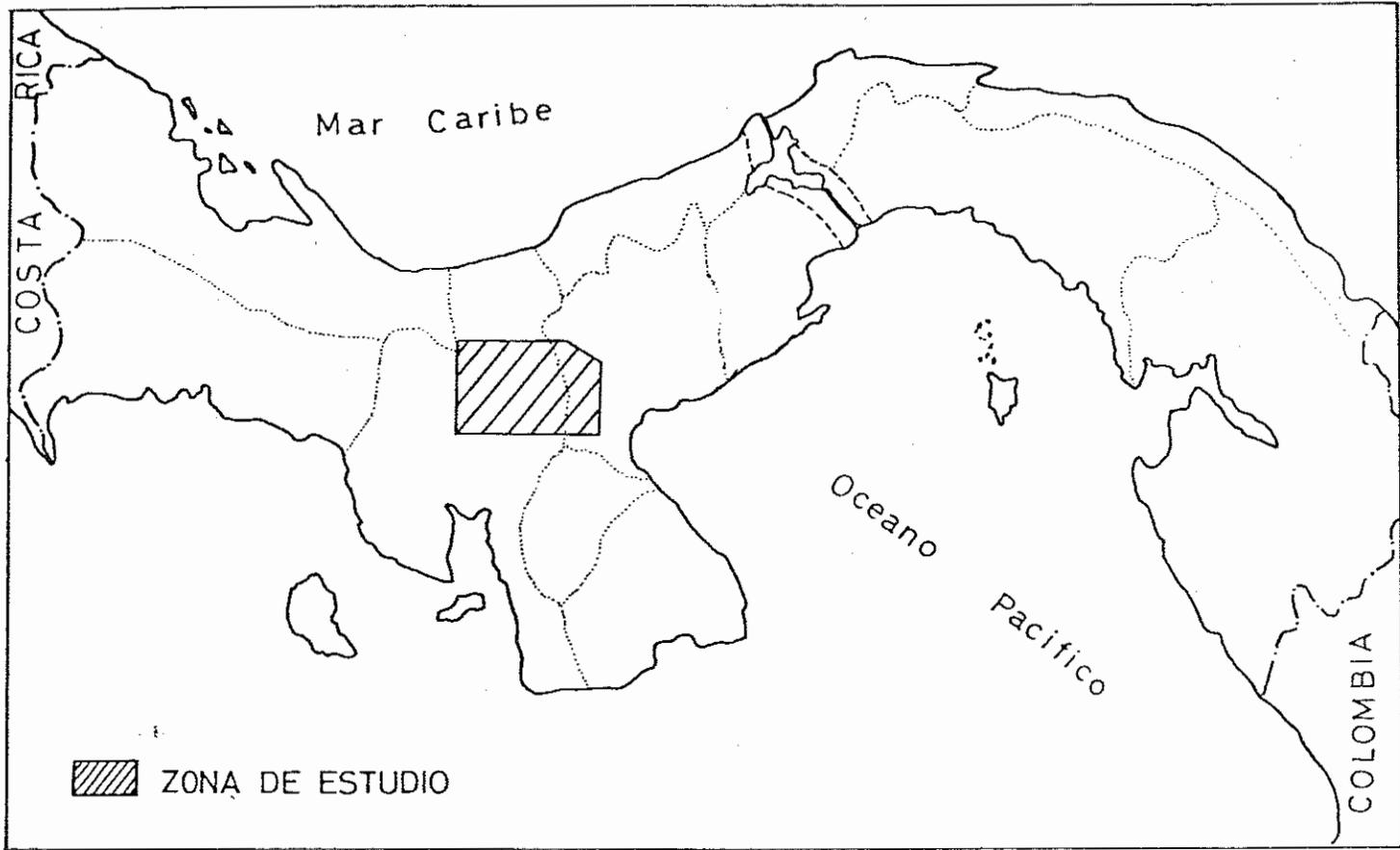


FIG. 1 ZONA DE ESTUDIO

- Estudio detallado de la actividad volcanica en Chitra-Calobre: reconstruccion de la evolucion espacio-temporal del vulcanismo; identificacion de las relaciones entre tectonica y vulcanismo; estudio de las secuencias piroclasticas e identificacion de eventuales depositos freato-magmaticos; muestreo de roca para estudios petrograficos y petrologicos.
- Busqueda de areas hidrotermalizadas y de manifestaciones termales (aguas calientes, gases etc.).
- Identificacion de fallas recientes y/o activas.
- Definicion cualitativa de las caracteristicas de permeabilidad de las formaciones aflorantes y en particular del basamento Terciario.
- Identificacion de las zonas de recarga.
- Diseno de un modelo geotermico preliminar.

## 1. EVALUACION DE LA INFORMACION GEOCIENTIFICA EXISTENTE

El area de la Cordillera Central de Panama que comprende la zona de Chitira-Calobre ha sido conocida hace mucho tiempo por su mineralizaciones de oro. La dos minas de Alto de La Mina y de Remance, ubicadas al Oeste de Chitira Calobre en la provincia de Veraguas, en particular tuvieron una cierta importancia.

Terry en 1957 publico' "A Geological Reconnaissance of Panama" un estudio de reconocimiento geologico de la Republica de Panama donde el sector de la Cordillera Central que nos interesa directamente era tratado muy en general desde un punto de vista litologico siendo constituido por rocas igneas (en maxime parte volcanitas con subordinadas intrusiones).

Por otro lado, el geologo norteamericano noto' como la Cordillera consistia de una serie de bloque fallados con rumbo NO-SE y el curso superior de los rios en la vertiente Pacifica de la division continental curria mas o menos paralelo a la division misma.

El primer estudio geologico de detalle desarrollado sobre el area es "Geologia del area del Proyecto Minero de Azuero" compilado por D. Del Giudice y G. Recchi en 1969. Este estudio financiado por el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas con finalidad principalmente de caracter minero, cubre una faja de territorio de unos 90 km de ancho comprendiente la Peninsula de Azuero hasta el

Mar Caribe. Las conclusiones principales referentes al area Chitra-Calobre pueden ser resumidas de esta manera: la característica geologica principal es la presencia de volcanismo desde el Mioceno hasta epoca reciente. Los productos de esta actividad comprenden dacitas, lavas andesiticas y basalticas, tobas y aglomerados e ignimbritas. Las intrusiones estan representadas por granodioritas de edad Pliocenica mientras cuerpos intrusivos Oligocenico se encuentran en la vertiente Caribica de la Cordillera. Las edades de las formaciones han sido controladas a traves de medidas el metodo radiometrico potasio-argon. Las principales características estructurales se relacionan con grandes fracturas y fallas regionales. Al Sur de la Cordillera Central las fallas regionales tienen prevalentemente rumbo E-O pero hay tambien sistemas transversales de grandes longitud. El model tectonico general es de bloques monoclinales, separados por fallas, con buzamiento hacia el Norte; los pliegues son raros, y limitados. La formacion de la Cordillera es probablemente mas bien debida a la simple acumulacion de abundantes productos volcanicos que a empujes verticales. Como anexo al Informe geologico ha sido publicado un mapa geologico con escala 1:250,000.

Sucesivamente, en particular basandose sobre la abundancia de manantiales termales se piensó en un potencial interes geotermico

del area. Para este fin en 1978 Thomas preparo' un informe geologico que presentava entre otro los resultados del trabajo de campo desarrollado en Chitra-Calobre. Su interes ha sido concentrado mas en el diseno de un esquema geologico para las zonas ubicadas en los inmediatos alrededores de seis manantiales termales visitados (Chitra, Los Pozos, Barrero Grande, Rio San Juan, La Yeguada y Pedregoso) que en la formulacion de un model geologico-geotermico regional.

Sin embargo se identifico' la relacion entre manifestaciones termales y estructuras tectonicas-volcanismo reciente siendo pero' el vulcanismo considerado solo de naturaleza basaltica en forma sea de diques que de flujos lavicos.

Es evidente que aun si las conclusiones de Thomas eran cualitativamente correctas, estas se basaban sobre observaciones equivocadas en particular por lo que se referia a la naturaleza del vulcanismo reciente que tiene en el area predominante caracter evolucionado, mientras el vulcanismo basaltico es mucho mas antiguo.

En 1983 en el marco del programa IRHE-BID-OLADE se puso la base de un programa de investigaciones interdisciplinarias finalizado a la exploracion geotermica. En este ambito ha sido llevado a cabo en 1984 un Estudio de Reconocimiento Geotermico de Panama sobre algunas areas preseleccionadas entre las cuales Chitra-Calobre. El trabajo geo-vulcanologico fue desarrollado por el Ing. Mauricio

Retana responsable del estudio de campo y por el Dr. A. Frullani, experto vulcanologo-fotointerprete.

A. Retana preparo' el informe relativo al area Chitra-Calobre y el anexo mapa 1:100.000.

El estudio geo-vulcanologico, junto con los estudios petrograficos y petrologicos de las muestras recogidas en el campo (elaborados por F. Innocenti), permitio' la reconstruccion, aun si no detallada, de la historia volcanica del area, la identificacion de los centros volcanicos mas recientes (Cerro El Castillo, Cerro la Montanuela, Cerro El Esquinado, Pichacho de Ola') y la definicion de sus estructuras vulcanologicas. Los resultados obtenidos fueron prometedores y se presento', entonces, la necesidad de estudios geo-vulcanologicos adicionales segun el sugerimiento de la Junta Asesora en su Tercera Reunion (1986), para una definicion mas precisa de la historia eruptiva de los centros volcanicos mas recientes, de las relaciones entre volcanismo y tectonica, de las características hidrogeologicas cualitativas del basamento y, al final, de un modelo geotermico de las areas de interes.

Los resultados del Estudio geo-vulcanologico de Reconocimiento, asi como los de los estudios petrograficos y petrologicos seran integrados directamente en el presente informe de Prefactibilidad que es una sintesis de todos los trabajo anteriores y actuales y constituye, por su propia definicion, la logica continuacion del Estudio de Reconocimiento geotermico segun lo sugerido por la Metodologia OLADE.

## 2. RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

### 2.1. Trabajo en Panama

17-18 Noviembre: Viaje Fisa-Panama

18 Noviembre, Panama: Reunion en las oficinas del IRHE con el Ing. V. Rios (IRHE) y el Ing. E. Almeida de OLADE para la presentacion del programa de actividades.

19 Noviembre, Panama: Recoleccion de material basico de trabajo: mapas topograficos, fotografias aereas, informes existentes.

20 Noviembre, Panama: Recopilacion y analisis de los informes existentes; preparacion del material de campo.

21 Noviembre: Viaje de transferimiento de Panama a Santiago, base para el trabajo de campo en el area Chitra-Calobre.

22 Noviembre: Recorrido preliminar en el area para averiguar la accesibilidad.

23 Noviembre - 6 Diciembre: Estudio de campo del area Chitra-Calobre:

- trabajo de fotointerpretación;
- estudio detallado de la actividad volcánica regional;
- reconstrucción espacio-temporal de la historia eruptiva de cada centro Plio-Cuaternario (El Castillo, la Mantenuela, El Esquinado etc.);
- muestreo de rocas y de cortes piroclásticos para análisis petrográficos, químicos y petrologicos;
- estudio de las relaciones entre vulcanismo y tectónica;
- identificación de estructuras y fallas recientes;
- búsqueda de nuevas manifestaciones termales (manantiales termales, emisiones de gases, superficies hidrotermalizadas) y sus indicación al grupo geoquímico;
- definición de las características de permeabilidad del basamento e identificación de las zonas de recarga;
- diseño de un modelo geotérmico preliminar en el área de mayor interés (El Castillo).

7-8 Diciembre: Llegada a Santiago del Coordinador Científico del Proyecto prof. F. Barberi y del Supervisor de OLADE Ing. E. Aguilera.

Resumen de los primeros estudios desarrollados en el campo y discusión de los resultados adquiridos.

9-10 Diciembre: Visita con los supervisores a algunos aparatos del área Chitra-Calobre: El Castillo, Chitra, la Mantenuela;

elaboracion del programa de las actividades a seguir.

13-14 Diciembre: Mision de campo con el Supervisor Ing. E. Almeida para el control del marco estructural de la ignimbritas Terciarias alrededor del aparato El Castillo.

31 Diciembre - 1 Enero: Viaje Panama-Pisa.

## 2.2. Trabajo en la sede del experto (Italia)

29 Enero - 6 Febrero

- estudio de fotointerpretacion.
- Compilacion de un mapa geo-vulcanologico escala 1:50.000 con base topografica que abarca la totalidad del area de interes.
- Ubicacion de las muestras recogidas.
- Elaboracion de la relativa leyenda.
- Preparacion de un corte geologico.

7-28 Febrero

- Elaboracion del informe geo-vulcanologico: estudio detallado de los centros eruptivos mas recientes, evaluacion de las características hidrogeologicas del basamento, consideraciones sobre la tectonica, discusion sobre las posibles areas de recarga idrica.

-Integración de los resultados del estudio petrográfico-petroológico  
al informe geo-vulcanológico.

### 3. GENERALIDADES

#### 3.1. Ubicacion

El area cubierta por el presente estudio se senala en el mapa de fig. 1. Esta enmarcada entre las coordenadas geograficas 80 36' y 82 Longitud Oeste y 8 34' y 8 18'20" Latitud Norte. El area cubre aproximadamente unos 1300 km<sup>2</sup> de superficie y comprende la franja de la vertiente meridional de la Cordillera Central hasta las colinas bajas de la region pedemontana.

La porcion Oeste del area esta comprendida en la provincia de Veraguas mientras la porcion Este se ubica en la provincia de Cocle siendo divididas entre si por el curso del Rio Chico.

La poblacion principal es Calobre ubicada al pie de la Cordillera; de aqui sube la carrettera principal hacia las montanas llegando a La Yeguada, Chitra etc.

#### 3.2. Morfologia e hidrografia

En el area se presentan dos unidades morfologicas relevantes: la porcion montanosa, representada por la Cordillera Central y la region predemontana, representada por colinas bajas y peneplanicies. El eje de cumbres de la cadena tiene una elevacion promedio de 1,200 M.S.N.M., mientras que la region pedemontana

tiene una elevación promedio de 150 M.S.N.M.. La división entre las dos unidades morfológicas es muy neta, siendo marcada por un escarpe morfológico de unos 500 m de alto.

La parte occidental de la unidad montañosa es generalmente bastante aplanada (más o menos un altiplano) y solamente hacia la división continental, hacia la zona de Chitra, se vuelve mucho más abrupta y discontinua. Esta característica morfológica está relacionada con la naturaleza de gran parte de las formaciones aflorantes formadas por cubiertas ignimbríticas de gran espesor. Las ignimbritas tienen en efecto una modalidad de emplazamiento que produce una morfología aplanada tipo Meseta.

La parte centro-oriental de la unidad montañosa está caracterizada por una morfología mucho más irregular enmarcada por la presencia de cerros relativamente altos como el Cerro El Castillo, Cerro Picacho, Cerro Montanuela ecc.

Estos cerros representan volcanes centrales así que las diferencias morfológicas entre las dos áreas quedan explicadas por ser bastante distintas volcánicamente.

En la unidad pedemontana se destacan entre las colinas bajas a morfología suavemente ondulada algunos cerros que de Oeste a Este son: El Esquinado, San Andrés, Picacho de Ola y Guacamaya.

Varios ríos bajan de la Cordillera, y los más importantes son el Río Gatu, el Río San Juan y el Río Chico.

El Río Gatu drena las aguas de la zona de Chitra (una cuenca

bastante ancha limitada por altos cerros y abierta hacia Sur) y de parte de la aludida zona aplanada, por medio de su afluente Rio Barrero Grande. El Rio San Juan recoge las aguas de la vertiente occidental del C. El Castillo y de una porcion central, bastante limitada, de la Cordillera.

El Rio Chico drene las aguas de un ancho y profundo valle que corta la Cordillera en direccion NO casi hasta la division continental, de la vertiente oriental del C. El Castillo y del C. La Mantarueta. Los tres sobremencionados rios principales y otros menores confluen en el Rio Santa Maria el cual tiene su cauce alto en el eje de cumbres de la cadena central e irriga los llanos de Santiago (pasa un kilometro al Sur de S. Francisco) desembocando al Golfo de Parita.

Dos embalses artificiales: la laguna La Yeguada y el lago La Flor alimentan una pequena central hidroelectrica.

### 3.3. Clima

El clima del area es de tipo tropical humedo. En esta zona como en toda la republica de Panama se registran dos estaciones meteorologicas bien definidas: la estacion seca y la estacion lluviosa. La primera coincide con el invierno astronomico y es de periodo corto. La segunda abarca la primavera, el otono y el verano astronomico.

En el area existen dos regiones climaticas: la de tierras altas y la de tierras bajas. La primera region se desarrolla en la Cordillera Central y se caracteriza por un clima templado muy humedo hasta relativamente arido en zonas donde los bosques han sido cortados. La segunda se localiza en la region pedemontana y contempla un clima tropical relativamente humedo.

#### 4. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Cordillera Central de Panama se extiende paralelamente a los Oceanos Atlantico y Pacifico con direccion Este-Oeste a lo largo de todo el territorio de Panama.

Esta Cordillera forma parte a su vez de la cadena volcanica de Centro America, la cual se desarrolla paralelamente a la Linea Litoral Pacifica y constituye el puente de enlace entre las Montanas Rocosas de Norteamerica y Los Andes Suramericanos. Esta unidad orogenica forma parte del sistema montanoso circumpacifico, el cual tuvo origen en el ciclo Orogenico Alpino (Eras Secundarias y Terciaria).

El nucleo axial de la Cordillera esta' constituido por rocas plutonicas de edad predominantemente Terciaria, las cuales son observables principalmente en la zona de cumbres, donde la erosion ha desgastado con mayor fuerza el relieve original. Las masas intrusivas asi descubiertas representan reservorios magmaticos que en el pasado, durante su evolucion, dieron origen a grandes volúmenes de materiales volcanicos explosivos y efusivos, los cuales originaron las formaciones volcanicas antiguas que cubren la citada Cordillera.

El vulcanismo mas reciente esta representado por centros eruptivos de limitadas dimensiones, cuyos productos consisten en flujos lavicos, domos, subordinados piroclasticos en su mayoria de

caracter acido a intermedio (a excepcion de un pequeno cono-colada basaltico, denominado La Media Luna) que forman estructuras volcanicas como crateres, conos y calderas.

En los parrafos siguientes se describen las rocas intrusivas y volcanicas mas antiguas (Terciarias) que constituyen el basamento sobre el cual se apoyan los productos volcanicos de edad mas reciente; estas ultimas, por su interes como fuente de calor, seran tratadas separadamente.

## 5. BASAMENTO TERCIARIO

### 5.1. Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas del area de estudio se concentran en una franja longitudinal a lo largo de la Cordillera Central, constituyendo practicamente en este sector la columna vertebral de la misma.

Los afloramientos, en realidad escasos y de pequena dimension, se localizan cerca de la zona de cumbre en la vertiente sur de la Cordillera. En la cabeceras del rio Chico, aflora una pequena masa granodioritica a lo largo de la incision fluvial.

Una datacion K/Ar realizada por el proyecto Minero de Azuero en el ano 1969, arrojó una edad para esta roca de  $7.5 \pm 1.6$  millones de anos, correspondiente al Mioceno Superior.

Otro afloramiento se encuentra en la pared NE del valle de Chitra bajo la cumbre del cerro que enmarca la division continental. Estos cuerpos intrusivos han alterado por metamorfismo de contacto las rocas encajantes, las cuales consisten en lavas andesiticas-basalticas pertenecientes a la formacion Canazas de edad Mioceno Superior; xenolitos de lava similares son frecuentes en la roca intrusiva segun el Informe del Proyecto Minero de Azuero.

En la vertiente septentrional de la Cordillera, fuera del area

mapeado, se encuentran varios afloramientos de cuerpos intrusivos más antiguos (Oligoceno según el Proyecto Minero); no se puede excluir la presencia de intrusiones similares por debajo de la cobertura volcánica más reciente también en la zona de estudio.

## 5.2. Rocas volcánicas

Las rocas volcánicas constituyen la gran mayoría de las rocas que conforman el citado basamento, por lo menos en afloramiento. La formación volcánica más antigua que se encuentra en el área de estudio ha sido denominada Canazas por Del Giudice y Recchi (P. Minero de Azuero, 1969).

### 5.2.1. Formación Canazas

La formación Canazas comprende varias unidades litológicamente distintas entre sí. La parte estratigráficamente más baja de la formación parece ser constituida por basaltos de origen fisural que originariamente constituían una meseta lavica de grande extensión según la interpretación de Retana, 1985. Estos basaltos, a menudo columnares, afloran abundantes sobre todo en el nivel de drenaje de la peneplanicie entre S. Francisco y Calobre (por ej. cerca del manantial termal de El Pedregoso). Otros afloramientos se encuentran en la parte baja del escarpe morfológico que separa la zona pedemontana de la Cordillera propiamente dicha; Thomas (1978)

reporta la ocurrencia de varios flujos basálticos con fracturación columnar a lo largo del Río San Juan en los alrededores de la manifestación termal. Una muestra basáltica recogida en el Estudio de Reconocimiento cerca de Guzman dio una edad de  $12.92 \pm 0.23$  M.A.. Arriba de esta unidad se encuentran rocas de distinta naturaleza (de andesítica a andesita basáltica), que en la peneplanicie y en la zona pedemontana constituyen el techo de las colinas basálticas. Varias muestras han sido edades radiométricas entre  $11.95 \pm 0.23$  M.A. y  $12.80 \pm 0.10$  M.A.. El último valor se refiere a una muestra datada para control de una datación efectuada sobre la misma roca por el Proyecto Minero que proporcionó una edad muy distinta de  $17.5 \pm 0.6$  M.A.; esto indica una vez más que las edades radiométricas tienen que ser consideradas con cuidado.

Estas rocas un poco más evolucionadas con respecto a los basaltos, no se originaron probablemente por erupciones fisurales si no más bien por erupciones desde aparatos centrales dotados de una cámara magmática relativamente superficial. Los aparatos volcánicos centrales sobredichos están ahora muy erosionados y solo quedan los restos de las antiguas estructuras. Frecuente es la ocurrencia de espigas (necks) constituyentes la lava consolidada dentro del conducto central del volcán, que es mucho más resistente a la erosión del material circundante.

Muy abundantes en la formación Canazas son también los

depositos piroclasticos tipo tobas arcillificadas y aglomerados rojizos y se senalan tambien niveles volcano-sedimentarios continentales interdigitatos con las volcanitas propriamente dichas los cuales indican, en cierta forma, los principales periodos de inactividad volcanica.

No se han encontrado productos evolucionados y aun si se deberian estar presentes considerado el tipo de volcanismo con alimentacion central, tienen que ser subordinados. El espesor de la formacion Canazes es estimado por Stewart 1977 en mil metros.

Petrograficamente las rocas de la formacion Canazes son lavas porfiricas en las cuales la paragenesis de los fenocristales femicos esta dominada por minerales anhidros.

Los terminos mas basicos (basaltos) presentan solamente olivino y plagioclasa muy basica (bitownita-anortita) mientras en las andesitas basalticas aparece la magnetita y el clinopiroxeno. Las andesitas son siempre caracterizadas por la dominancia de plagioclasa (andesina-labradorita), oxidos y clinopiroxeno y subordinadamente ortopiroxeno a menudo con borde de clinopiroxeno. Las masas fundamentales presentan vidrio en cantidad variable y frecuentemente cloritizado y arcillificado.

Arriba de esta formacion, predominantemente lavica, se encuentra una espesa secuencia constituida principalmente de ignimbritas y tobas llamada Formacion La Yeguada.

#### 5.2.2. Formacion La Yeguada

La Formacion La Yeguada esta ampliamente distribuida en la zona de cumbre de la Cordillera y en su vertientes. Mas hacia el Sur de la Cordillera en la zona pedemontana y en la peneplanicie, las rocas de esta formacion han sido profundamente afectadas por efectos erosivos, conservandose de ellas solo unos pequenos islotes.

Se trata de una espesa serie de piroclasticos constituidos principalmente por cubiertas ignimbrificas, tobas arcilificadas y brechas explosivas con grandes bloques, estratificadas en bancos de grandes espesores, que modelan un paisaje a menudo plano tipo meseta cortado por la tectonica en grandes bloques tiltados.

Estas rocas presentan notables variaciones macroscopicas de aspecto y de litologia pasando por ignimbrificas con tipica estructura eutaxitica hasta tobas medio sueltas, totalmente arcilificadas a parte los cristalitos de cuarzo redondeados.

En el campo las rocas ignimbrificas (tobas soldadas) tienen distintas aparencias. Los tipos mas comunes observados segun Del Giudice y Recchi (1969) son:

- a) Roca de color violaceo, con manchas rosadas y cristalitos visibles de biotita.
- b) Roca de color grisaceo, hasta rojizo per oxidacion meteorica, con evidentes cristales elipsoidales de cuarzo.
- c) Roca de color blancuzco, algo escoriacea al tacto, con cristales de biotita.
- d) Roca de color rosado, con lentes negras de vidrio, que pueden

ser muy grandes.

e) Roca verduzca, vidriosa, con apariencia fluidal.

Productos ignimbríticos, brechas y tobas han sido eruptados, por medio de una actividad intensamente explosiva que se desarrolló en mayoría a lo largo de grandes fisuras abiertas que permitieron la salida en tiempos relativamente breves de enormes cantidades de magma. Hay que subrayar como posiblemente hubo también una actividad central enmarcada por la ocurrencia de estructuras tipo calderas (Retana, 1985 reporta la presencia de un gran caldera en la cuenca de Chitra).

Unas dataciones radiométricas han sido efectuadas sobre muestras de ignimbritas en el Estudio de Reconocimiento; los datos obtenidos indican edades entre  $10.03 \pm 0.3$  M.A. y  $12.84 \pm 0.15$  M.A.

consistentes con una edad de  $12.6 \pm 0.8$  M.A. obtenida sobre una muestra de ignimbrita del área de El Olivo, distrito de Nata, analizada por el Proyecto Minero.

La actividad ignimbrítica entonces se sobrepone en su primera fase a la formación Canazas (Mioceno Medio-Superior) y parece continuar a lo largo de un período de dos millones de años.

Hay que notar que el basamento Terciario, en particular la formación Canazas, está atravesado por numerosos diques de lava andesítica parecida a la que compone la aludida formación.

Unas dataciones de diques muestrados han dado edades de  $11.47 \pm 0.22$  M.A. y  $12.32 \pm 0.16$  M.A., contemporáneas a la edad de la lava citada anteriormente. Esta actividad fisural sugiere la existencia, en la

epoca apuntada, de una tectonica distensiva muy activa e intensa. Segun una hipotesis muy interesante de Retana (1985) la tectonica distensiva final coincide con la actividad volcanica explosiva, mediante la cual fueron expulsados a traves de erupciones lineares principalmente y centrales en menor grado, grandes volúmenes de tobas e ignimbritas que dieron origen a la formacion La Yeguada. Desde un punto de vista petrografico las ignimbritas tienen naturaleza evolucionada de dacitas hasta riolitas; dos grupos principales pueden ser distinguidos:

- rocas porfiríticas caracterizadas por la presencia de fenocristales de plagioclasa acido (andesina), cuarzo abundante y en general redondeado, piroxeno (rara biotite y anfíbol) en una masa fundamental vidriosa recristalizada. Parecen tener una continuidad de composicion petrografica con las andesitas de la formacion Canazas;

- rocas porfiríticas caracterizadas por la presencia de fenocristales de plagioclasa andesinica, abundante biotita, estable piroxeno y anfíbol mientras el cuarzo es muy raro; la masa fundamental es vidriosa y a menudo recristalizada.

En conclusion, se puede notar como el vulcanismo hubo su maximo en el Mioceno Medio-Superior, entre 13 y 9 M.A. y la actividad ignimbrítica marca la fase final del ciclo Miocenico. En el Plioceno el vulcanismo es mucho mas reducido o posiblemente ausente; se pueden atribuir a este periodo algunas estructuras volcanicas que se encuentran arriba de las ignimbritas como el

Cerro San Cristobal y el C. Monte Grande ubicados en el valle del 'Rio Gatu' o que presentan características vulcanológicas aun bastante conservadas como el Cerro Basin, una serie de restos de calderas entre La Montanuela y Huacas de Quije etc. Sin embargo, faltando dataciones radiométricas, su ubicación estratigráfica no esta precisada.

En el Plioceno Superior-Pleistoceno la actividad volcánica se presento' nuevamente, en forma mucho mas reducida, con la formacion de los aparatos mas recientes.

### 5.3. Rocas sedimentarias

En el area de La Yeguada, particularmente en el llano que se halla al Sur de la laguna hasta el lago El Flor, hay depositos sedimentarios lacustrinos constituidos por arenas y silt que provienen prevalentemente de la erosion de las ignimbritas y tobas circunstantes y en menor grado de los depositos piroclasticos de un crater lateral del C. El Castillo (fig. 2). Aluviones son presentes a lo largo de todos los rios mas grandes; naturalmente la importancia de los depositos aluviales esta relacionada con las características morfológicas de las areas en que curren; en zonas cordillerana de fuerte relieve topográfico las aluviones son muy reducidas mientras se vuelven mas extensas y espesas en la region pedemontana.

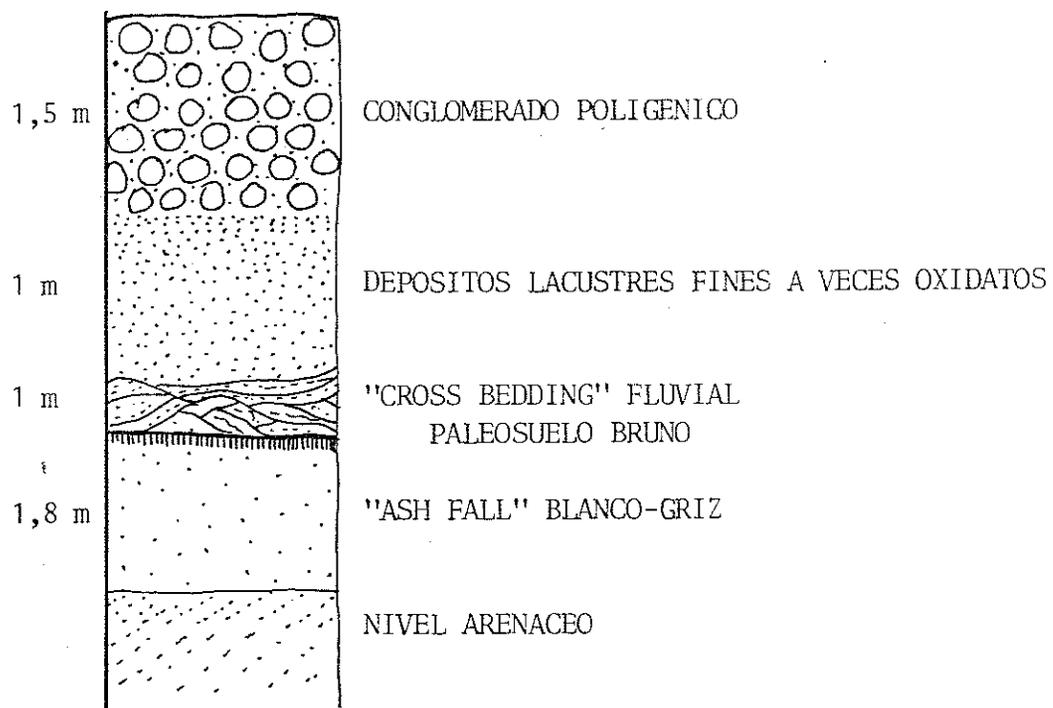


Fig. 2 . SECCION LA YEGUADA

## 6. MARCO TECTONICO REGIONAL

Una actividad tectonica muy intensa ha interesado el area de estudio como se puede notar sea en la morfologia de los relieves sea en el drenaje superficial claramente controlado por fallas y fracturas.

El alineamiento original de la Cordillera Central tiene un rumbo promedio NO-SE (Terry, 1959); esta direccion tectonica de caracter regional es la mas antigua en la zona y ha sido activa hasta el Plioceno Superior (Retana, 1985).

Como notado por Del Giudice y Recchi, (1969) en la Cordillera faltan los pliegues y su formacion es mas bien debida a la acumulacion de grandes espesores de productos volcanicos.

En epocas mas recientes un nueva fase tectonica muy importante ha producido el caracteristico motivo estructural en bloques monoclinales escalonados separados por grandes fallas longitudinales ENE hasta E-O. Este tectonismo afecta la formacion Canazas y, sobre todo, la formacion ignimbrítica La Yeguada donde queda muy evidente debido a sus características litológicas y de emplazamiento.

La forma escalonada en que se desarrolla esta actividad tectonica, con buzamiento hacia el Norte al menos hasta la latitud de la Laguna La Yeguada, propicia la configuracion de pronunciadas zonas de escarpe hacia el lado sur de la cadena.

Este hecho es muy bien evidente en el sector al Oeste de la Laguna donde los bancos tobaceo buzcan unos 10-30 grados hacia el Norte. Al Oeste del C. S. Cristobal el buzamiento es mucho mas marcado (mas de 45 grados). mientras al Este se vuelve mas suave hasta sub-horizontal, en los alrededores de La Yeguada. A la latitud de 8 grados 27', mas o menos, la situacion estructural cambia radicalmente siempre hablando del lado oriental del area: en correspondencia del Cerro S. Cristobal, del Cerro Monte Grande, del curso del Rio Barrero Grande a E y del Rio Pescara a O se halla un accidente tectonico muy importante con direccion cerca E-O. Al Norte de este alineamiento las tobas ignimbrificas no tienen mas buzamiento hacia el Norte si no en general hacia el Sur y Sur-Oeste (fig. 3). En efecto el marco estructural de esta area es mucho mas complejo que en el area meridional y las ignimbrificas estan cortadas en numerosos bloques tiltados tambien hacia el Oeste y el Este.

Los sistemas de fallas secundarios al anterior estan muy bien marcados en el area y tienen alineaciones NO-SE y en menor grado N-S. El sistema principal y los secundarios a el, parecen contemporaneos (Retana, 1985) y su conjunto configura una red tectonica muy densa.

En la base sur de la Cordillera Central se refleja, en forma no muy clara, un sistema de fallas regionales de orientacion franca E-O.

Una gran falla de rumbo paralelo se halla en la zona de Chitira a

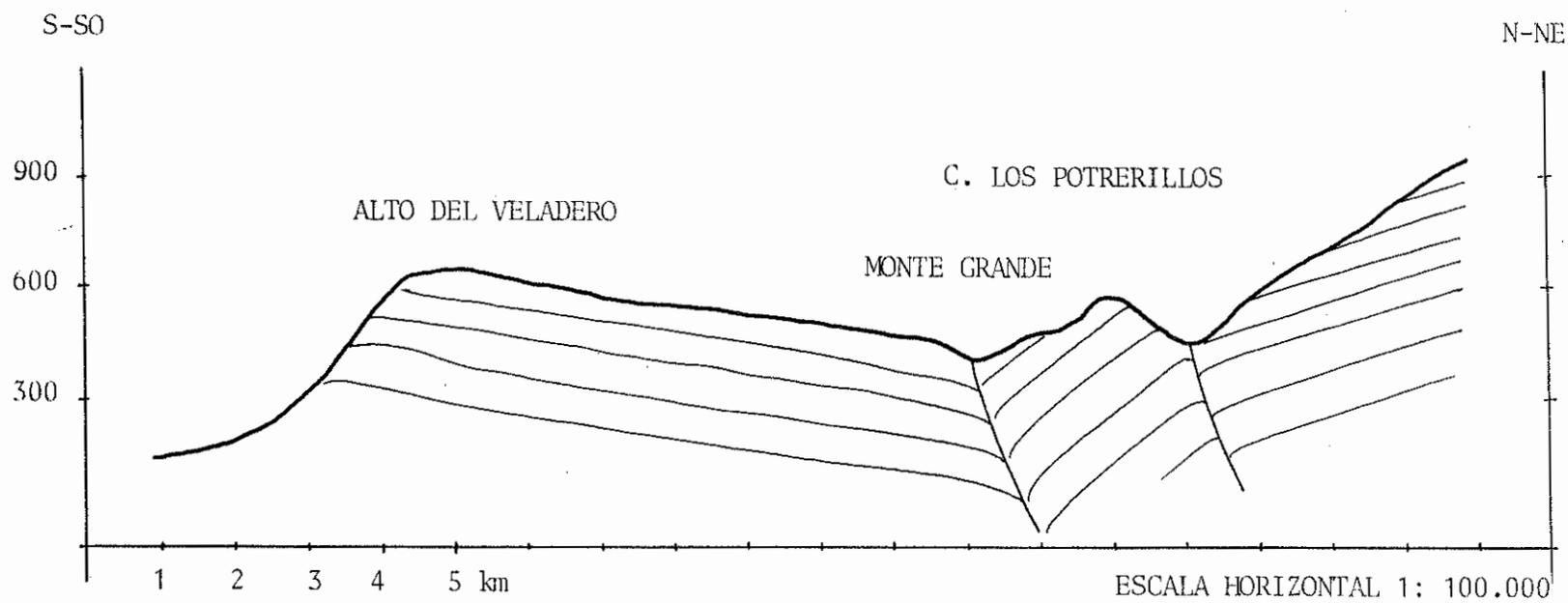


Fig. 3. ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LAS IGNIMBRITAS AL OESTE DE LA LAGUNA

lo largo de la Quebrada Media Luna.

El estudio de imagenes LANDSAT desarrollado con el decisivo contributo de E. Almeida ha permitido de reconocer unos lineamientos tectonicos de grande escala muy importante que se cruzan en correspondencia del Cerro El Esquinado al NO de Calobre (fig. 4):

- a) lineamiento con rumbo NO-SE que corre del valle de Santa Fe (Cordillera Central) hasta el Golfo de Parita enmarcando la morfologia de la costa Oriental de la Peninsula de Azuero.
- b) lineamiento con rumbo ENE-OSO que corre de Churubre' (distrito de Nata') hasta Las Palmas y el Rio Tabasara'. Del Giudice y Recchi, (1969) señalan una falla mas o meno paralela considerandola una falla longitudinal relacionada con la division continental.
- c) lineamiento NNE-SSO de menor longitud y menos importante que corre de La Yeguada hasta un poco al Sur de El Esquinado.

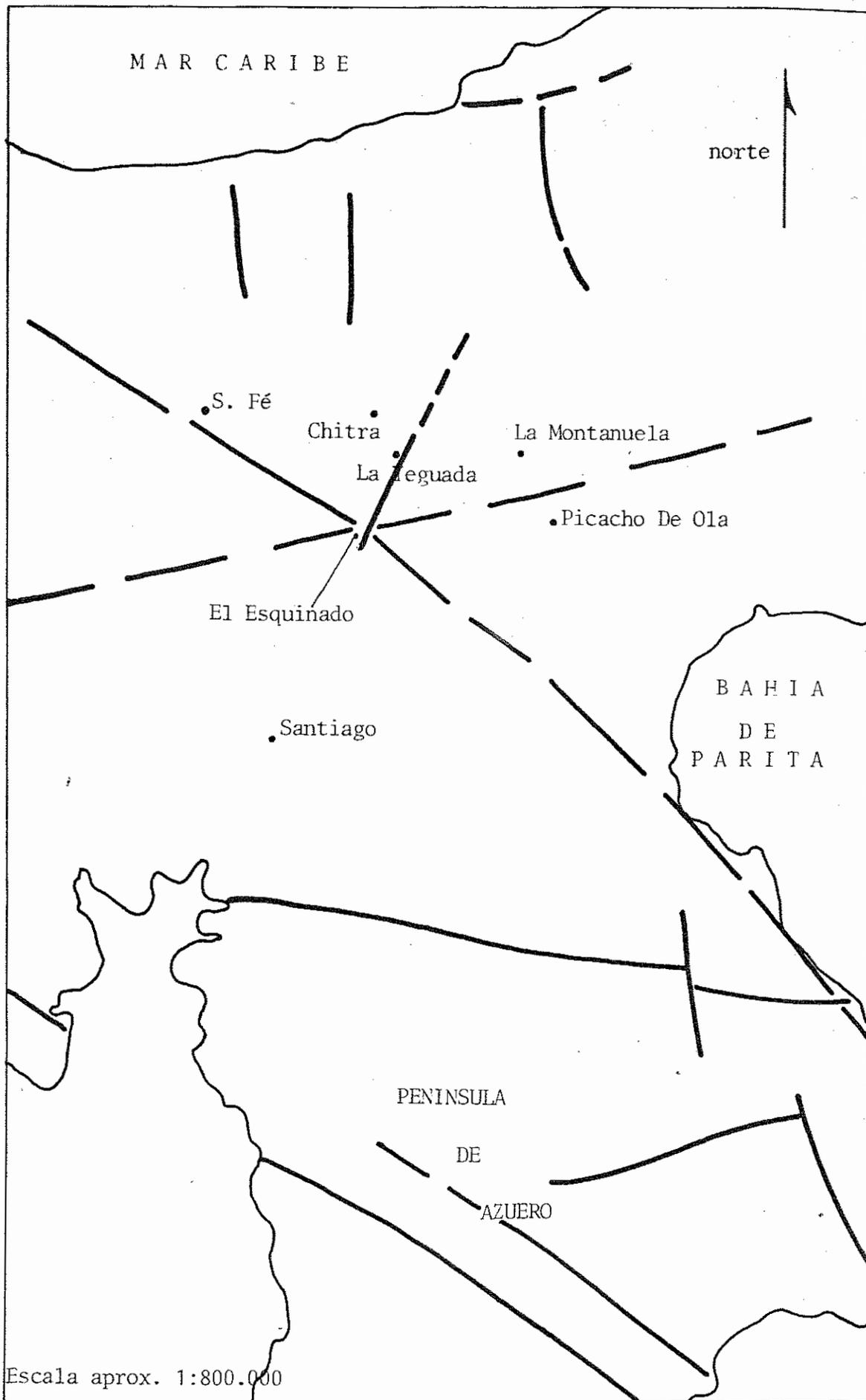


Fig. 4 . INTERPRETACION DE IMAGENES LANDSAT. PRINCIPALES LINEAMIENTOS

## 7. VULCANISMO PLIO-CUATERNARIO

El vulcanismo de época reciente en el área de Chitira-Calobre está representado por pequeños aparatos que se alinean en dirección Este-Oeste a lo largo de la vertiente meridional de la Cordillera Central. Solo un pequeño cono con flujos lavicos asociados se localiza muy próximo al eje de cumbres de la citada cadena.

El vulcanismo de la vertiente meridional de la Cordillera se caracteriza por su pequeño volumen, su carácter en predominancia ácido y su naturaleza central; está representado por los pequeños aparatos: El Castillo, El Picacho de Ola', El Esquinado, La Montañuela y, posiblemente, el S. Andrés.

Los aparatos citados están arealmente aislados unos de otros.

El vulcanismo localizado próximo al eje de cumbres lo representa un solo centro eruptivo aislado denominado La Media Luna, el cual consiste en un muy pequeño cono de escorias con unos flujos lavicos de carácter basáltico.

La actividad volcánica aludida se desarrolla a partir del Plioceno Superior y finaliza en época sub-actual con la implantación de La Media Luna.

#### 7.1. El Picacho de Ola' y Cerro Guacamaya

Estas dos estructuras volcanicas se encuentran ubicada en la peneplanicie de Nata' en el sector Sur Oriental del area.

Estan implantadas aisladamente sobre la formacion Canazas de edad Mioceno Medio-Superior.

El Picacho de Ola' esta constituido principalmente por los restos de un domo de naturaleza dacitica con fenocristales de plagioclasa zonado, orneblenda oxidada y escasa biotita en una matriz recristalizada. La lava del domo segun analisis radiometricas tiene una edad de  $1.72 \pm 0.28$  MA y presenta una forma de erosion muy particular caracterizada por profundos canones verticales que marcan el intenso tectonismo que la ha afectada. Apoyados sobre el flanco meridional del domo se nota la presencia de bancos de material piroclastico y coladas intemperizadas que sugieren como la estructura sea mas compleja de lo que se habia estimado. Sin embargo de este material volcanico muy poco queda siendo casi totalmente erosionado.

Al Nor Oeste del Picacho se halla el Cerro Baron, un centro volcanico mucho mas viejo y desgradado formado por tobas argilitizadas y escasas lavas; sus relaciones con el Picacho no estan bien claras pero podria representar la fase antigua de la actividad volcanica en el area que sucesivamente se desarrollo con

la formacion del domo mismo.

El Cerro Guacamaya se ubica unos dos kilometros al Sur Este del Picacho de Ola' siendo separados por la quebrada El Espino. Esto tiene una forma alargada E-O con dimensiones de 4-5 km de largo y 2 km de ancho. Su apariencia es un poco mas vieja del Picacho y se puede ver como esta' formado sea por domo(s) acidos sea por tobas y coladas lavicas de color rojizo a testimoniar su intensa alteracion e intemperizacion. Unas lavas probablemente de domos de naturaleza evolucionada (dacita?) se presentan totalmente metasomatizadas por actividad fumarolica que produjo una recristalizacion completa de la roca original con deposicion de zeolitas y silice.

#### 7.2. Cerro S. Andres

El Cerro S. Andres se halla cerca 3 kilometros al NO del pueblo de Calobre en la zona de colinas al pie' del gran escarpe morfologico meridional de la Cordillera Central. Este aparato esta constituido por un recinto craterico (o calderico) principal de 1.5 km de diametro abierto hacia SO cuyo borde se eleva de unos 180 m de el area circunstante; otro resto de mucho mas pequeno crater se encuentra a NE del primero en correspondencia del caserio Guayabito.

Considerando el estado de conservacion de estas estructuras que son bastante desgradadas, su edad pareceria mas antigua de la de los aparatos que estamos tratando en este capitulo.

Por lo contrario, las rocas que lo componen parecen bien conservadas así quedando una duda sobre su edad; lastimosamente no hay dataciones absolutas que puedan confirmar su edad real. Aquí lo estamos considerando Plio-Pleistoceno particularmente por lo que se refiere a la frescura de los pomez de sus depósitos piroclásticos. En las carreteras Calobre-Monjaras y Calobre-El Esquinados se encuentran cortes piroclásticos muy interesantes (fig. 5).

La secuencia empieza con un espeso "flow" punitico con pomez de diametro hasta 20 cm en matriz arenacea; petrograficamente la pomez es una dacita porfirica por plagioclasa (labradorita oligoclasio) y orneblenda verde con pequenas inclusiones de biotita y magnetita. Arriba de esto "flow" se encuentra una serie de delgados depósitos de caída constituidos por arenas de varia granulometria y ceniza que culminan con un muy delgado nivel de "surge" piroclastico arenaceo de color amarillo clasificable por sus características como "surge" seco. La erupcion termina con otro flujo punitico poco soldado con pomez de pequeno diametro y puede ser interpretada, en su conjunto, de la siguiente manera:

- primera fase de actividad puramente magmatica y fuertemente explosiva representada por el flow basal;
- erupciones explosivas de pequena intensidad con deposición de ceniza y arena;
- erupcion explosiva freatomagmatica de grande violencia representada por el surge sobrecitado ocurrida por interaccion del

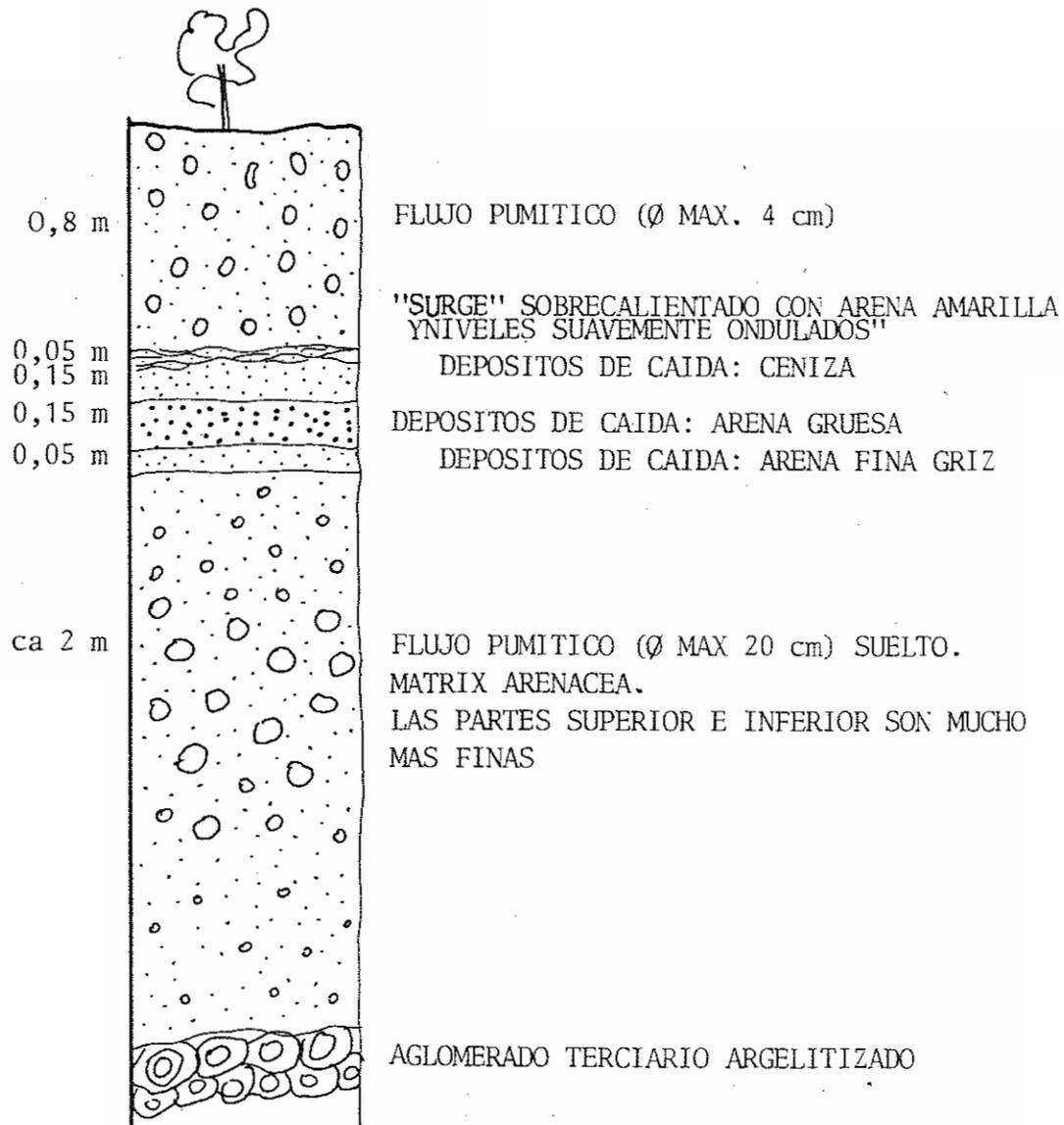


Fig.5 . SECCION DEPOSITOS PIROCLASTICOS C. SAN ANDRES (0,5 km O DE CALOBRE, CARRETERA CALOBRE-ESQUINADO)

magma con un acuífero profundo;

- erupción final magmática (o con pequeño contributo freático) señalada por el último flujo pumítico medio soldado.

La aludida interpretación queda confirmada por el estudio petrográfico del depósito de surge que está integrado por fragmentos de pomez fresca (magma juvenil) y fragmentos de líticos alterados frecuentemente en epidota (acuífero) en una matriz vidriosa; la ocurrencia de epidota en las rocas que constituyen el acuífero indica alta temperatura (más de 200 C) para los fluidos circulantes.

La falta de información segura sobre la edad de este piroclástico que, a lo mejor, podría ser del Pleistoceno Inferior, limita pero su interés geotérmico.

El Cerro San Andrés, a parte los depósitos piroclásticos descritos cuyos afloramientos son fuertemente erosionados y reducidos, está constituido por una serie de flujos lavicos de naturaleza andesítico-basálticas con abundante plagioclasa (bitownita-labradorita) y menor augita, ortopiroxeno, magnetita y raros cristales totalmente alterados de olivina. En la zona de cumbre se ha encontrado una lava ácida muy alterada.

### 7.3. El Esquinado

El centro volcanico El Esquinado se localiza un poco al NO del Cerro S. Andres inmediatamente al pie' de la meseta ignimbrtica de la Cordillera . Su caracteristica principal es la presencia de un domo acido, el Cerro El Esquinado mismo, que tiene una morfologia de erosion muy parecida a la del Picacho de Ola'. El domo que se eleva de cerca 150 m sobre la peneplanicie circunstante y tiene un diametro aproximado de 1 km esta, formado por una lava dacitica porfiritica con fenocristales de plagioclasa, orneblenda verde muy abundante y escasa biotita mientras la masa fundamental originariamente vidriosa ahora queda totalmente recristalizada; en el curso del Estudio de Reconocimiento ha sido analizado con el metodo radiometrico K/Ar obteniendo una edad de  $1.87 \pm 0.23$  MA, a decir muy parecida a la del Picacho de Ola'.

En el lado septentrional del domo se reconoce todavia un recinto craterico o calderico de pequena elevacion y diametro constituido por tobas argilitizadas y lavas andesitico-basalticas muy porfiriticas por plagioclasa basica, augita y escaso hiperstena con borde augitico. La sobremencionada estructura es interpretada como los restos erosionados del estrato-volcan primitivo cuya fase de actividad final produjo el empujamiento del domo acido.

Como ya notado en el capitulo del tectonismo, en correspondencia de El Esquinado se cruzan tres lineamientos regionales distensivos de

gran importancia que podrian explicar su ocurrencia en este determinado lugar.

#### 7.4. La Montanuela

El volcan La Montanuela se destaca de los descritos anteriormente para ser ubicado a una latitud mas septentrional y para ser mucho mas complejo como historia y evolucion. Este se localiza en el sector oriental del area de estudio al Este del pueblo de Huacas de Quije en la zonas de cerros y colinas onduladas que enmarcan la transicion entre la planicie y la cordillera; esta implantado sobre la formacion Canazas mientras anchos afloramientos de ignimbritas de la formacion la Yeguada lo rodean.

Se trata de un aparato volcanico compuesto representado por un pequeno cono truncado que aloja en su interior una depresion calderica de unos dos km de diametro. La base del cono tiene un diametro aproximado de 3 km mientras sus productos piroclasticos y lavicos cubren un area mas ancha; en el lado occidental y sur-occidental se reconocen los restos de una serie de recintos caldericos mas antiguos fuertemente erosionados y constituidos por lavas y tobas argilitizadas.

La primera fase de actividad de La Montanuela es representada por la efusion de lavas basalticas porfiricas con fenocristales de plagioclasa basica (a menudo con nucleos anortiticos) abundante olivino y, en menor cantidad, augita; la masa fundamental es

tipicamente intergranular. Sucesivamente, a medida que se iba formando una cámara magmática superficial, las lavas eruptadas asumen características más evolucionadas, de andesitas basálticas constituidas por plagioclasa bitownítica, augita, hiperstena con borde augítico y magnetita mientras el olivino desaparece totalmente. El ciclo eruptivo inicial produjo en mayoría lavas siendo los piroclásticos subordinados; de esta manera se formó el antiguo estrato volcán cuyos restos erosionados son bien observables en el lado SurOriental de la estructura.

La actividad continuó con la efusión de lavas mucho más evolucionadas de naturaleza dacítica que formaron probablemente domos y domo-coladas y afloran actualmente en la Quebrada Agua Caliente y al Cerro Luisa. No se han encontrado productos intermedio tipo andesita y/o andesita ácida.

Estas dacitas petrográficamente son rocas porfíricas con abundante plagioclasa zonada (labradorita-andesina), orneblenda verde a veces con pequeñas inclusiones de biotita y magnetita, escaso cuarzo de forma redondeada y magnetita en una matriz vídriosa en origen y ahora completamente recristalizada en un agregado microcristalino feldespático.

Una datación radiométrica K/Ar practicada en una muestra de estas lavas aporta una edad de  $2.43 \pm 0.27$  MA.

Después de un intervalo muy corto se produjo el colapso calderico; los productos de la erupción que lo causó, muy probablemente depósitos piroclásticos, no fueron observados en el área por lo

cual es de suponerse hayan sido erosionados.

Una nueva fase de actividad se presento' despues de la formacion de la caldera siendo caracterizada por el emplazamiento del pequeno aparato cerro Montanuela al interior de la depresion calderica misma. Se trata de un cono en gran parte piroclastico con una pequena forma craterica sumital; sus erupciones explosivas depositaron una cantidad de material constituido por bombas en corteza de pan y bloques de naturaleza dacitica muy parecidos a las lavas descritas anteriormente y por un deposito hidromagmatico masivo de ceniza blanquiza espeso mas de 1 m que testimonia de la interaccion del magma con el agua de un antiguo lago que ocupaba el fondo de la caldera. Este deposito se encuentra distribuido al interior y en los inmediatos alrededores de la estructura. El volumen estimado de los productos diferenciados es de 1.5-2 km cubicos.

No se puede definir con precision la edad de la ultima fase eruptiva, pero sus caracteristicas generales y la naturaleza de los productos la identifican como la fase final de la evolucion del volcan es decir su edad tiene que ser vecina a la de los domos o sea bastante antigua.

Sobre el aparato La Montanuela se ha desarrollado un estudio petrologico de detalle para la definicion de sus parametros evolutivos y magmatologico que sera' sintetizado en un capitulo sucesivo junto a uno similar sobre El Castillo.

## 7.5. El Castillo

El aparato volcanico El Castillo se ubica al Este de la laguna La Yeguada mientras su base oriental esta banada por las aguas del Rio Chico. Los lados opuestos llegan: el meridional hasta la zona ondulada de colinas cerca de Calobre, el Septentrional casi hasta la zona de cumbre de la Cordillera cubriendo asi' una superficie de mas de 90 kilometros cuadrados. La elevacion maxima es de mas de 1200 m s.n.m. asi que queda morfologicamente muy evidente en comparacion con las zonas circunstantes. El Castillo esta circundado por las ignimbritas Terciarias de la Formacion La Yeguada en manera continua al Norte y al Oeste, en manera discontinua, como pequeno islotes, al Sur y al Este.

### 7.5.1. Actividad antigua

La parte mas antigua y mucho mas grande como volumen forma un "horst" volcano-tectonico alargado NO-SE segun Retana (1985). La actividad volcanica inicial, implantada sobre fallas paralelas a las que conforman la estructura citada, ha sido caracterizada por la efusion de flujos lavicos en gran mayoria de naturaleza andesitica aun si estan representadas tambien rocas mas basicas (basalticas). Extensos afloramientos de estos productos se encuentran en la parte meridional del Castillo cerca de los pozos termales de Calobre, en los alrededores del Cerro El Cortado y a lo

largo de la carretera del rio La Guías a Juan Lucas (Cerro Alto y la Pedregosita). Petrográficamente son porfiríticas por plagioclasa fuertemente zonada (bitownita-andesina), augita, hiperstena, orneblenda común y abundante magnetita en una matriz de microlitos con textura intersertal; hay terminos menos evolucionado sin anfíbol. Una datación con el método K/Ar de una muestra de esta fase de actividad arrojó una edad absoluta de  $12.17 \pm 0.17$  MA o sea correspondiente a la de la Formación Canazas.

En efecto, como ya mencionado, El Castillo era en el Mioceno Superior-Plioceno Inferior uno de los volcanes centrales que integraban la Formación Canazas. Algunas formas circulares localizadas entre el Cerro El Cajón y el Cerro El Cortado podrían ser restos de crestas caldericas o de amplios crateres posiblemente relacionados con esta fase de actividad.

Numerosos diques andesíticos cortan el edificio antiguo del Castillo con dirección E-O y ENE-OSO.

Después de un cierto periodo de inactividad se reinició una fase volcánica con características totalmente nuevas. En esta ocasión la actividad se centralizó en la parte alta del Castillo con la emisión de voluminosos flujos ignimbríticos muy evolucionados y densos que bajaron de centros ubicados cerca del Cerro Novillo en particular hacia Este (Río Chico). Las características de estas ignimbritas fundidas son muy parecidas a las de lavas ácidas muy porfiríticas así que pueden ser equivocados. Afloramientos se

encuentran en toda la vertiente oriental del Castillo y al interior del crater donde aparecen las volcanitas recientes.

Petrograficamente se trata de ignimbritas rioliticas y riodaciticas a menudo eutaxiticas con fenocristales de magnetita esporadicamente de augita, restos totalmente metasomatizados de femicos (anfíbol, biotita ?), fragmentos de pomez alargados, liticos en una matriz vidriosa a menudo recristalizada. El analisis radiometrico K/Ar de una muestras de estas rocas arrojó una edad de  $9.00 \pm 0.25$  MA.

Se puede razonablemente hipotizar que la fase ignimbrítica del Castillo corresponde a la fase ignimbrítica Terciaria que produjo la Formación La Yeguada en cuanto las edades radiométricas son comparables así como sus características petrográficas.

En efecto algunas de las ignimbritas que constituyen la Yeguada pueden haber sido originadas del Castillo.

Para concluir, la parte antigua del aparato está integrada a las formaciones Terciarias (Canazas y la Yeguada) de la zona de las cuales forma un "horst" relevado con características estructurales y morfológicas particulares.

De incerta ubicación es el Cerro Picacho separado del Castillo por el valle de S. José. Se trata de una serie de domos y/o de "necks" de naturaleza dacítica porfíritica por plagioclasa zonada ácida, orneblenda común, magnetita, escaso cuarzo y trazas de biotita en una matriz recristalizada cuarzo-feldespática. Su aspecto no parece tan viejo como las formaciones antes descritas y tampoco joven como

la que vamos a describir en seguida así que posiblemente se podría datar a un periodo intermedio entre los dos.

Un discurso muy parecido se puede hacer por el pequeño cráter explosivo que se encuentra en la vertiente Occidental del Castillo sobre el llano de La Yeguada. Sus productos piroclásticos alterados y en gran parte finos sugieren una actividad freatomagmática de importancia muy limitada.

#### 7.5.2. Actividad Reciente

La actividad volcánica tuvo nuevamente una larga recesión y vuelve a aparecer solo en época muy reciente mediante el implantamiento de algunos domos los cuales muestran también evidencia de una cierta explosividad.

Esta actividad es muy limitada como volúmenes y queda localizada en el sector Septentrional del aparato en correspondencia de un cruce de importantes fallas con rumbo NNO, ENE y NO.

Los domos son representados por el Cerro Corero de la Charca (constituido por dos domos) y presentan un pequeño cráter de explosión en su lado Sur-Occidental; los productos piroclásticos, constituidos por depósitos de flujo tipo "nube ardiente", se encuentran en la pequeña depresión calderica (1.5 km de diámetro) limitada por el Cerro El Castillo y el Cerro Novillo. Estos últimos depósitos siendo monolitológicos, o sea constituidos por bloques y fragmentos de litología común, en una matriz soldada de igual

naturaleza son interpretados como originados por la explosión de los domos durante la fase de emplazamiento.

Se reconocen dos niveles fundamentales: un primero más espeso (más de 12 m) con grandes bloques angulares de domos en matriz arenacea soldada (tipo brecha) cubierto por otro mucho más fino pero similar como litología (fig. 6).

Petrograficamente se trata de lavas dacíticas y riódacíticas porfiríticas (domos y piroclásticos) caracterizadas por fenocristales de plagioclasa ácida, orneblenda común, escasa biotita, cuarzo e hidroxidos en una masa fundamental vídriosa. En un espécimen de lava de un domo se ha mostrado un inlcuso basáltico de naturaleza filoniana, compuesto principalmente por anfíbol verde y plagioclasa andesínica; el estudio en microscopía electrónica EDS de este inlcuso ha permitido de reconocer la presencia de feldespato potásico en la matriz y la naturaleza alcalina del anfíbol así que ha sido clasificado de afinidad alcalina muy distinta de la de los dacitas que pertenecen a una serie calcoalcalina.

Las muestras del piroclástico de grano fino no presentan indicios de alteración hidrotermal.

El volumen del material diferenciado eruptado ha sido estimado en 0.5-1 km cúbicos. Una datación K/Ar sobre un bloque dacítico de los domos arrojó una edad de  $0.22 \pm 0.04$  MA.

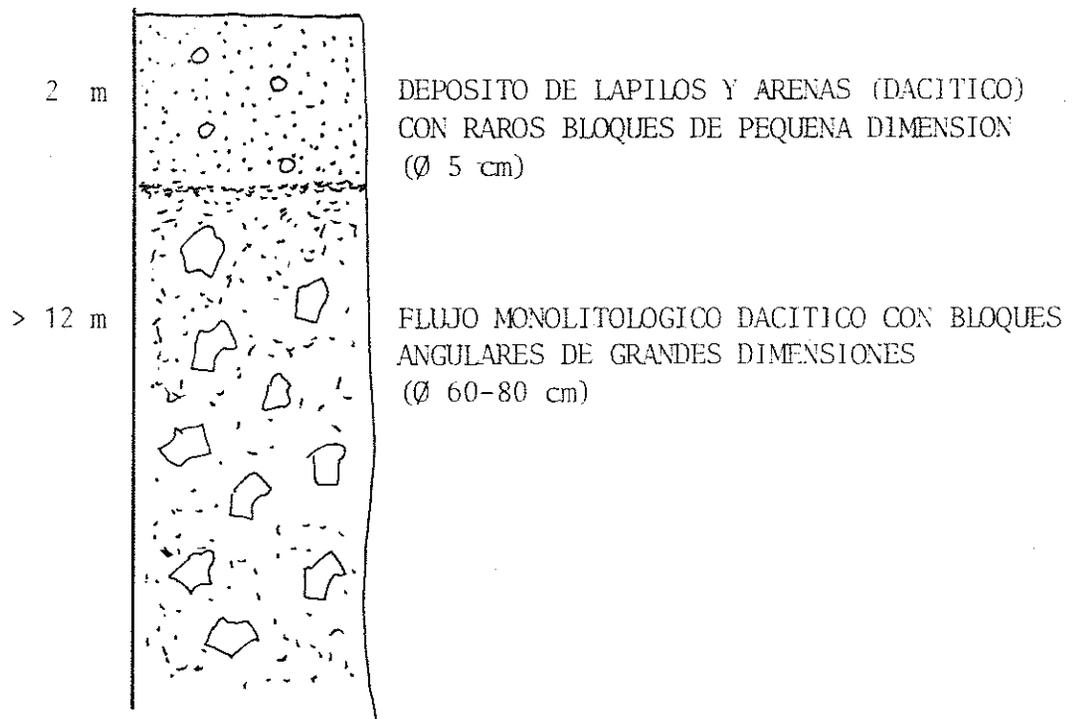


Fig.6 . SECCION PIROCLASTICO RECIENTE DEL CASTILLO - QUEBRADA CALLEJON

En resumen el aparato El Castillo representa el centro volcanico evolucionado mas reciente del area Chitra-Calobre y, aun si los volumenes eruptados son pequenos, puede constituir una interesante zona de anomalia termica superficial considerando como ha sido activo periodicamente por largo tiempo. Ademas se puede hipotizar que los productos acidos recientes representen la manifestacion superficial de una intrusion magmatica no muy profunda bajo enfriamiento.

#### 7.6. La Media Luna

Este pequenisimo aparato esta' localizado al interior de una depresion interpretada como calderica por Retana, (1985) y perteneciente a un antiguo volcan Terciario. Consiste en un cono de escoria y lapilli de unos 200 metros de base por unos 70 metros de altura. El cono presenta dos crateres: uno de ellos esta' abierto hacia el Oeste y de el fueron emitidos unos flujos de lava que fluyen por unos 3 km, siguiendo el cauce de la Quebrada con el mismo nombre. Las coladas alcanzan unos 200 metros de ancho maximo y presentan un espesor promedio de dos metros. El otro crater se localiza inmediatamente al Este del anterior, y a traves de el tuvo lugar exclusivamente una actividad explosiva.

Una muestra datada por el metodo radiometrico K/Ar, acusa una edad menor de 100,000 anos (limite inferior del metodo por el

contenido en K de la muestra). Sin embargo, basados en el buen estado de conservacion, tanto de la estructura volcanica, como de los productos piroclasticos y efusivos, se estima que la edad de estos productos es de epoca subactual representando asi' la ultima erupcion del area Chitra-Calobre.

El aparato se situa en correspondencia de un cruce de varias fallas de diferente orientacion. La mas importante parece la de rumbo Este-Oeste pero hay tambien direcciones N-S, NO y NE.

Por lo tanto, la actividad volcanica de este centro esta correlacionada con una intensa tectonica distensiva de epoca muy reciente que permitio' la subida de magma profundo a lo largo de una zona de grande debilez estructural.

Petrograficamente los productos emitidos por la Media Luna son totalmente distintos de los descritos anteriormente; se trata de basaltos olivinicos con estructura porfiritica y fenocristales de olivina y clinopiroxeno augitico mientras la plagioclasa basica esta presente solo en la masa fundamental junta a oxidos opacos y raros cristalitos de orneblenda comun.

La naturaleza muy primitiva de este magma confirma su procedencia directa desde reservorios profundos a traves de fallas distensivas importantes que han cortado la corteza hasta niveles profundos del manto.

Esta interpretacion limita fuertemente el interes geotermico del area desde el punto de vista de la anomalia termica.

## 8. QUIMISMO DE LAS ROCAS Y EVOLUCION MAGMATICA DEL VULCANISMO

La evolucion magmatica del vulcanismo en el area Chitra-Calobre desde el Mioceno Medio hasta el Pleistoceno Superior puede ser descrita de la siguiente forma.

### 8.1. Fase Terciaria Miocenica

Como ya mencionado la actividad volcanica Miocenica ha sido de dos tipos principales: la que parece mas antigua de caracter predominantemente efusivo con emision de flujos lavicos de naturaleza basaltica y andesitica con subordinados episodios explosivos marcados por la presencia de tobas argilitizadas; la que parece mas joven de caracter predominantemente ignimbrítico con la erupcion de voluminosas cubiertas ignimbríticas y tobas de naturaleza muy evolucionada: dacitas hasta riolitas.

Los productos de este vulcanismo presentan un ancho campo de variacion de basaltos hasta riolitas en aparente continuidad geoquimica.

De estos han sido analizadas 11 muestras para la determinacion de los elementos mayores (Informe Petrografico IRHE-BID-OLADE, 1985). Todas la rocas analizadas en base al diagrama alcali vs silica (fig. 7) plotan en el campo de las asociaciones sub-alcalinas pero

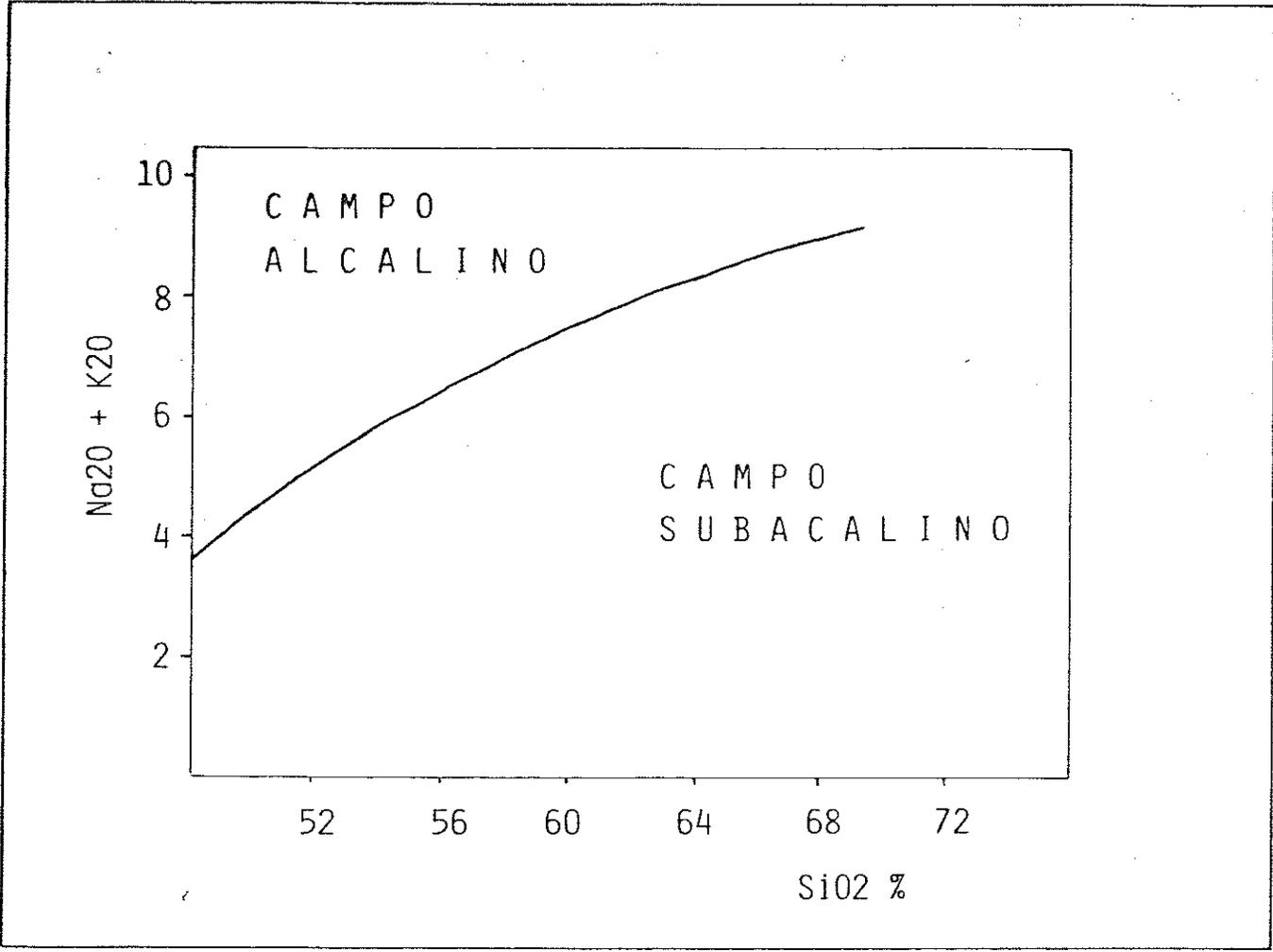


DIAGRAMA CLASIFICATIVO PARA ROCAS VOLCANICAS  
(de IRVINE & BARAGAR, 1971 Can. Jour. Earth Sc., v.8)

FIG. 7 A

## ESPLICACION DE LOS SIMBOLOS

- VOLCANITAS TERCIARIES
- ◆ CERRO LA MONTANUELA
- ◇ CERRO EL CASTILLO
- ▲ CERRO SAN ANDREAS
- △ CERRO EL ESQUINADO
- ▣ CERRO PICACHO DE OLA'
- CERRO PICACHO
- CERRO MEDIA LUNA

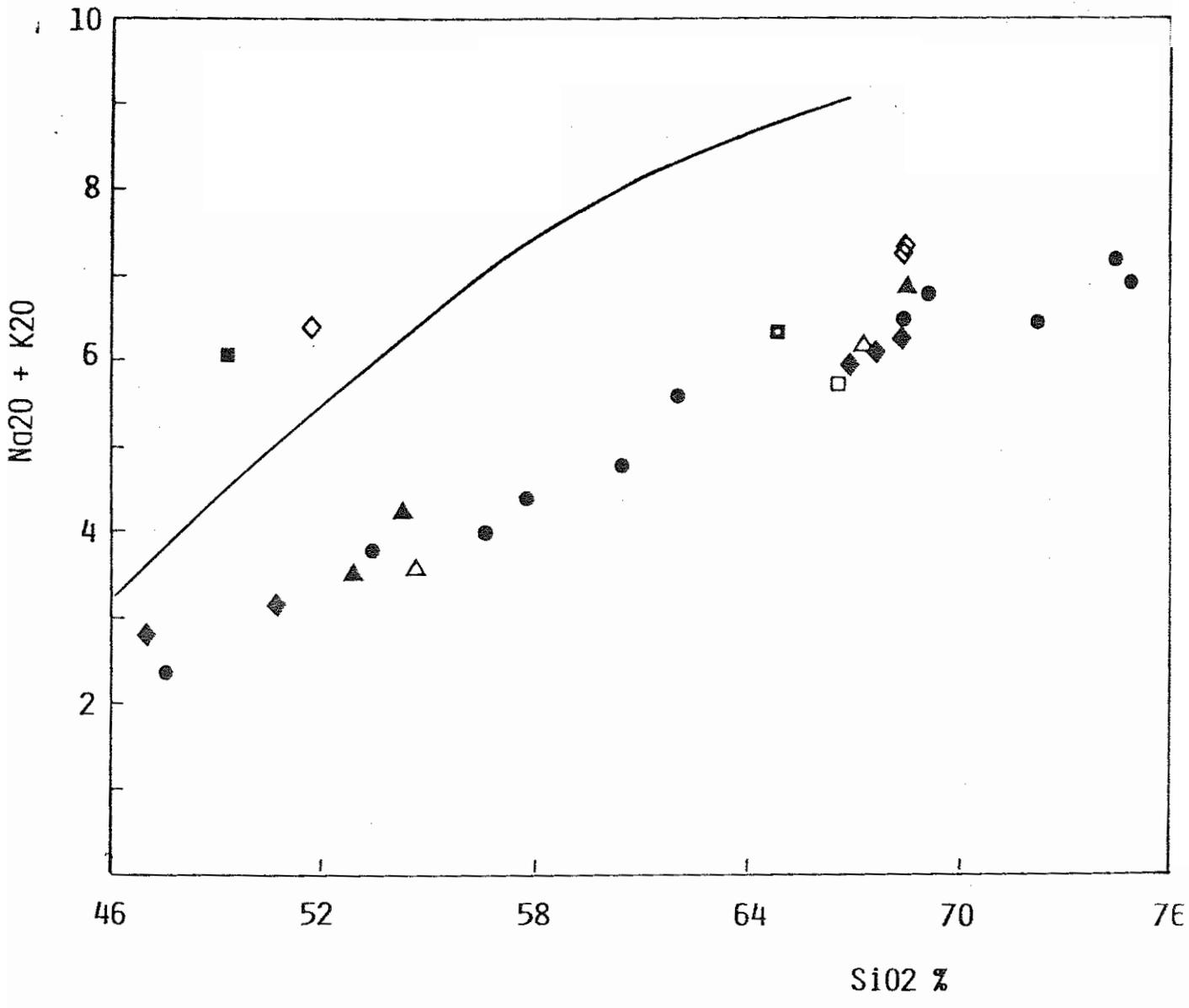


FIG. 7 B

su afinidad es intermedia entre la calco-alcalina y la tholeiítica. Esto se puede apreciar en el diagrama FeO tot/MgO (fig. 8), donde todas caen en el campo tholeiítico a excepción de las dacitas y en el diagrama AFM (fig. 9) caracterizado por un marcado enriquecimiento en hierro en los terminos intermedios. En el esquema clasificativo de las series calco-alcalina (fig. 10) se nota el bajo contenido en K<sub>2</sub>O de los productos estudiados tanto que plotan en el limite entre serie tholeiítica y serie calco-alcalina normal a parte unas dacitas-riolitas con abundante biotita.

La variación de los elementos mayores en función de la sílice es continua y refleja la cristalización de los varios minerales en buen acuerdo con la mineralogía efectivamente observada confirmando así un común origen genético de las diferentes rocas a través de procesos de diferenciación por cristalización fraccionada.

En resumen se puede concluir que el vulcanismo Miocénico Medio-Superior es dominado por productos calco-alcalinos bajos en K<sub>2</sub>O caracterizados por un "trend" evolutivo intermedio entre la serie tholeiítica de arco y la calco-alcalina normal. De este marco general se destacan algunos terminos muy evolucionados (siempre ignimbritas) con abundante biotita que se interpretan como productos final de una evolución particularmente avanzada correlacionada con situaciones geo-vulcanológicas locales.

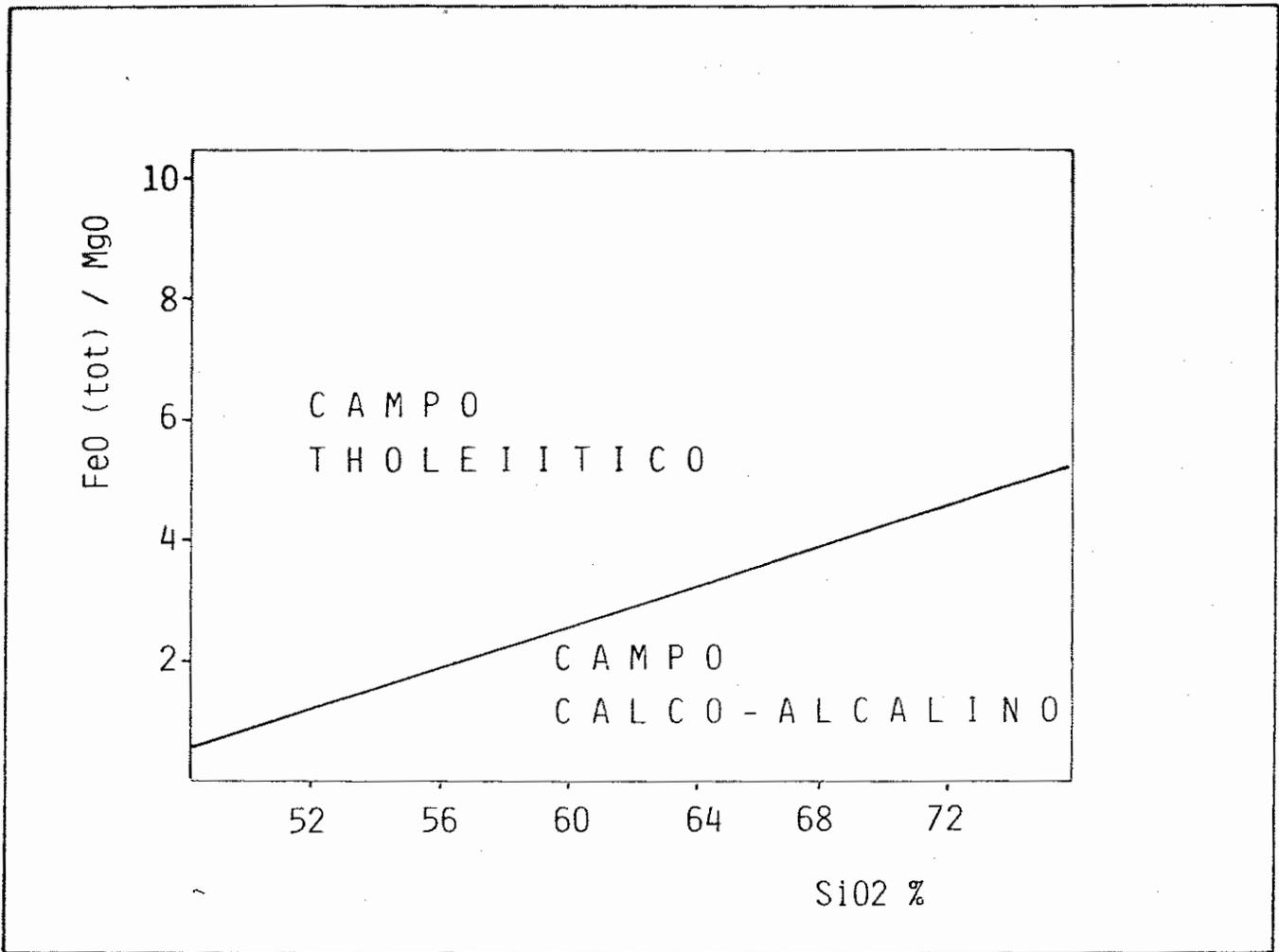


DIAGRAMA CLASIFICATIVO PARA ROCAS VOLCANICAS  
 (de MIYASHIRO, 1974 Am. Jour. Sc., v.274)

FIG. 8 A

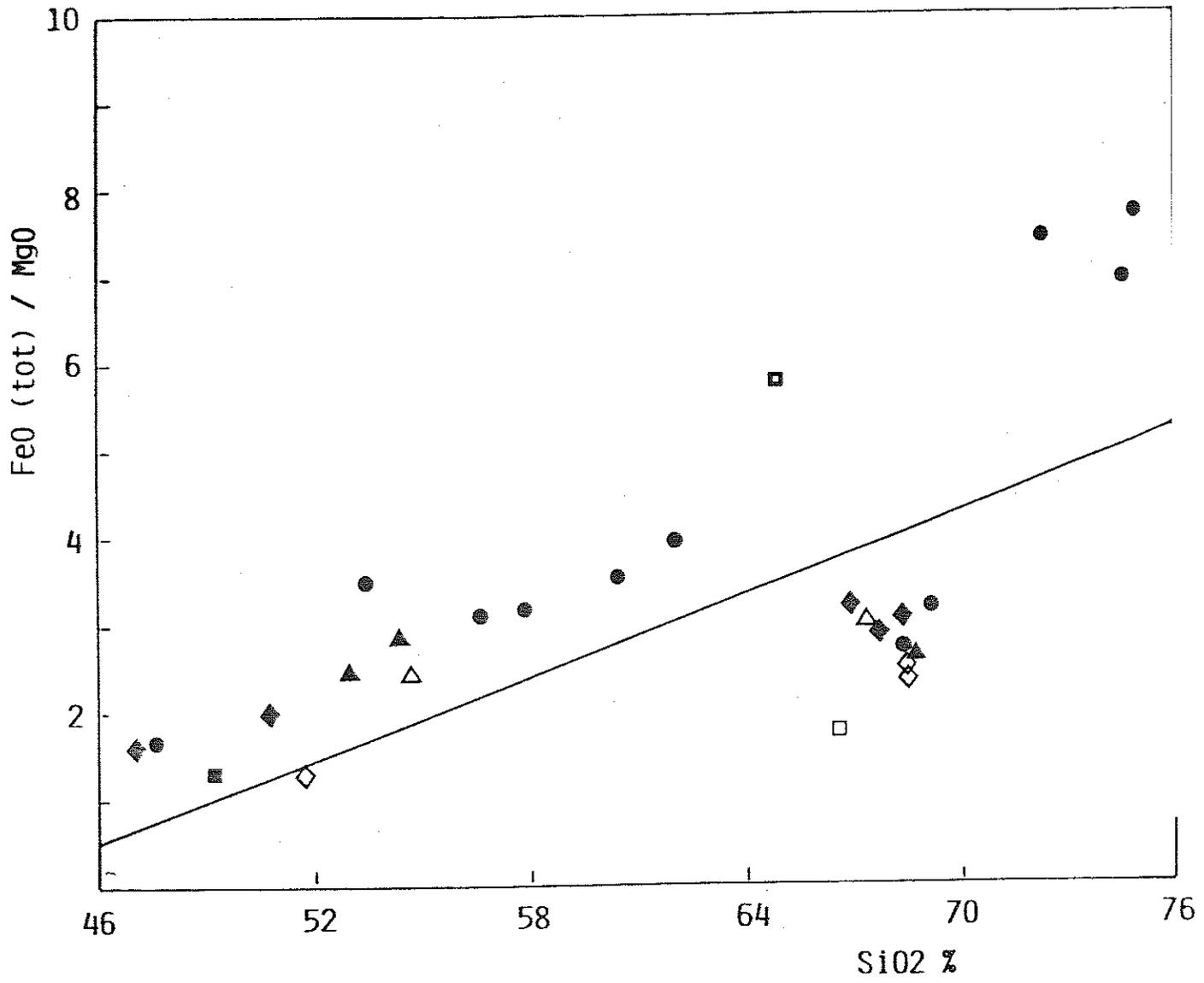


FIG. 8 B

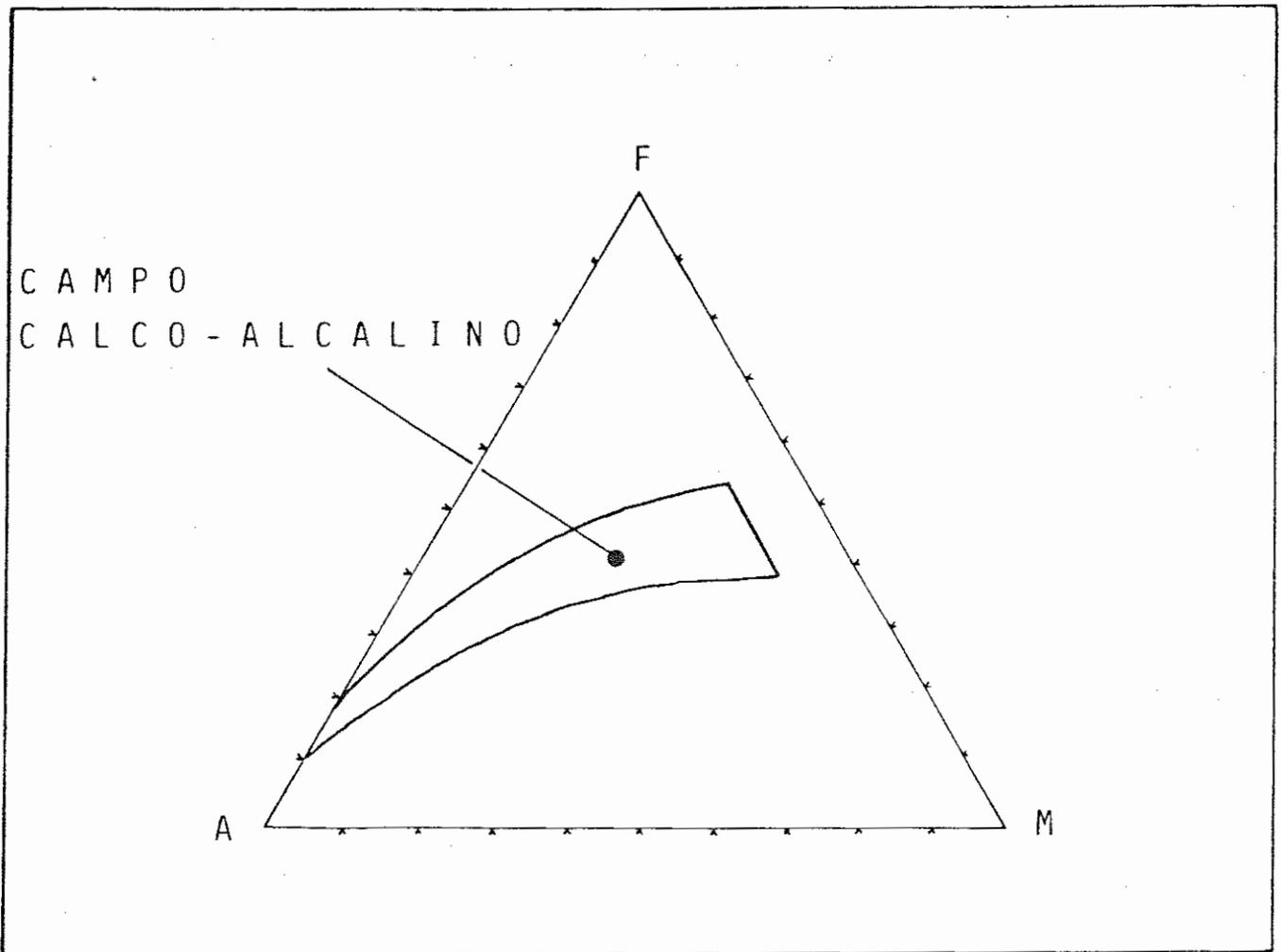


DIAGRAMA CLASIFICATIVO PARA ROCAS VOLCANICAS  
(de RINGWOOD, 1975 Jour. Geol. Soc. London, v.130)

FIG. 9 A

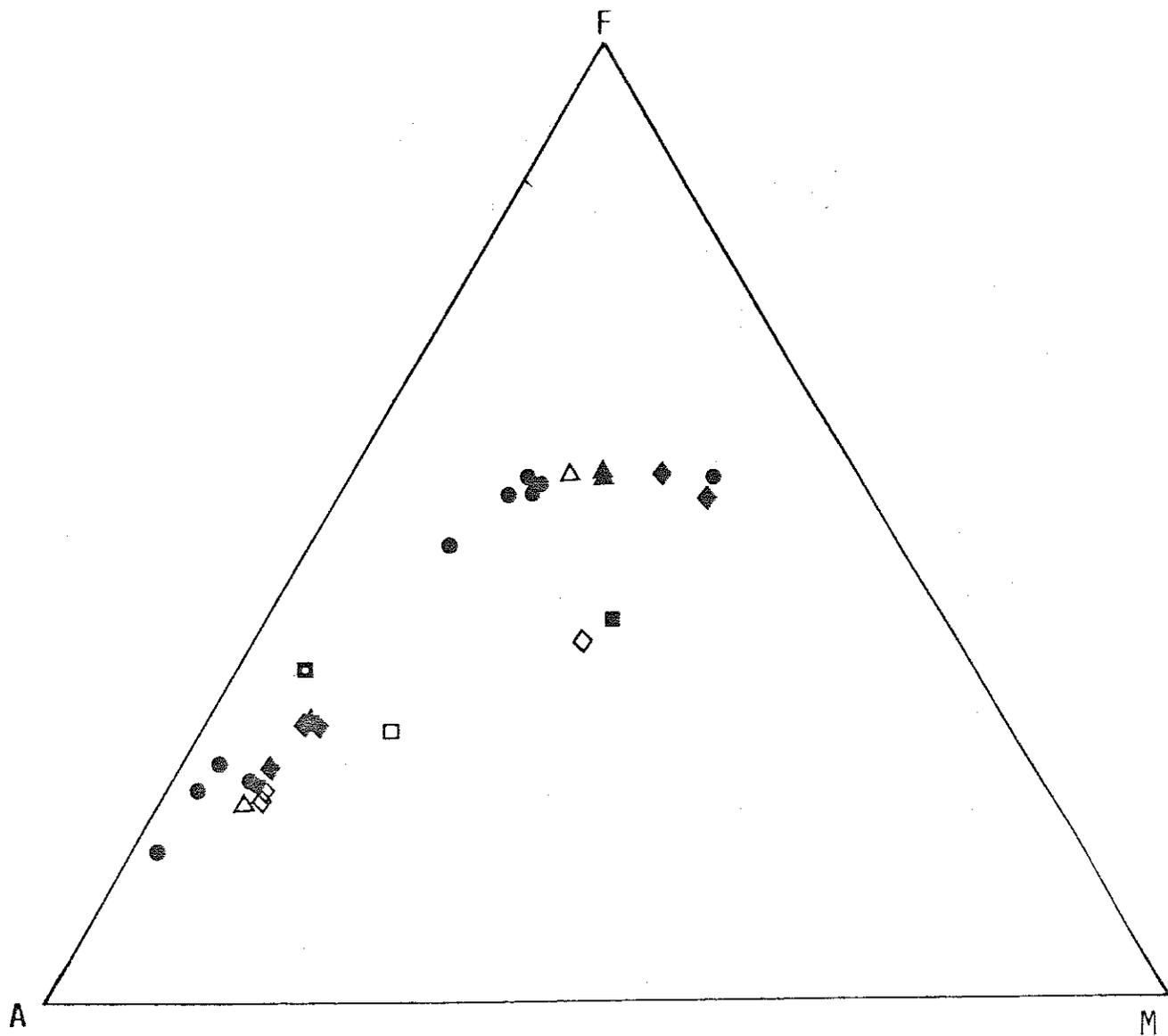


FIG. 9 B

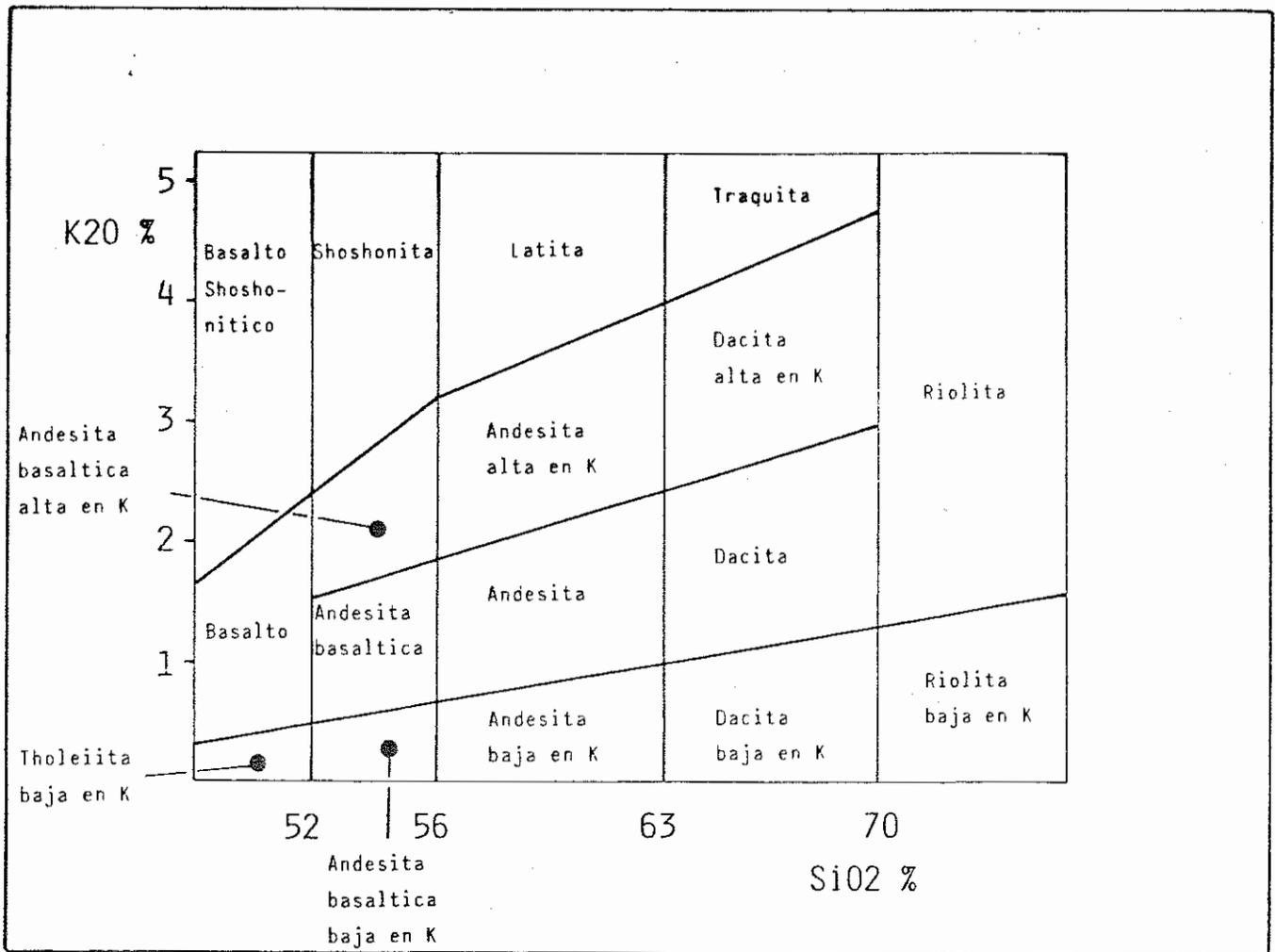
## 8.2. Fase Plioceno-Pleistoceno

Después de un largo periodo de inactividad el vulcanismo vuelve en la región en el Plioceno Superior-Pleistoceno hasta periodos subactuales aun si en forma mucho mas reducida en comparacion con la fase Mioceno. 15 analisis quimicos de los elementos mayores han sido desarrollados sobre rocas pertenecientes a este ciclo. En el complejo se trata de productos muy evolucionados mientras los terminos basicos son escasos y los intermedios practicamente ausentes.

En el diagrama alcali vs. silice se nota que todas las muestras analizadas a parte el basalto de la Media Luna y el incluso filoniano del domo de El Castillo caen en el campo sub-alcalino. Esta diferencia es evidenciada en el diagrama AFM donde los dos terminos basalticos sobremencionados se presentan mucho menos enriquecidos en hierro de los otros basaltos calco-alcalino. El esquema clasificativo de las asociaciones calco-alcalinas indica valores en  $K_2O$  bajos para las rocas analizadas que constituyen una serie calco-alcalina normal como confirmado por la relacion  $FeO_{tot}/MgO$ .

Los distintos aparatos son bastante homogeneos aun si se nota un caracter mas potasico en los especimen de El Castillo y de El Esquinado como sugerido por la presencia de biotita.

Las dos muestras alcalinas por lo contrario plotan en el campo de



CLASIFICACION ADOPTADA PARA ROCAS VOLCANICAS DE ZONA OROGENICAS  
(de FITYCAS et al. 1980)

FIG. 10 A

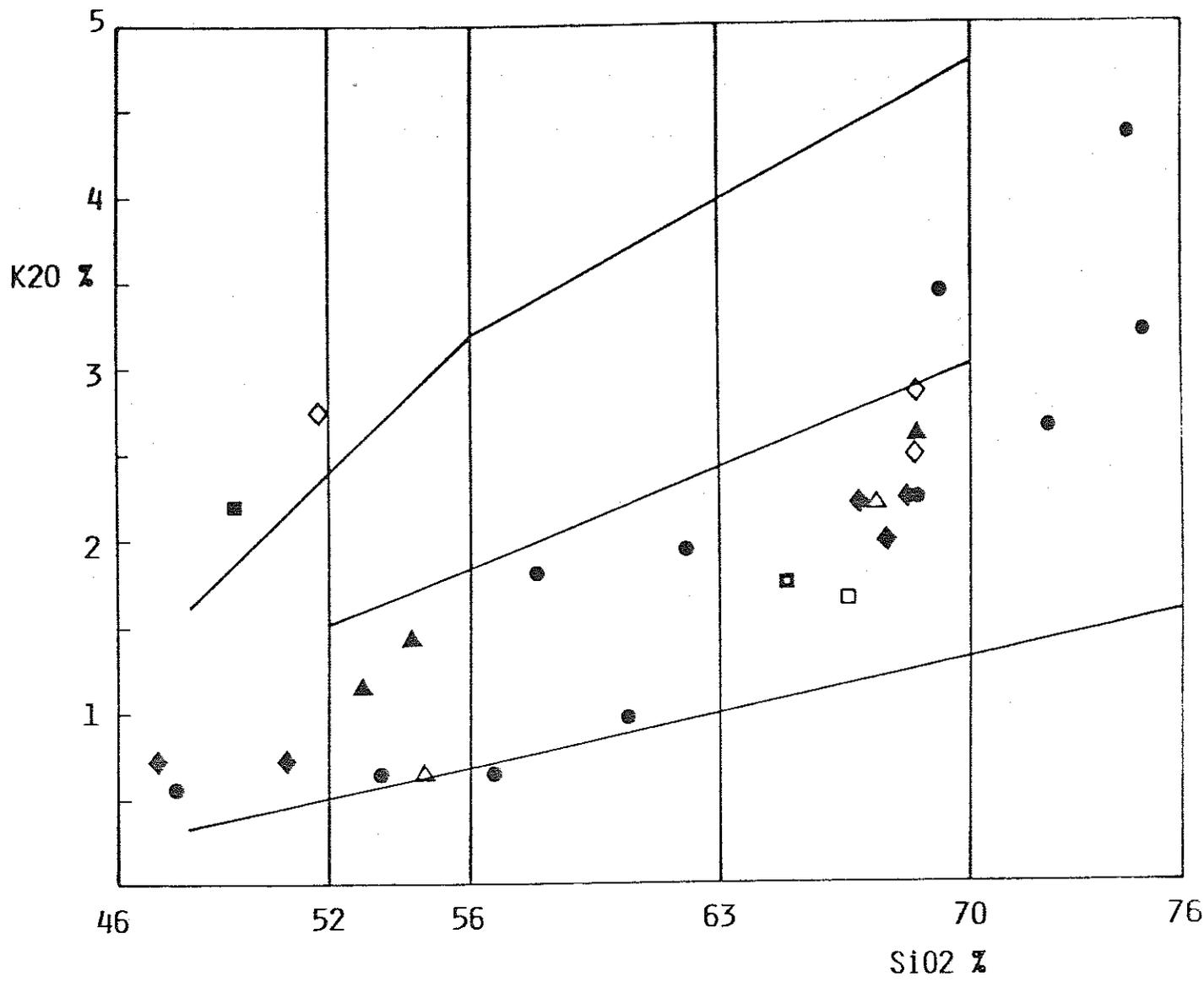


FIG. 10 B

los basaltos shoshoníticos y tienen un MgV (magnesium value) muy elevado que indica su carácter primitivo; la afinidad alcalina está confirmada por los cálculos normativos que presentan nefelina en la Media Luna y no presentan cuarzo en el incluso.

En su conjunto, las variaciones mineralógicas y químicas observadas en los aparatos calco-alcalinos evolucionados son compatibles con procesos de diferenciación por cristalización fraccionada desarrollada en cámaras magmáticas superficiales adonde el magma primario estacionó por largo tiempo segregando cristales y diferenciándose.

De los aparatos El Castillo y La Montañuela han sido desarrollados estudios mineralógicos de detalle en microsonda EDS (Arno', 1986) para la evaluación de las condiciones de presión y temperatura de cristalización de las fases minerales y una sucesiva estimación cuantitativa del proceso de fraccionamiento.

Las conclusiones del estudio petrológico son las siguientes:

- En base a los geotermómetros aplicados ha sido evaluada una temperatura para los basaltos primitivos entre 1095 y 1269 C mientras para las dacitas finales la estimación de la temperatura es incierta siendo afectadas por fenómenos de mixing. El proceso de diferenciación tuvo lugar en una cámara magmática superficial con presiones de menos de 1 kbar.
- Las variaciones químicas y petrográficas observadas son

compatibles con un proceso de diferenciación por cristalización fraccionada.

- La aplicación de un modelo cuantitativo de fraccionamiento indica que el magma dacítico para ambos aparatos, representa cerca el 22% en volumen de un magma basáltico que ha sido considerado como magma primario en cuanto es el más básico encontrado (por lo que se refiere a la serie calco-alcalina).

En definitiva los datos sobre descritos definen un cuadro bastante preciso del vulcanismo Plio-Pleistoceno que tiene dos caracteres distintos:

- un vulcanismo calco-alcalino caracterizado por aparatos centrales que han emitido prevalentemente productos dacíticos generados por fraccionamiento en cámaras magmáticas superficiales.

- un vulcanismo alcalino-shoshonítico subactual muy reducido representado principalmente por la Media Luna que está correlacionado con una fase tectónica distensiva muy importante que ha permitido la subida de magma indiferenciado directamente de zonas profundas del manto. Este vulcanismo por sus características podría representar la fase final de la evolución del magmatismo calco-alcalino de la zona de convergencia de placas.

## 9. MANIFESTACIONES TERMALES

En el curso del trabajo de campo se buscaron nuevas manifestaciones termales (aguas calientes y gases) para indicárselas al grupo geoquímico; se buscaron igualmente evidencias de zonas hidrotermalizadas.

Unos manantiales tibios que todavía no se conocían han sido descubiertos en el área del cerro El Castillo. El primero se halla al interior de la depresión del Castillo a lo largo de una pequeña quebrada confluyente en la Quebrada Callejon; se trata de agua tibia que deposita abundantes depósitos amarillos en el fondo de la quebrada misma.

Otros se encuentran en el valle de San José' entre el C. Castillo y el C. Picacho y en el sector Sur Oriental del Castillo mismo.

Varios pozos de agua fría y/o lodo con abundante emisión de burbujas de gases se localizan en los alrededores del sobremencionado aparato y particularmente en los lados Sur y Este.

Por lo que se refiere a las áreas hidrotermalizadas no se han podido reconocer áreas de actividad reciente; solamente se ha encontrado en la meseta ignimbrítica de alto del Veladero al Norte de El Esquinado un depósito de origen termal fósil caracterizado por "sinter" silíceo que cubre una gran superficie. Restos de artefactos hechos con este material (como puntas de flecha, hojas de cuchillo etc.) testimonian su utilización por parte de las

antiguas poblaciones del area. La apearance de esta manifestacion sugiere de no ser extinta hace mucho tiempo.

## 10. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS TERRENOS AFLORANTES

### 10.1. Basamento Terciario

Las rocas del basamento Terciario estan afectadas en forma distinta sea por el efecto de las intrusiones granodioriticas sea por los agentes externos de la intemperizacion.

Las rocas alteradas por las intrusiones magmaticas de edad Pliocenica, las cuales forman parte integrante del eje axial de la Cordillera, presentan principalmente argilitizacion y silicificacion y el grado de alteracion depende mas que todo de la distancia a que se localiza el cuerpo intrusivo. Como la silicificacion parece ser mucho mas frecuente en los afloramientos se puede hipotizar que las intrusiones estan ubicadas en niveles muy superficiales de la corteza terrestre.

Por otra parte el papel jugado por el intemperismo, que se manifiesta tambien en la argilitizacion, no es tan importante como en otras areas Cordilleranas (vease el Occidente de Chiriqui).

En los parrafos siguientes se examinan en detalle las caracteristicas hidrogeologicas cualitativas de las formaciones que integran el basamento Terciario.

#### 10.1.1. Rocas Intrusivas

Los cuerpos intrusivos granodioríticos que constituyen el basamento cristalino del área presentan una permeabilidad primaria muy baja. En zonas de intensa actividad tectónica como la de Chitira-Calobre estas intrusiones pueden ser fracturadas presentando características de permeabilidad secundaria. Hay que recordar como rocas de este tipo responden en manera rígida a los empujes tectónicos produciéndose una fracturación pervasiva que los confiere propiedades hidrotransmisivas mucho mejores de lo que se piensa generalmente.

#### 10.1.2. Formación Canazas

La Formación Canazas, como ya mencionado, constituye la parte más baja del basamento lavico Terciario aflorante en el área de Estudio. Esta formación siendo integrada por alternancias de lavas basálticas-andesíticas y subordinadas tobas argilificadas presenta características hidrogeológicas dishomogéneas. Las tobas y los aglomerados argilificados son generalmente impermeables mientras las coladas lavicas, presentando sea fracturas de enfriamiento (los basaltos columnares frecuentes) sea fracturas de origen tectónico, pueden alojar una eficaz circulación de aguas subterráneas por permeabilidad secundaria.

Las direcciones de fracturación observadas más frecuentemente en el campo son 140-170 grados y 30-70 grados.

En conclusión los niveles tobaceos generalmente argilificados sea por intemperismo que por hidrotermalismo actúan como acuícludos mientras que los horizontes lavicos constituyen zonas de circulación y almacenamiento del agua; siendo estos últimos más abundantes la formación en su conjunto puede ser considerada medianamente permeable.

Importante parece ser la gran abundancia de diques basálticos y andesíticos cortando la formación Canazas. Los diques tienen rumbo aproximado ENE hasta E-O y presentando una intensa fracturación a menudo subvertical (direcciones preferenciales conjugadas 145-165 grados y 60-70 grados) pueden ser ejes verticales de infiltración profunda para las aguas meteoricas. El hecho que los rios tienen caudal también en la larga estación seca es indicio seguro de infiltración profunda.

#### 10.1.3. Formación La Yeguada

La Formación La Yeguada está integrada por ignimbritas, tobas y brechas con características de permeabilidad muy variables.

Las ignimbritas o tobas fundidas pueden presentar una cierta permeabilidad secundaria debida al intenso tectonismo. Así, se han observado en el curso del Río Gatu' ignimbritas eutaxiticas estratigráficamente "bajas" bien soldadas y con fracturación

pervasiva. Pero, en general, se nota como las fisuras estan a menudo selladas por la deposicion de minerales secundarios (cuarzo, arcillas, cloritas etc.) que limitan su permeabilidad.

Las tobas por su naturaleza y siendo afectadas por una argilitizacion bastante difundida responden en forma elastica al tectonismo y tampoco tienen características de transmisividad hidraulica.

En terminos mas amplios se puede concluir que la formacion La Yeguada actua practicamente como una capa impermeable, salvo en los casos de permeabilidad secundaria que eventualmente pueden adquirir los estratos litoides (tobas fundidas) sujetos a fracturamiento por efecto tectonico; asi' se producen acuíferos confinados pero de importancia limitada.

#### 10.2. Vulcanitas Plio-Cuaternarias

La pequena extension de los aparatos Plio-Cuaternarios limita su interes en el marco hidrogeologico del area Chitra-Calobre.

Sin embargo, hay que subrayar su importancia por lo que se refiere a la recarga hidrica. En efecto siendo constituidos por estructuras centrales a veces enmarcados por la presencia de domos como al Castillo cuyos conductos de alimentacion cortan la cobertura ignimbrítica, pueden constituir ejes verticales de infiltracion relativamente importantes.

## 11. CONCLUSIONES

Los datos geológicos y vulcanológicos discutidos en los párrafos precedentes, permiten de sacar las siguientes conclusiones sobre el área Chitra-Calobre:

- El área está caracterizada por un basamento igneo de edad Terciaria que incluye: cuerpos intrusivos Oligocénicos y Pliocénicos de naturaleza predominantemente ácida que forman el eje de la Cordillera aflorando en zonas de cumbre; una espesa cobertura volcánica constituida por dos formaciones: La Formación Canezas integrada principalmente por flujos basálticos y andesíticos y tobas asociadas de edad Mioceno Medio Superior, La Formación La Yeguada constituida principalmente por anchas cubiertas ignimbríticas y tobáceas de edad Mioceno Superior que cubre la F. Canezas y cuyos depósitos más antiguos están interdigitados con esta. Enjambres de diques cortan la sobremencionada cobertura volcánica.

El intenso vulcanismo que tiene características calco-alcalina se mantuvo activo en forma continua hasta el Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

- Una nueva fase eruptiva se inició en el Plioceno Superior después de un largo período de inactividad y cesó en época reciente. Este vulcanismo está caracterizado por pequeños aparatos

aislados uno de otros y prevalentemente de naturaleza evolucionada (dacita), con asociados escasos productos basicos que pertenece a la serie calco-alcalina o sea al vulcanismo de convergencia de placas.

Los magmas daciticos se han generado por diferenciacion por cristalización fraccionada al interior de camaras magmaticas someras de magmas primitivos de naturaleza basaltica. Entre los varios aparatos acidos el mas interesante como fuente de calor superficial parece ser El Castillo siendo el mas joven ( $\sim 200,000$  años) ofreciendo características estructurales favorables y presentando a su interior y en todos sus inmediatos alrededores una gran cantidad de manifestaciones termales como pozos de agua calientes, manantiales tibios, salitres y emanaciones de gas.

Se destaca de este cuadro un pequeno cono basaltico con coladas asociadas (La Media Luna) de afinidad shoshonitica que representa la ultima erupcion en el area siendo probablemente subactual. Sus características lo correlacionan con una intensa actividad tectonica distensiva (principalmente E-O) que permitio el rapido ascenso de magma basaltico profundo en una fase muy evolucionada (final) del vulcanismo de convergencia de placas. La gran caldera hipotizada en la zona de Chitra (alrededor de la Media Luna) no ha sido confirmada en el curso de este estudio y hay bastante dudas sobre su existencia, de toda manera, al tener un apariencia muy desgradada, seria de edad demasiado vieja para tener algun interes

geotermico.

- Un tectonismo muy intenso afecta el area desde el Mioceno. Los sistemas mas activos parecen ser NO-SE, NE-SE y E-O, N-S y confieren una morfologia muy caracteristica al area de la Cordillera caracterizada por bloques fallados y tiltados hacia el Norte hasta la latitud de la Yeguada y generalmente hacia el Sur al Norte de esta latitud (la situacion de este sector es mas compleja en realidad con bloques tiltados tambien hacia E y O).

- Debido al intenso fracturamiento producido por el tectonismo, las rocas masivas (lavas y cuerpos intrusivos) que conforman el basamento pueden adquirir una buena permeabilidad secundaria huespedando fluidos termales.

Las ignimbritas de La Yeguada, particularmente en la parte superior de la secuencia, presentan una intensa argilitizacion y se ha notado tambien como las fisuras producidas por el tectonismo son sistematicamente selladas por minerales secundarios, en particular de la silice.

Pueden ser por lo tanto una eficaz capa sello.

- La recarga hidrica de los acuíferos profundos ocurre (los rios tienen caudal tambien en la estacion seca) en varios modos: a lo largo de los conductos volcanicos ("necks") y de los domos acidos fracturados; en correspondencia de los numerosos diques

fracturados (bien evidentes en el fondo de los valles donde corren rios y quebradas); en situaciones estructurales particulares como la que se observa al Oeste de La Yeguada donde se halla un amplio valle originado por el "tilting" antitetico de bloques fallados.

Ademas se ha tratado de reconstruir un modelo geotermico preliminar para el area de El Castillo que presenta las características mas prometedoras para un posible desarrollo geotermico.

#### 11.1. Modelo geotermico preliminar de El Castillo

Fuente de calor.

El Castillo posee la siguientes características referentes a una fuente de calor:

- la naturaleza de los productos emitidos constituye una serie con afinidad calco-alcalina de basaltos a dacitas-riodacitas producida a través de procesos de diferenciación por cristalización fraccionada en una cámara magmática muy superficial. Los cálculos geotermométricos y geobarométricos sugieren una presión de formación de los líquidos diferenciados de menos de 1 kbar o sea una profundidad de la cámara de 2-4 km y una temperatura probable para las dacitas de 750 C.

La aplicación de un modelo cuantitativo de fraccionamiento indica

que el magma riodacítico representa cerca el 22% en volumen de un magma basáltico primario. Considerando que el volumen de los productos evolucionados emitidos es de 0.5-1 km<sup>3</sup> el volumen de la cámara magmática sería de 2-4 km<sup>3</sup>.

La edad de estas dacitas es de 200.000 años.

Además hay que recordar como el material emitido puede representar la manifestación superficial de una gran intrusión de magma ácido en enfriamiento en niveles someros de la corteza terrestre (no se olvide la ocurrencia de afloramientos de cuerpos granodioríticos Pliocénicos en el área) así que la anomalía térmica queda mucho más importante de lo que se puede estimar con los datos presentes. La gran cantidad de manifestaciones térmicas que ocurren en un área centrada en El Castillo podría confirmar esta hipótesis.

#### El Reservorio

Un intenso tectonismo distensivo ha afectado El Castillo también en tiempos recientes como sugerido por el cruce de tres fallas con rumbo NNO, ENE y NO que cortan los domos Pleistocénicos; así se ha producido una intensa fracturación en los flujos lavicos andesíticos y basálticos que integran el basamento del edificio. Además este sector de la Cordillera se presenta constituido por rocas que no son tan intemperizadas y alteradas como ocurre en otras zonas (vease Chiriquí).

Estas dos observaciones individualizan la posibilidad de encontrar una

buena permeabilidad en el subsuelo del Castillo en correspondencia de los horizontes lavicos.

Una recarga local es asegurada por la infiltracion profunda en correspondencia de los domos, "necks", diques y de las estructuras circulares, mientras un mas importante flujo regional de agua subterranea corre de las zonas de cumbres de la Cordillera (al Norte de Castillo) hacia abajo.

En los productos piroclasticos no se han encontrados liticos hidrotermalizados para confirmar la termalidad del acuífero; pero esto era casi previsto considerando que la actividad eruptiva relacionada a la explosion superficial de los domos dificilmente habria muestriado horizontes profundos del conducto magmatico donde, mas probablemente, se ubica el reservorio.

#### La Capa Sello

La Capa Sello puede ser identificada con la presencia de unas cubiertas ignimbríticas arriba de la formacion lavica que se presentan a menudo argilitizadas en particular en las facies mas tobaceas. Tales rocas se encuentran en la parte antigua de El Castillo de donde posiblemente tuvieron tambien origen.

En resumen parece que las perspectivas geotermicas de El Castillo sean la mas prometedoras en el area Chitra Calobre (con una duda eventual por lo que se refiere a la fuente de calor). Para

una mas precisa formulacion de su potencial geotermico se sugiere la ejecucion de una campana geofisica concentrada, por su accesibilidad, en el llano de la Yeguada al Oeste del aparato; otra area que parece morfologicamente adecuada, aun si mucho mas pequena, es el valle de S. Jose al Este del Castillo entre este y el C. Picacho.

TABLA I

## DATACIONES RADIOMETRICAS

#MUESTRA	DATACION K/Ar.MA	ROCA	FORMACION
PF-76	11.47+-0.22	Andesita (dique)	Canazas?
PF-77	12.32+-0.16	Andesita (dique)	Canazas?
PF-78	10.03+-0.30	Riolita?	La Yeguada
PF-79 Ola'	1.72+-0.28	Dacita (domo)	El Picacho
PF-80	11.95+-0.23	Andesita	Canazas
PF-81	12.92+-0.23	Basalto	Canazas
PF-82	2.43+-0.27	Dacita (lava)	La Montanuela
PF-87	9.00+-0.25	Ignimbrita	El Castillo
PF-94	12.17+-0.18	Andesita basal	El Castillo
PF-95	1.87+-0.23	Dacita	El Esquinado
PF-102	<0.1	Basalto Olivinico	La Media Luna
PF-103	12.84+-0.15	Dacita	La Yeguada
PF-104	12.80+-0.10	Andesita (lava)	Canazas
PF-107	11.98+-0.17	Andesita (lava)	La Yeguada
W-1216	10.3 +-0.4	Basalto	?
W-1181	17.5 +-0.6	Basalto	Canazas
W-1246	12.6 +-0.8	Ignimbrita	La Yeguada
RCH	7.3 +-1.6		Intrusivo Pliocenico

PF: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional  
W y RCH: Proyecto Minero de Azuero.

TAB. 2.1 ANALISIS QUIMICOS DE LAS VULCANITAS TERCIARIES

SAMPLE	PF-81	PF-94	PF-76	PF-104	PF-77	PF-107
SiO <sub>2</sub>	47.60	53.40	56.60	57.80	60.40	62.00
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.84	0.90	0.96	1.00	0.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.70	19.90	19.20	16.50	16.20	15.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.70	4.25	2.65	3.05	2.50	2.95
FeO	6.70	3.15	4.60	5.30	5.50	3.90
MnO	0.17	0.23	0.18	0.17	0.24	0.17
MgO	6.00	2.00	2.25	2.55	2.20	1.65
CaO	11.50	8.85	7.85	7.10	6.05	5.65
Na <sub>2</sub> O	1.80	3.15	3.35	2.55	3.80	3.60
K <sub>2</sub> O	0.56	0.63	0.63	1.80	0.96	1.95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.25	0.19	0.25	0.28	0.24
H <sub>2</sub> O	1.30	2.10	0.85	1.40	0.98	0.95
Tot	99.82	98.75	99.25	99.43	100.11	99.72

C.P.I.W. Norms

Q	0.54	11.69	13.22	16.22	16.90	19.07
Or	3.31	3.72	3.72	10.64	5.67	11.52
Ab	15.23	26.65	28.34	21.58	32.15	30.46
An	44.02	38.30	35.49	28.26	24.31	21.47
Di	9.95	3.17	1.82	4.40	3.23	4.12
Hy	18.56	4.79	9.81	10.12	10.70	5.86
Mt	5.36	6.16	3.84	4.42	3.62	4.28
Il	1.27	1.60	1.71	1.82	1.90	1.44
Ap	0.28	0.59	0.45	0.59	0.66	0.57
Aq	1.30	2.10	0.85	1.40	0.98	0.95
Tot	99.83	98.77	99.26	99.45	100.13	99.73
DI	19.08	42.07	45.29	48.43	54.72	61.05
PLG	74.29	58.96	55.60	56.71	43.06	41.34
IC	35.15	15.71	17.18	20.76	19.45	15.70
MgV	54.76	36.72	39.46	39.08	36.49	33.75
NK	3.21	5.00	5.32	1.42	3.96	1.85

SAMPLE	PF-106	PF-103	PF-78	CC-41	PF-87
SiO2	68.40	69.10	72.20	74.46	74.90
TiO2	0.25	0.36	0.29	0.30	0.29
Al2O3	16.10	13.60	13.40	13.59	13.20
Fe2O3	1.30	1.65	2.00	1.15	1.75
FeO	0.90	0.72	0.43	0.35	0.43
MnO	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05
MgO	0.77	0.69	0.30	0.20	0.26
CaO	3.45	2.20	2.85	1.30	1.90
Na2O	4.25	3.30	3.80	2.80	3.70
K2O	2.25	3.45	2.65	4.34	3.20
P2O5	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
H2O	1.90	3.95	1.40	0.94	1.10
Tot	99.69	99.11	99.40	99.47	100.80

C.P.I.W. Norms

Q	26.61	31.08	33.98	38.57	36.73
Or	13.30	20.39	15.66	25.65	18.91
Ab	35.96	27.92	32.15	23.69	31.31
An	16.66	10.65	11.68	6.25	9.29
C	0.57	0.53	0.00	1.99	0.24
Wo	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
Di	0.00	0.00	1.61	0.00	0.00
Hy	2.18	1.72	0.00	0.50	0.65
Mt	1.88	1.44	0.71	0.29	0.71
Hm	0.00	0.66	1.51	0.95	1.26
Il	0.47	0.68	0.55	0.57	0.55
Ap	0.17	0.09	0.07	0.07	0.05
Aq	1.90	3.95	1.40	0.94	1.10
Tot	99.69	99.11	99.40	99.47	100.80
DI	75.87	79.38	81.79	87.90	86.95
PLG	31.66	27.62	26.65	20.88	22.89
IC	4.54	4.50	4.46	2.31	3.17
MgV	42.95	38.77	21.40	22.62	20.79
NK	1.89	0.96	1.43	0.65	1.16

TAB. 2.2 ANALISIS QUIMICOS CERRO LA MONTANUELA

SAMPLE	CC-32	CC-34	CC-13	PF-82	PF-83
SiO2	47.06	50.77	66.86	67.60	68.30
TiO2	0.85	0.95	0.33	0.34	0.28
Al2O3	19.04	17.40	17.55	16.90	16.20
Fe2O3	4.75	3.77	2.35	2.30	1.90
FeO	5.75	6.55	0.70	0.83	0.57
MnO	0.18	0.20	0.04	0.06	0.02
MgO	6.28	4.99	0.88	1.00	0.74
CaO	11.76	10.44	2.93	4.05	2.80
Na2O	2.06	2.40	3.75	4.10	4.00
K2O	0.72	0.72	2.21	2.00	2.25
P2O5	0.19	0.23	0.07	0.09	0.05
H2O	0.37	0.51	2.09	1.35	3.20
Tot	99.01	98.93	99.76	100.62	100.31

C.P.I.W. Norms

Q	0.00	4.78	29.20	26.19	29.46
Or	4.25	4.25	13.06	11.82	13.30
Ab	17.43	20.31	31.73	34.69	33.84
An	40.58	34.58	14.08	19.50	13.56
C	0.00	0.00	3.83	0.84	2.21
Di	13.26	12.80	0.00	0.00	0.00
Hy	12.48	13.90	2.19	2.49	1.84
Ol	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Mt	6.89	5.47	1.43	1.89	1.09
Hm	0.00	0.00	1.36	1.00	1.15
Il	1.61	1.80	0.63	0.65	0.53
Ap	0.45	0.54	0.17	0.21	0.12
Aq	0.37	0.51	2.09	1.35	3.20
Tot	99.02	98.94	99.76	100.63	100.31
DI	21.68	29.34	73.99	72.70	76.60
PLG	69.95	63.00	30.73	35.99	28.61
IC	35.94	33.97	5.61	6.02	4.61
MgV	55.90	50.39	38.75	41.10	39.65
NK	2.86	3.33	1.70	2.05	1.78

TAB. 2.3 ANALISIS QUIMICOS CERRO EL CASTILLO

SAMPLE	CC-48	PF-84	CC-22
SiO2	51.70	68.40	68.43
TiO2	1.90	0.32	0.31
Al2O3	15.79	15.40	15.85
Fe2O3	4.88	1.65	1.29
FeO	2.85	0.79	1.05
MnO	0.09	0.05	0.06
MgO	5.62	0.91	0.94
CaO	8.53	3.15	3.22
Na2O	3.63	4.75	4.46
K2O	2.75	2.50	2.86
P2O5	0.93	0.09	0.12
H2O	0.78	1.55	1.38
Tot	99.45	99.56	99.97

C.P.I.W. Norms

Q	0.00	23.73	23.46
Or	16.25	14.77	16.90
Ab	30.71	40.19	37.74
An	18.67	13.32	14.78
Di	13.68	1.34	0.32
Hy	7.09	1.64	2.65
Ol	0.40	0.00	0.00
Mt	3.97	1.78	1.87
Hm	2.14	0.42	0.00
Il	3.61	0.61	0.59
Ap	2.20	0.21	0.28
Aq	0.78	1.55	1.38
Tot	99.50	99.57	99.98
DI	46.96	78.69	78.10
PLG	37.80	24.89	28.15
IC	30.88	5.80	5.43
MgV	61.10	44.74	46.25
NK	1.32	1.90	1.56

TAB. 2.4 ANALISIS QUIMICOS CERRO SAN ANDREAS

SAMPLE	CC-36	CC-38	CC-8
SiO2	52.91	54.30	68.47
TiO2	0.89	1.04	0.26
Al2O3	18.33	17.61	15.90
Fe2O3	3.04	3.01	1.23
FeO	5.80	6.30	0.85
MnO	0.20	0.22	0.06
MgO	3.49	3.18	0.74
CaO	9.89	9.01	3.49
Na2O	2.35	2.80	4.23
K2O	1.15	1.43	2.60
P2O5	0.20	0.26	0.09
H2O	0.61	0.13	1.86
Tot	98.86	99.29	99.78

C.P.I.W. Norms

Q	8.33	8.23	25.49
Or	6.80	8.45	15.36
Ab	19.88	23.69	35.79
An	36.07	31.26	16.72
Di	9.60	9.71	0.01
Hy	11.01	10.89	2.07
Mt	4.41	4.36	1.78
Il	1.69	1.98	0.49
Ap	0.47	0.62	0.21
Aq	0.61	0.13	1.86
Tot	98.87	99.31	99.79
DI	35.01	40.37	76.64
PLG	64.46	56.89	31.84
IC	26.71	26.93	4.35
MgV	45.28	41.67	43.35
NK	2.04	1.96	1.63

TAB. 2.5 ANALISIS QUIMICOS CERRO ESQUINADO

SAMPLE	CC-7	PF-95
SiO2	54.66	67.30
TiO2	0.79	0.36
Al2O3	18.50	16.70
Fe2O3	4.21	2.25
FeO	4.70	0.93
MnO	0.28	0.06
MgO	3.51	0.98
CaO	9.00	3.70
Na2O	2.93	3.95
K2O	0.64	2.20
P2O5	0.13	0.11
H2O	0.18	2.10
Tot	99.53	100.64

C.P.I.W. Norms

Q	10.84	26.83
Or	3.78	13.00
Ab	24.79	33.42
An	35.44	17.64
C	0.00	1.36
Di	6.77	0.00
Hy	9.83	2.44
Mt	6.10	2.15
Hm	0.00	0.77
Il	1.50	0.68
Ap	0.31	0.26
Aq	0.18	2.10
Tot	99.54	100.65
DI	39.41	73.25
PLG	58.84	34.54
IC	24.21	6.04
MgV	45.56	40.16
NK	4.58	1.80

TAB. 2.6 ANALISIS QUIMICOS CERRO PICACHO DE OLA'

SAMPLE	PF-79
SiO2	64.80
TiO2	0.43
Al2O3	17.30
Fe2O3	3.35
FeO	0.72
MnO	0.07
MgO	0.65
CaO	5.05
Na2O	4.60
K2O	1.75
P2O5	0.17
H2O	1.10
Tot	99.99

C.P.I.W. Norms

Q	20.59
Or	10.34
Ab	38.92
An	21.39
Di	1.99
Hy	0.70
Mt	1.30
Hm	2.45
Il	0.82
Ap	0.40
Aq	1.10
Tot	100.00

DI	69.85
PLG	35.46
IC	7.26
MgV	26.05
NK	2.63

TAB. 2.7 ANALISIS QUIMICAS CERRO PICACHO

SAMPLE	CC-25
SiO2	66.56
TiO2	0.38
Al2O3	16.07
Fe2O3	2.48
FeO	0.70
MnO	0.05
MgO	1.74
CaO	4.40
Na2O	4.06
K2O	1.66
P2O5	0.13
H2O	1.47
Tot	99.70

C.P.I.W. Norms

Q	25.00
Or	9.81
Ab	34.35
An	20.72
Di	0.20
Hy	4.24
Mt	1.32
Hm	1.57
Il	0.72
Ap	0.31
Aq	1.47
Tot	99.71
DI	69.16
PLG	37.62
IC	8.05
MgV	54.57
NK	2.45

TAB. 2.8 ANALISIS QUIMICOS CERRO MEDIA LUNA

SAMPLE	PF-112
SiO <sub>2</sub>	49.30
TiO <sub>2</sub>	1.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.85
FeO	1.95
MnO	0.13
MgO	6.30
CaO	10.20
Na <sub>2</sub> O	3.85
K <sub>2</sub> O	2.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.92
H <sub>2</sub> O	0.02
Tot	99.32

C.P.I.W. Norms

Or	13.00
Ab	26.28
An	20.70
Ne	3.41
Di	18.60
Ol	4.95
Mt	2.94
Hm	4.82
Il	2.47
Ap	2.18
Aq	0.02
Tot	99.37

DI	42.69
PLG	39.30
IC	33.78
MgV	61.11
NK	1.75

## BIBLIOGRAFIA

DEL GIUDICE D., RECCHI G., 1969: Geologia del Area del Proyecto Minero de Azuero. Naciones Unidas.

IRHE, 1980: Localizacion y descripcion de las manifestaciones termales en toda la epublica de Panama.

IRHE, 1981: Resumen de los trabajos realizados sobre Geotermia en Panama.

IRHE-BID-OLADE, 1983: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional y Prefactibilidad Avanzada de Baru-Colorado. Informe de la primera reunion de la Junta Asesora.

IRHE-BID-OLADE, 1985: Estudios de Reconocimiento Geotermico Nacional y Prefactibilidad Avanzada de Baru-Colorado. Informe de la segunda reunion e la Junta Asesora.

IRHE-BID-OLADE, 1985: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional. K/Ar Dating Analysis of Rock Samples, Zeta Analitica.

IRHE-BID-OLADE, 1985: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional. Analises quimicos de rocas. B.R.G.M.

IRHE-BID-OLADE, 1985: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional. Informe petrografico. F. Innocenti.

IRHE-BID-OLADE, 1985: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional. Informe geo-vulcanologico: Area Chitra-Calobre. M. Retana.

IRHE-BID-OLADE, 1987: Estudio de Reconocimiento Geotermico Nacional. Estudio petrologico area Chitra-Calobre. V. Arno'.

THOMAS P.L., 1978: Republic of Panama Geothermal Project. February to May 1978 Report.

TERRY R.A., 1956: A Geological Reconnaissance of Panama; Calif. Acad. Sci. Occ. Pap., n.23.

WLEKLINSKY S., 1969: The gold deposits of Northern Veraguas, Inedito.