

### **III PARTE**

## **ESTUDIO GEOVULCANOLOGICO Y EVALUACION DE LA AMENAZA DEL VOLCAN BARU**

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

El estudio geovulcanológico del volcán Barú se hace con el objetivo general de establecer, en primera aproximación, los parámetros geovulcanológicos de este volcán para luego determinar la amenaza de desastre volcánico que él representa.

### **Objetivos Específicos:**

- Reconstruir la prehistoria e historia de la actividad del volcán Barú.
- Determinar las características del magma (quimismo, evolución) y las características de la cámara magmática (profundidad, tamaño).
- Determinar los tipos de materiales que emite, el tipo de actividad volcánica y su área de influencia.
- Elaborar el mapa geovulcanológico.
- Determinar el área amenazada en caso de erupción.
- Digitalizar la información.

## **METODOLOGIA**

### **Criterios Utilizados:**

La metodología utilizada se decidió teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- La meta general del proyecto es la Prevención de Desastres Naturales.
- Los recursos económicos disponibles para el desarrollo del proyecto son limitados.
- Es necesario suministrar información técnica confiable, por lo menos en su primera aproximación, para que el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), pueda elaborar los más adecuados planes de emergencia para esa región si así, el estudio lo recomienda.

### **Metodología General**

En base a los criterios expuestos anteriormente se decidió:

- Realizar el inventario y el análisis de las informaciones geológicas sobre el volcán Barú, existentes en informes y estudios precedentes.
- Completar la información con teledetección y fotointerpretación
- Hacer verificaciones de campo.

### **Metodología Específica**

La metodología utilizada no fue rígida; se trabajó con un gran grado de flexibilidad pues, para la República de Panamá, este tipo de evaluación constituye una primera experiencia.

Todas las acciones se desarrollaron con el fin específico de determinar los siguientes aspectos:

1. Reconstrucción de la prehistoria e historia de la actividad del volcán Barú.

Para este fin se analizaron las informaciones geológicas, históricas y arqueológicas disponibles, se consultaron las bibliotecas incluyendo las de las Instituciones Públicas, la del "Smithsonian Tropical Research Institute", las de las Universidades y la del Museo del Hombre Panameño. Se consultaron también a personas que de una u otra forma han estado relacionadas con estudios en el área del volcán Barú. Se hizo particular énfasis en localizar estudios cuyos resultados, sean confirmados con datos radiométricos K/Ar y  $C_{14}$ .

Además, se analizaron cuidadosamente las secciones estratigráficas que aparecen en estudios precedentes, algunas de las cuales, fueron verificadas con trabajo de campo.

2. Determinación de las características del magma (quimismo y evolución).

Para este fin se ha realizado un análisis de los datos geoquímicos, petrográficos y petrológicos sobre los materiales emitidos por la actividad del volcán. Estos datos se encuentran en varios estudios realizados en el área (ver bibliografía).

3. Determinación de las características de la cámara magmática.

Se intentó determinar la profundidad y el tamaño de la cámara magmática a través de los análisis petrográficos y químicos de los materiales emitidos por el volcán. Se consideraron las conclusiones de estudios de muestras del ciclo más reciente del volcán, sobre la composición isotópica del Estroncio, de análisis de microsondas de la fase mineral y del vidrio residual, además de los datos de las paragénesis mineralógicas y de las fases de desequilibrio.

4. Determinación del tipo de actividad volcánica y del área de influencia de esas actividades.

Para este fin, se ha prestado particular atención al análisis de las secciones estratigráficas y se han recogido informaciones sobre los mapas geológicos, se ha recurrido a la teledetección y fotointerpretación y se han hecho controles de campo. Además se han evaluado los análisis petrográficos y químicos.

La frecuencia de las erupciones freatomagmáticas que se observan en la región, obligaron a prestar particular atención a los siguientes aspectos:

- Determinación del grado de interacción entre magma y agua y determinación de la profundidad en la que se verifica esa interacción. Esto se ha realizado a través de estudios de los xenolitos contenidos en los materiales emitidos por el volcán.
- Determinación de los factores litoestratigráficos que pueden permitir la formación de acuíferos. Para este fin, se buscó información sobre las propiedades físicas de los diferentes materiales que componen el subsuelo del área del volcán.
- Determinación de los factores tectónicos que modifican o influyen en el comportamiento hidrogeológico del área. Para esto se analizó la información existente y se completó, dicha información con teledetección y fotointerpretación, así como con verificaciones de campo.

5. Determinación de los factores que constituyen amenazas colaterales

Esto se determinó a través de los datos de levantamientos geológicos y geomorfológicos, así como de las condiciones actuales de los materiales y de la hidrología del área.

## 6. Digitalización de Información

Se digitalizó la información geológica, tectónica, topográfica, drenajes, carreteras, poblados y otras, para luego poder realizar, con el Sistema de Información Geográfico, los análisis comparativos y la integración selectiva de la información geovulcanológica y de cobertura y uso actual de la tierra y elaborar los mapas de zonas vulnerables del volcán Barú y sus alrededores.

## ANTECEDENTES

En 1981, el gobierno de la República de Panamá, con el objetivo de explorar el potencial geotérmico de la República, a través del programa IRHE-BID-OLADE, efectuó una revisión crítica de todos los estudios realizados sobre las manifestaciones geotérmicas del territorio nacional. Entre las conclusiones se estableció que la zona volcánica de Chiriquí presentaba indicios favorables para la presencia de un campo geotérmico y se sugirió realizar estudios geovulcanológicos.

En 1984, expertos contratados por OLADE, en estrecha cooperación con técnicos panameños, iniciaron dichos estudios que concluyeron, en 1987, con la presentación del "Informe Final del Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Panamá". Estos estudios son los más completos que se han realizado en el volcán Barú. Ellos contienen amplios y confiables análisis petrológicos, petrográficos, químicos y datos radiométricos.

Por otra parte, con el fin de estudiar el comportamiento geotectónico del Istmo de Panamá, algunos investigadores han realizado evaluaciones del volcanismo panameño. Con otros fines se han realizado investigaciones arqueológicas que incluyen dataciones radiométricas de Carbono 14.

Todos estos estudios han sido considerados para la realización de este trabajo (ver bibliografía).

## EVENTOS GEOLOGICOS SOBRESALIENTES QUE SE DIERON EN EL AREA EN ESTUDIO ANTES DE LAS ACTIVIDADES DEL VOLCAN BARU

### Basamento

Se indica con el nombre de basamento el conjunto de los materiales litológicos, de edad Terciaria y Preterciaria, que se encuentran en el área en estudio. Sobre él se apoyan las rocas del volcanismo Cuaternario.

El basamento, está constituido por cuatro grandes unidades litoestratigráficas que son las siguientes:

- Intrusiones.
- Productos volcánicos de facies proximales.
- Productos volcánicos de facies distales.
- Rocas Sedimentarias detríticas

Estos materiales corresponden a los que dieron origen a la cordillera de Talamanca y son el resultado de una intensa actividad ignea de tipo calco-alkalina de edad Terciaria que incluye actividad plutónica que se desarrolló durante el Oligoceno-Mioceno (fig. 3).

Esta cordillera fue fuertemente erosionada permitiendo el aflorar de los cuerpos intrusivos del Terciario superior. Esta intensa erosión indica que existió una interrupción de las actividades volcánicas durante todo el Plioceno.

En el Mioceno superior y en el Plioceno inferior, algunas probables variaciones del mecanismo de subducción provocaron la interrupción de las actividades volcánicas y generaron deformaciones tectónicas (plegamientos leves, fallamientos intensos, vasculamientos). El ligero vasculamiento de las formaciones sedimentarias del basamento Terciario, atestigua la presencia de una fase tectónica post-deposicional. Además, la presencia de materiales con características de flysch (IRHE-BID-OLADE, 1985), entre rocas sedimentarias del basamento, indican la presencia de una orogénesis.

### **Rocas Intrusivas (RI)**

Estas rocas afloran en la zona axial de la cordillera de Talamanca en cuerpos de dimensiones generalmente limitadas, cuya composición varía de gabros a granodioritas. Se encuentran aflorantes principalmente en el Norte y Noreste del área en estudio.

### **Rocas Volcánicas (RV)**

Las rocas volcánicas son de dos tipos: las proximales que se ubican generalmente en las partes elevadas próximas a las rocas intrusivas y las rocas volcánicas distales, que se encuentran en los niveles un poco más inferiores. Entre ellas se observan tobas soldadas tipo ignimbritas. Estas rocas tienen la misma asociación magmática de las rocas intrusivas en donde se observa afinidad calco-alkalino.

### **Rocas Sedimentarias (RS)**

En el área en estudio se señala la presencia de rocas sedimentarias del Cretácico y del Terciario. En Cerro Pando se observan calizas opalizadas y silicificadas dentro a los aglomerados que se han indicado como pertenecientes al Cretácico (Stewart, 1978).

Entre las rocas sedimentarias, las pertenecientes al Terciario son las más abundantes, están constituidas principalmente por sedimentos marinos (areniscas y lutitas) en donde abundan fósiles y fragmentos orgánicos. Tienen una granulometría variable que, en ocasiones, pasan en forma gradual a horizontes de granulometría más gruesa, llegando a mantos de carácter fragmentario. En algunas ocasiones se han observado materiales con características de Flysch (IRHE-BID-OLADE, 1985).

Las rocas sedimentarias del Terciario presentan un ligero vasculamiento que indica que se verificó una fase tectónica post-deposicional. Pocos sedimentos marinos del Terciario se observan en el cauce del río Chiriquí Viejo.

## El Volcán Colorado

En el Pleistoceno la actividad volcánica del Istmo de Panamá se reinició con las erupciones del volcán Colorado. La edad de la actividad de este volcán se ha determinado a través de métodos radiométricos (método K/Ar) y se ha podido concluir que el período de actividad de este volcán se encuentra entre  $1.66 \pm 0.49$  M.a y  $1.18 \pm 0.40$  M.a.

En la etapa inicial de actividad de este volcán predominaron flujos de lavas de composición variable (andesitas basálticas, andesitas, dacítas) y las etapas posteriores se caracterizan por la presencia, principalmente, de productos piroclásticos de facies explosivas. En la parte central de su edificio se observa una depresión morfológica.

Los productos del volcán Colorado se ubican al NW del área en estudio y limitan con los materiales del Barú, en correspondencia del río Chiriquí Viejo.

Del volcán Colorado se ha reconocido que:

- Posteriormente a su formación, se verificó una actividad tectónica de tipo distensivo. Esto es evidente principalmente en el sector meridional en donde se observan señales de avalanchas y grandes deslizamientos de parte del edificio volcánico ("debris avalanche"). En la zona de Cotito-Los Pozos, se reconoce que la Fila del Colorado (SW del volcán Colorado) está formada por enormes bloques del propio aparato volcánico que se desplazaron.
- Se verificaron erupciones direccionales con elevada explosividad. Se han reconocido depósitos de nubes ardientes.
- En el interior de la depresión central del edificio volcánico se verificaron derrumbes de grandes dimensiones localizados al Norte del Cerro Pelón.
- La actividad de este volcán terminó con el emplazamiento de domos de lava al interior de la depresión central con escasos depósitos piroclásticos asociados.

## Los Domos del Pando

Al Oeste del volcán Barú, en proximidad de la carretera que va de Hato de Volcán hacia Río Sereno, se ubican, a la derecha y a la izquierda de la carretera, los cerros llamados Silla de Pando y Cerro Pando. Ambos corresponden a dos domos conocidos como "los Domos del Pando".

El domo del Cerro Pando es de aproximadamente 1.5 por 2 Km. con una altura de 1,756 m.s.n.m. Aparentemente, durante su emplazamiento, tuvo un desplazamiento hacia el Sur, con un comportamiento semejante a un flujo de lava muy viscoso. Las muestras de este domo se han clasificado como andesitas basálticas altas en  $K_2O$  de edades diferentes lo que indicaría que se originó como consecuencia de varias erupciones de edades correspondientes a  $1.20 \pm 0.09$  M.a. y  $1.00 \pm 0.14$  M.a. Este domo está cortado, en su parte centro-meridional, por una falla directa de dirección EW.

El domo de la Silla de Pando se ubica a 1 Km. al NW del anterior. Sus dimensiones son: 1.5 por 1 Km. y tiene una altura de 1,835 m.s.n.m. Está compuesto por andesitas basálticas altas en K. Las

mediciones radiométricas indican que es más joven que el domo de Cerro Pando correspondiéndole edad de  $0.92 \pm 0.24$  M.a. (fig. 3).

## **LOCALIZACION Y MORFOLOGIA DEL VOLCAN BARU**

El último cráter del volcán Barú, corresponde a la altura máxima de la República de Panamá, 3474 m.s.n.m., y se ubica a  $82^{\circ} 31'$  de longitud W y  $8^{\circ} 48'$  de latitud Norte.

Este volcán se encuentra en correspondencia a una falla normal de tipo regional NW-SE, que intersecta también el volcán Colorado.

La primera erupción del volcán Barú, originó un cono tipo estrato-volcán formado principalmente por lavas. Posteriormente, como consecuencia de una falla distensiva de dirección EW, se formó una escarpa morfológica que aisló la parte septentrional del cono del volcán y dividió las otras partes del mismo cono, en varios sectores que se deslizaron y que se reconocen actualmente por las abruptas escarpas morfológicas (ver mapa geovolcanológico).

Todo el proceso de transformación geomorfológica fue favorecido además, por la existencia de fallas distensivas de dirección SW-NE y por las violentas erupciones del volcán. Estas transformaciones, además de truncar el cono, formaron una gran depresión central semicircular, que tomó la forma de herradura abierta hacia Oeste, cuando grandes porciones del cráter se deslizaron a causa de un "debris avalancha".

Las porciones que se deslizaron formaron los cerros que actualmente se reconocen en los alrededores de la localidad de Hato de Volcán (Cerro Pon la Olla, Cerro Potrero de Piedra, Cerro Macho, Cerro Gordo, etc.) (ver mapa geovolcanológico y fig. 8a).

En el interior de la gran depresión central se formó, posteriormente, un nuevo cono volcánico en donde se reconocen cuatro cráteres, domos, flujos de lavas, flujos piroclásticos y abundante material de cada.

En general, se observa una asimetría entre el sector Este y Oeste del cono del volcán: el sector Este tiene una pendiente mayor que el sector Oeste. La vertiente meridional del volcán, presenta una morfología suave caracterizada por pendientes ligeras que descienden hacia el mar. Esta pendiente se ha formado como consecuencia de la distribución en forma de abanico, de los productos volcánicos y está cortada por angostos valles fluviales donde los ríos, generalmente, inciden profundamente en el fondo del cauce formando frecuentes cañones.

## **RECONSTRUCCION DE LA PREHISTORIA E HISTORIA DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCAN BARU**

El análisis de la información geotectónica y geocronológica disponible, refleja que el volcán Barú tuvo una fase inicial de actividad que se remonta a 0.5 M.a. y que su actividad continuó hasta tiempos pre-coloniales. La última erupción, según los datos de  $C_{14}$ , se ubica en los alrededores del año 1300 d.C.

Las actividades del volcán se han dividido, en base a evidencias volcano-tectónicas, en dos ciclos (Stewart. 1978; IRHE-BID-OLADE. 1985) El primer ciclo inició con una erupción lávica cuyo

químismo es muy parecido al del volcán Colorado. Esta analogía y la falla que une los dos aparatos volcánicos (fig. 8a), han permitido sugerir que el origen del Barú, corresponda al desplazamiento del conducto magmático del volcán Colorado hacia el volcán Barú (Restrepo, 1987).

Después de la erupción de lavas, se verificó otra larga y violenta erupción en donde se originó gran cantidad de materiales proclásticos que se depositaron en los alrededores del volcán.

El primer ciclo fue seguido por un período de inactividad volcánica y de distensión tectónica que generaron fallas distensivas que crearon la depresión central en el cono formado durante el primer ciclo. En esta depresión, posteriormente, se reinició la actividad volcánica correspondiente al segundo ciclo que originó la formación de un nuevo cono volcánico.

En el nuevo cono volcánico se reconocen cuatro cráteres dispuestos, a grandes rasgos, en dirección E-W por una distancia de 2.5 Km. El orden en el que hicieron erupciones los cuatro cráteres, sugieren la existencia de una migración progresiva de la actividad volcánica de Este hacia Oeste.

La actividad volcánica incluye el emplazamiento de domos en tres de los cuatro cráteres del segundo ciclo.

No se ha podido localizar información histórica sobre la actividad del volcán Barú. Existen señalamientos de la localización de repertos arqueológicos (tumbas) en el cañon del río Caldera (McDonald, 1912). Los estudios arqueológicos de la Cultura Barriles (Linares, 1975), señalan que una erupción del volcán Barú provocó la despoblación del área del río Chiriquí Viejo, algunos siglos antes de la conquista española. Este estudio señala la localización de 45 sitios habitados (fig. 9). Dos excavaciones realizadas: una en Sitio Pitty, en el valle de Cerro Punta, y la otra en Barriles, en Hato de Volcán, permitieron datar con  $C_{14}$  las edades de repertos y suelos, encontrándose edades que van desde los años 60 a.C. hasta los años 1,210 d.C. La presencia de pomez del Barú, que sepulta los poblados mencionados, indica actividad de este volcán en plena época Actual.

Los análisis de  $C_{14}$  que presenta Stewart en 1978, permiten reconocer las edades de los materiales del primer metro de profundidad (fig. 10 a,b,c,d y fig. 11). De las secciones que él presenta, se puede deducir que se mezclaron períodos de actividad humana con períodos de erupciones volcánicas

Las secciones estratigráficas del área, indican que se han verificadas, por lo menos, seis erupciones, que están documentadas por la existencia de paleosuelos que representan períodos de quietud volcánica suficientemente grandes para permitir la formación de suelos y el crecimiento de la vegetación. Esta vegetación está documentada característicamente en los restos de vegetales carbonizados que se observan en los flujos piroclásticos (ver columnas estratigráficas figs.16/21)

A pesar de que se tiene conocimiento de la existencia de un número relativamente alto de análisis radiométricos que documentan la actividad de este volcán, no se ha tenido aún acceso a esa información por lo que no se puede hacer una estimación probable del momento de una futura erupción. Considerando que no existen erupciones reportadas en época histórica, nos limitamos a asegurar que los datos geotectónicos, geovulcanológicos y geocronológicos revelan que el volcán Barú es un volcán activo, o sea, que tiene probabilidades de hacer erupción. Determinar cuando, no es posible con la información que se tiene.



## CARACTERÍSTICAS DEL MAGMA Y DE LA CAMARA MAGMATICA

Los estudios petrológicos, petrográficos, geoquímicos y geofísicos en el Istmo de Panamá, reflejan la existencia de diferencias entre el volcanismo antiguo (Mioceno) y el reciente (Cuaternario).

El volcanismo antiguo se asocia a fenómenos de fusión de cuñas del manto, mientras que el reciente se asocia a fusión de la corteza (Boer et al., 1988). Ambos volcanismos se producen como consecuencia de un proceso de subducción que no ha cesado, pero que ha cambiado su mecanismo de acción.

El hecho de que el volcanismo en el Istmo de Panamá esté presente en época Actual y que existan pruebas de que la subducción también está en acto, obliga a investigar las cámaras magmáticas que potencialmente pueden reactivarse

Las características del magma del volcán Baru, se han estudiado a través de los datos petrológicos, geoquímicos y petrográficos de los materiales que ha producido este volcán, en sus dos ciclos de actividad.

Los estudios revelan que este volcán, a través de toda su existencia, desde hace 0.5 M.a., hasta aproximadamente el año 1300 d.C., no ha cambiado considerablemente la composición de su magma, o sea, su magma no ha evolucionado.

Las rocas son principalmente andesitas. Elías constituyen del 73.7% (Restrepo, 1987) al 80% (Innocenti, 1985) de las rocas analizadas. En segundo lugar se encuentran las andesitas basálticas, que en realidad podrían clasificarse como andesitas pobres en  $\text{SiO}_2$ . Las dacitas están presentes en mínima cantidad, tratándose principalmente de andesitas ricas en  $\text{SiO}_2$  (fig.12).

Los productos intermedios y ácidos (andesitas y dacitas) producidos por este volcán no pueden haberse derivado por fraccionamiento del basalto fisural que se ha encontrado a 9 km del cráter del Barú, en Cerro Gordo, y en la sección estratigráfica ubicada al norte del cono del volcán Barú (fig. 17). Este hecho hace suponer que este basalto corresponda a un líquido que ascendió rápidamente a través de la corteza (IRHE-BID-OLADE, 1987).

A pesar de que los productos del Barú son de tipo alcali-cálcico, principalmente andesitas durante toda su historia, en ellos se verifican algunas variaciones sistemáticas de composición. Se notan diferencias entre la composición del magma del primer ciclo y las del segundo ciclo de actividad.

El primer ciclo se caracteriza por la emisión de gran cantidad de lavas con mayor cantidad de anfíbol que las del segundo ciclo y por estar constituidas principalmente por andesitas de la serie alcali-cálcica con alto contenido de  $\text{K}_2\text{O}$ . Esto indica una notable profundidad de cristalización.

Mientras que las lavas del segundo ciclo son andesitas de la serie alcali-cálcica normal (Innocenti, 1985) (figs. 13-14 y 15) La presión de fraccionamiento, que ha generado los productos más recientes y ácidos del Barú, parece relativamente baja:  $\text{PH}_2\text{O}$  menor de 1 Kb (IRHE-BID-OLADE, 1987).

Los materiales del Primer Ciclo se asemejan mucho a los materiales del volcán Colorado, tanto es así,

que se ha sugerido la hipótesis de que se verificó un desplazamiento del conducto volcánico del Colorado hacia el Barú (Restrepo, 1987) (fig. 8). Por otra parte, la marcada desgasificación que se dio luego de la primera erupción del Barú y que se evidencia en la gran explosividad de su erupción posterior, parece estar relacionada con el emplazamiento de una cámara magmática somera (Restrepo, 1987). La presencia de esta cámara somera permiten justificar los periódicos cambios en las condiciones de cristalización, los cuales se explican con las continuas convecciones y turbulencias en la cámara magmática no homogénea (Smith, 1974, Innocenti, 1985, IRHE-BID-OLADE, 1987).

El estudio de la paragénesis mineralógica así como de los fenocristales (anexo 2, 3 y fig. 15a) permiten reconocer constantes manifestaciones de desequilibrio que indican periódicos cambios en las condiciones de cristalización. Esto reitera la sugerencia de la existencia de convecciones y turbulencias en la cámara magmática. Por ejemplo, se observa frecuentemente la cristalización precoz de la hornabienda.

Es prácticamente imposible estimar el volúmen de la cámara magmática del Barú en base a la tasa de material emitido pues, este volcán, se caracteriza por erupciones frecuentes de tamaño mediano. No se ha encontrado ninguna erupción mayor.

El tamaño de la cámara magmática se ha estimado asumiendo que la tasa de realimentación no modifica la composición del magma, permitiéndole mantenerse dentro del campo de las andesitas por todo el tiempo de vida del volcán. Esto indica que el volumen del magma estacionado en la cámara es relativamente grande (IRHE-BID-OLADE, 1987).

En conclusión, todos estos hechos parecen indicar que en el volcán Barú existe una cámara magmática, de grandes dimensiones, ubicada de 3 a 6 km. de profundidad, en donde se han generado los productos más recientes. Esta cámara somera está realimentada constantemente por una cámara magmática más profunda, ubicada, posiblemente, a la base de la corteza y, en la cual, se han producido las lavas andesíticas anfibólicas del primer ciclo (IRHE-BID-OLADE, 1987). Las dos cámaras están conectadas por un sistema abierto hacia la profundidad (fig. 22).

Los productos emitidos por el Barú, a pesar de su larga historia, no han evolucionado. Las andesitas son el resultado de la diferenciación por cristalización fraccionada, ocurrida en el interior de las cámaras magmáticas del volcán (IRHE-BID-OLADE, 1987). Además, el basalto fisural encontrado parece indicar, la posibilidad de que se verifiquen erupciones fisurales que permitan a los líquidos ascender rápidamente a través de la corteza.

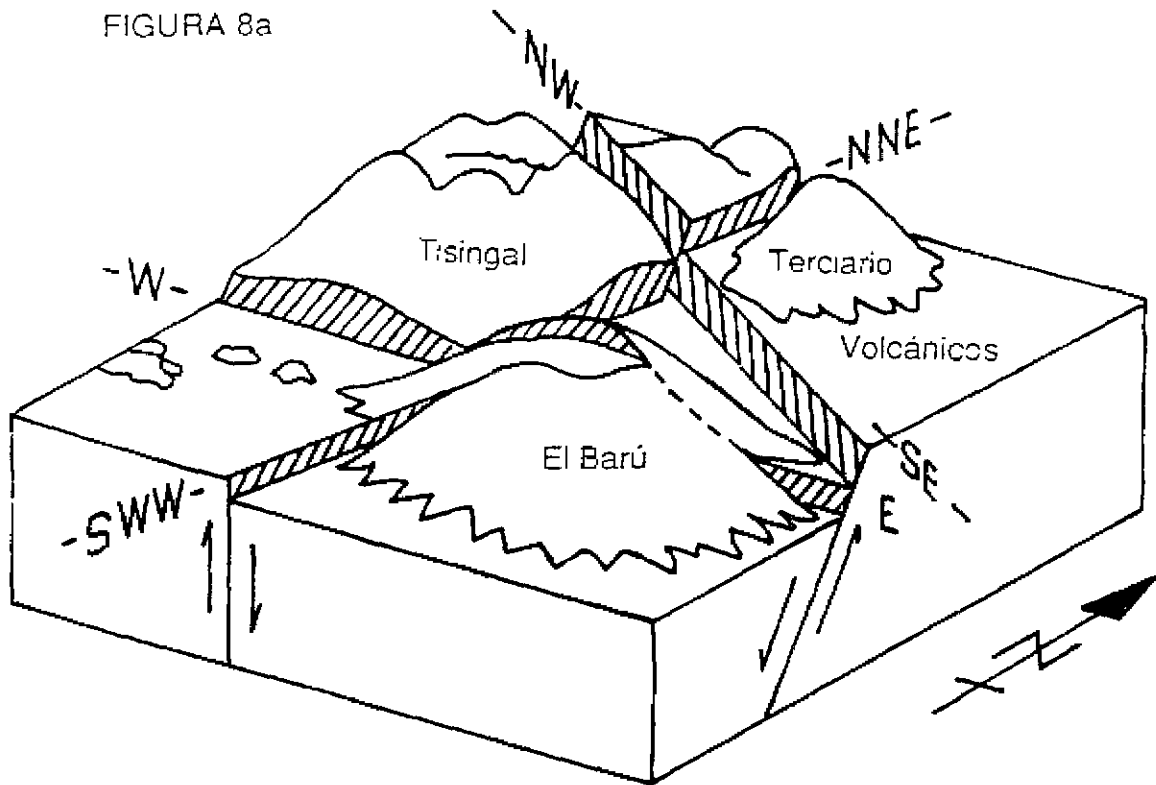
## **TIPO DE ACTIVIDAD VOLCANICA**

El análisis de la información histórica, petrográfica, petrológica y química de los materiales emitidos por el Barú, así como de las secciones estratigráficas, permiten determinar los tipos de actividad que caracterizan este volcán.

En el Barú, después de la primera erupción, en donde se derramaron lavas, se verificaron erupciones caracterizadas por su gran explosividad.

Los mecanismos de erupción son de tipo plineano, con una marcada componente treatomagmática.

FIGURA 8a



**RECONSTRUCCION ESQUEMATICA DE LA TRANSFORMACION MORFOLOGICA DEL VOLCAN BARU, COMO RESULTADO DEL TECTONISMO.**

Fuente: Restrepo D., A geochemical investigation of pleistocene to recent Calc-alkaline vulcanism in western Panamá, 1987.

Existen también restos de erupciones fisurales, evidenciadas por la presencia de escorias basálticas que se observan en la sección estratigráfica ubicada en el valle de Cerro Punta y en el Cerro Gordo. Además, se han reconocido depósitos de surge en la parte superior del último lahar en la localidad de Paso Ancho (fig. 21).

Se encuentran evidencias de distintos tipos de condiciones durante el mecanismo de erupción, que han provocado manifestaciones que indican la existencia de diferentes impulsos eruptivos entre una y otra erupción y hasta en una misma erupción. Estas semejanzas en los impulsos pueden estar relacionados con diferencias de densidad en la mezcla de gas y partículas de magma. Esta variación de densidad puede ser causada, o por disminución de la cantidad de sustancias volátiles en la mezcla, o por disminución de velocidad cuando la mezcla sale del cráter o por aumento del diámetro del conducto. Esta última opción parece excluirse pues, en erupciones siguientes, vuelven a repetirse las mismas manifestaciones que se dieron en erupciones anteriores.

Entre los materiales que se reconocen en el área señalamos:

1. Piroclastos de caída: las bombas con corteza de pan, pómez de caída, cenizas y arenas.
2. Flujos piroclásticos, algunos de los cuales contienen una gran cantidad de restos vegetales carbonizados.
3. Piroclastos reelaborados: lahares.
4. Depósitos de Surge.
5. Flujos de lava.
6. "Debris avalancha".
7. Domos.
8. Erupciones Fisurales.

### Los flujos piroclásticos

En los flujos piroclásticos los espesores varían de acuerdo con la morfología pre-existente. En la zona de Boquete se observan espesores de hasta 60-80 m. Estos flujos contienen frecuentemente restos de troncos carbonizados.

La frecuente presencia de flujos piroclásticos demuestra que el mecanismo de erupción provoca el colapso de la columna eruptiva. En estos flujos, los materiales están dispuestos en forma caótica observándose dos condiciones diferentes:

- Los flujos piroclásticos se encuentran sobre una base constituida por depósitos de cenizas y arenas de pómez de caída (figs. 16 y 18).
- A la base de los flujos piroclásticos no existen depósitos de caída (fig. 19).

Estas diferentes condiciones demuestran que, durante las erupciones, en algunas ocasiones, se forma una columna sostenida que luego colapsa y en otras, la columna no logra mantenerse en el aire y colapsa inmediatamente (figs. 23a y b).

Estos flujos piroclásticos constituyen una amenaza en cuanto son corrientes que fluyen por la pendiente con gran velocidad, fuerza de arrastre y alta temperatura.

## **Erupciones Freatomagmáticas**

La presencia de evidencias de erupciones freatomagmáticas constituye otra verdadera amenaza por la elevada velocidad con que se mueven las masas que descienden por la pendiente y su gran capacidad de arrastre.

Estas erupciones freatomagmáticas, se verifican cuando el magma que sube por el conducto volcánico entra en contacto con el agua contenida en los acuíferos subterráneos ubicados en los depósitos de productos emitidos por el volcán en sus erupciones anteriores.

El estudio de los xenolitos encontrados en los materiales del Barú, demuestran que la interacción entre agua y magma se verificó cerca de la superficie pues, los xenolitos encontrados son de lavas y piroclastos de erupciones recientes. Esto significa que el agua para la explosión freatomagmática proviene de acuíferos ubicados entre los materiales permeables que originaron el cono volcánico. Es por eso que es muy importante conocer la hidrogeología de la región y el tectonismo local.

En los depósitos de la última erupción, se nota un pasaje de materiales freatomagmáticos a lavas, lo que parece indicar que de una erupción freatomagmática se pasa a una erupción volcánica no explosiva, por haberse agotado el agua que interactúa con el magma. Esto hace suponer que el último conducto volcánico está en contacto con las rocas del basamento y no con las rocas que se formaron en las erupciones anteriores del Barú.

## **Depósitos de Surge**

La presencia de un depósito de surge es un caso extremo de gran importancia porque representa una gran liberación de energía mecánica, con una gran capacidad de destrucción. Estos depósitos se forman cuando la relación entre magma y agua está próxima al valor de 1 (Mike Sheridan y Ken Wolhertz, Arizona, State University) (fig. 24).

Evidencia de esta manifestación se observa en la última erupción y se reporta en la sección estratigráfica ubicada en Paso Ancho (fig. 21).

## **Erupción Fisural**

Las escorias basálticas localizadas en Cerro Gordo a 19 Km. al Oeste del cráter del volcán Barú y las que se señalan en la sección estratigráfica ubicada en la proximidad de Cerro Punta (fig. 17), se clasifican como materiales producidos por erupciones fisurales de un basalto que asciende rápidamente a la superficie atravesando la corteza y que proviene de las zonas profundas (manto).

Los análisis químicos, petrográficos y petrológicos de estas escorias, indican que el magma que las originó no es el mismo que originó las andesitas del Barú.

La ascensión de este basalto se verifica a través del sistema de realimentación de la cámara magmática superior que, a través de un conducto abierto, se comunica con las zonas más profundas. Este fenómeno constituye otra amenaza para la región, pues es un fenómeno que podría repetirse.

## **Domos**

En tres de los cráteres de las erupciones del segundo ciclo se observan domos (ver Mapa Geovulcanológico).

## **Piroclastos de caída**

Las secciones estratigráficas y los levantamientos geológicos muestran la frecuencia con la que el volcán Barú emitió piroclastos de caída como cenizas y arenas. En el Cerro Totuma (domo del volcán Colorado), al NW del Barú y en el Domo del Pando al Oeste del Barú, se encuentran cenizas de las erupciones del primer ciclo del Barú. Es frecuente observar en el área la presencia de bombas con "corteza de pan". La erupción explosiva del primer ciclo, provocó la formación de gran cantidad de piroclastos de caída.

## **Flujos de Lava**

El espesor de las coladas lávicas varía de 5 a 10m. en las partes altas del volcán y llegan hasta 40 - 50m. en las zonas frontales de dichas coladas.

Los flujos de lava se han localizado en las áreas próximas al cono volcánico. La primera erupción del Barú derramó gran cantidad de lavas, que se extendieron en todas las direcciones, mientras que, las siguientes erupciones se caracterizaron por la ausencia de lavas, probablemente, a causa del fenómeno freatomagmático. En las últimas erupciones se encuentran nuevamente lavas, que se derramaron, principalmente, hacia el Este. Las lavas se extendieron por mayor distancia hacia el Sur. En el río Macho de Monte, a la altura de Cuesta de Piedra, se observa un buen afloramiento de estas lavas.

## **"Debris Avalancha"**

Una porción del cono volcánico ubicada al Oeste se deslizó formando los cerros que se encuentran en los alrededores de Hato de Volcán. Entre estos cerros se mencionan el Macho de Monte, el Cerro Pon la Olla, el Cerro Potrero de Piedra, etc.

## **AREA DE INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD DEL BARU**

En una visión genérica de la zona en estudio, se observa que los productos del Barú se ubican en una área delimitada por los ríos Chiriquí Viejo y Caldera. Los materiales límites son los pertenecientes a las erupciones del volcán Colorado y las vulcanitas e intrusivos correspondientes al basamento Terciario; hacia el Sur se intercalan con los sedimentos costeros actuales (ver Mapa Geovulcanológico).

El Barú en su primera erupción, emitió principalmente lavas que se derramaron en todas las direcciones; las siguientes erupciones fueron explosivas caracterizándose por la gran variedad de materiales piroclásticos. Ya en la fase final del segundo ciclo vuelve nuevamente a presentar emisión de lavas que se derramaron hacia el Sur y el Este.

La distribución de los productos tipo: flujos de lavas, flujos piroclásticos y lahares ha sido

fuertemente influenciada por la morfología preexistente observándose la influencia de la barrera de la Cordillera de Talamanca y la escarpa que se formó después del primer ciclo de erupción. Estas barreras naturales han obligado a los diferentes flujos a distribuirse en forma de abanico dirigidos principalmente hacia el SE, S, SW y W del cono volcánico (ver mapa Geovolcanológico).

Las lavas de la primera erupción se derramaron en todas las direcciones: sin embargo, la distribución hacia el Norte fue limitada por la barrera natural de la cordillera de Talamanca. Hacia el Sur las lavas alcanzan grandes distancias. Se encuentran afloramientos hasta el río Macho de Monte, a la altura de Cuesta de Piedra.

Las lavas de la última erupción se derramaron principalmente en la parte de la depresión central que se formó en el primer cono volcánico.

Los flujos piroclásticos y los lahares se ubican en los valles, ya sea los que se encuentran a cota elevada que los que se encuentran a cota menores. En el sector SE, se observa una intercalación de flujos piroclásticos sobre lahares y, en algunas partes, se nota que existe una transición gradual en el curso de la misma erupción, entre lahares y lavas. Los flujos piroclásticos y los lahares dominan la parte meridional del volcán llegando hasta cotas bajas en las cercanías de la costa del Pacífico, en donde se encuentran intercalados con los sedimentos marinos, lacustres y aluvionales actuales.

Siendo la distribución de los productos piroclásticos de caída independiente de la morfología, su localización está condicionada, entre otros, por la dirección de los vientos, de los cuales se sabe que soplan de NE a SW y de SW a NE dependiendo de la estación. Son constantes del NE durante los meses de enero a abril. No existen en la región estaciones meteorológicas que tengan estos registros. Las secciones estratigráficas (figs. 16 y 21) demuestran que los productos piroclásticos se han distribuido en todas las direcciones. Sin embargo, las secciones del Norte y del NE, indican que los últimos materiales que se depositaron en éstas áreas son piroclastos de caída. Por otra parte grandes bombas volcánicas se encuentran a distancias considerables. Sobre el Cerro Totuma, al extremo NW del área, se han encontrado cenizas de pómez del Barú.

## **EFFECTOS COLATERALES**

Como en todos los desastres naturales, el vulcanismo crea condiciones aptas para provocar otros tipos de desastres colaterales como son: deslizamientos, inundaciones, etc.

En la evaluación general de la amenaza del Barú deben considerarse:

### **Deslizamientos**

Actualmente el área ubicada en los alrededores del volcán Barú está sujeta a fenómenos de deslizamientos por la poca coherencia de sus materiales, por sus pronunciadas escarpas morfológicas y tectónicas y por sus altas precipitaciones.

En la cuenca alta del Chiriquí Viejo y del Caldera, se reportan históricamente numerosos deslizamientos. Si se considera que el vulcanismo estará acompañado de constantes fenómenos sísmicos y precipitaciones que disminuyen la estabilidad de las laderas, será necesario realizar los estudios correspondientes.

## **Inundaciones**

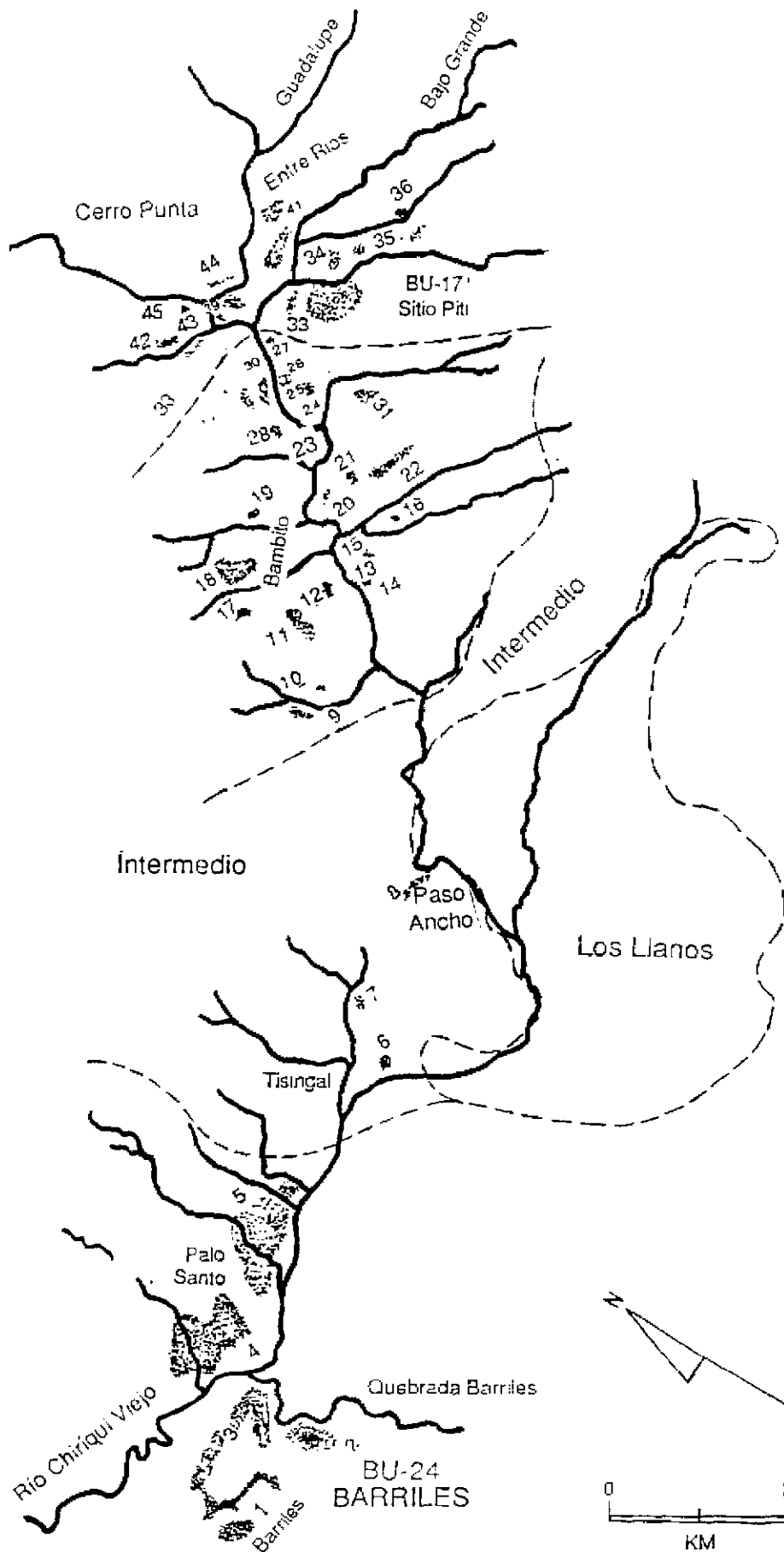
Durante la primera erupción del Volcán Barú, tres flujos se derramaron hacia el NW y llegaron hasta el área de Bambito provocando represas en la parte superior del río Chiriquí Viejo. Estas represas originaron la formación de un gran lago en el actual valle de Cerro Punta. Posteriormente, el río excavó el cañón de Bambito y drenó el lago. Esto provocó la desviación del antiguo cauce en la parte alta del río hacia el Oeste. Probablemente el río Chiriquí Viejo era lo que hoy es el río Macho de Monte o Gariché.

Existen depósitos lacustres, en la parte superior del cañón del río Chiriquí Viejo, que evidencian que las erupciones del volcán Colorado, también represaron este río con sus coladas lávicas o flujos piroclásticos. Estos depósitos lacustres antiguos están cubiertos por aglomerados y lavas andesíticas de las erupciones del primer ciclo del Barú.

Considerando que existe el angosto cañón de Bambito, que podría nuevamente ser obstruido por los materiales emitidos por el volcán Barú, podemos señalar que las inundaciones, en el área de Cerro Punta, pueden ser una amenaza.

Además, considerando que, durante una erupción volcánica, la atmósfera se carga de vapor de agua que luego precipita en forma de grandes lluvias y que esta zona ya está sujeta a desastres por inundaciones (tal y como se registran en 1938, 1969, 1970, 1984, 1986, 1987 y 1988), se debe concluir que todo plan de emergencia para el volcán Barú debe incluir un análisis y una preparación para las inundaciones que se verificarían como consecuencia de una erupción. Razonamientos análogos se pueden hacer para el río Caldera el cual tiene una larga historia de violentas inundaciones que podrían repetirse.





ALGUNOS DATOS DE CRONOLOGIA CON C<sub>14</sub>

- 60 AC ± 275
- 305 DC ± 95
- 315 DC ± 90
- 415 DC ± 210
- 455 DC ± 85
- 730 DC ± 85
- 820 DC ± 85
- 1210 DC ± 150

FIGURA 9

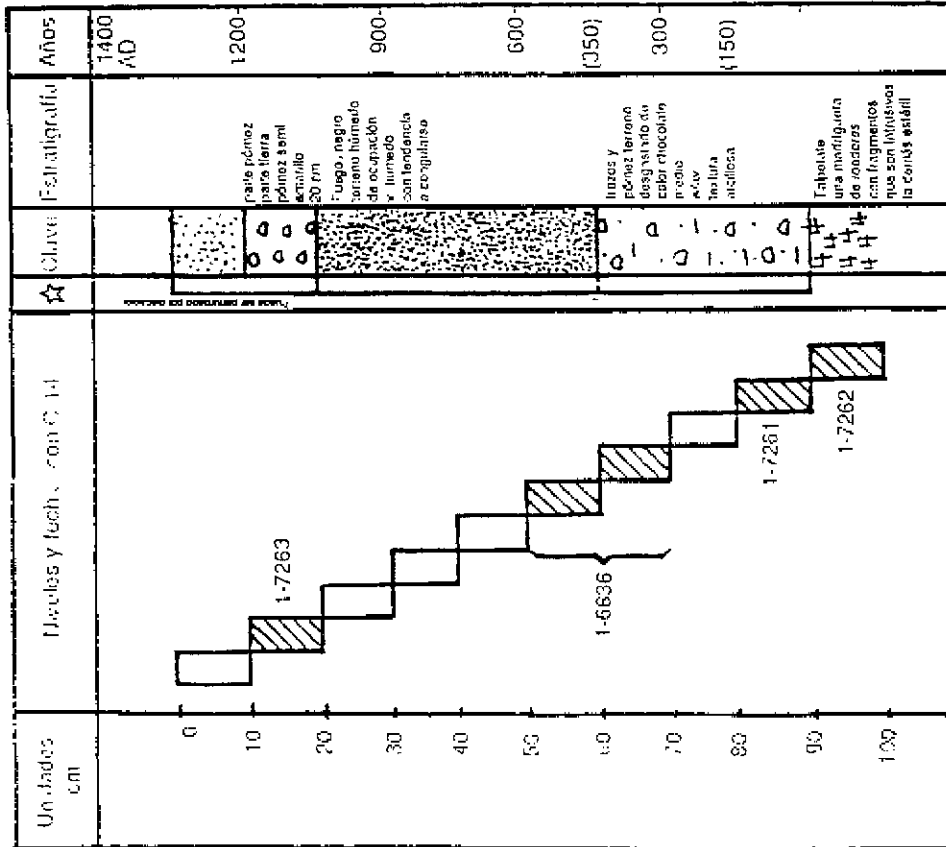
DISTRIBUCION DE LOS SITIOS ARQUEOLOGICOS DE LA CULTURA BARRILES  
Fuente: Linares, 1975

**Original  
en mal  
estado**

**PERFILES CON UBICACION DE MUESTRAS  
DATADOS CON C-14**

**BARRILES  
BU-24, CORTE 2  
(o T P #3)**

**FIGURA 10a**

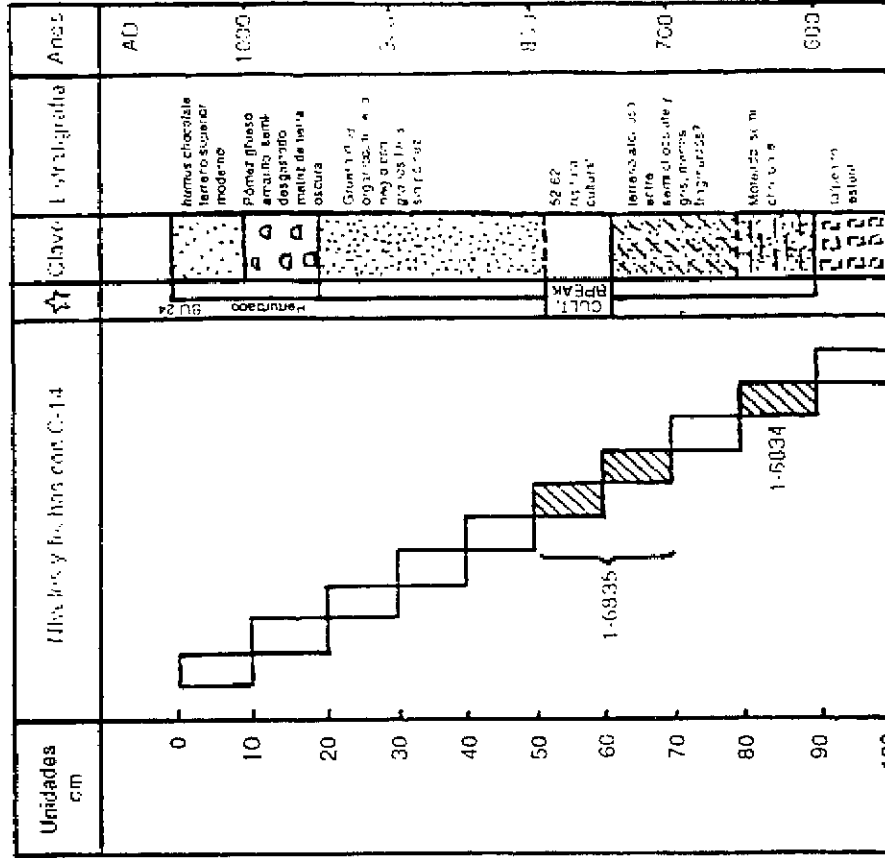


1-7263, Unidad 2, (10-20cm), #723, AD 1210 ± 150, w/1d st 1060-1300 AD  
 1-6836, Unidad 6, (#746), 50-60cm, Unidad 7, (#747), 60-70cm, #35, w/1s d - AD 315-525  
 1-7261, Unidad 9, (#771), 80-90cm, AD 415 ± 210, w/1d sd AD 205 AD 525  
 1-7262, Unidad 10 (#772), 90-100 cm, #680-275, w/1s d - 235 BC-AD 215

De perfil de datos para el codo humedo  
 1 - con la Unidad 10's Stewart 1978

**BARRILES  
BU-24, CORTE 1  
en el mismo sitio Barriles**

**FIGURA 10b**



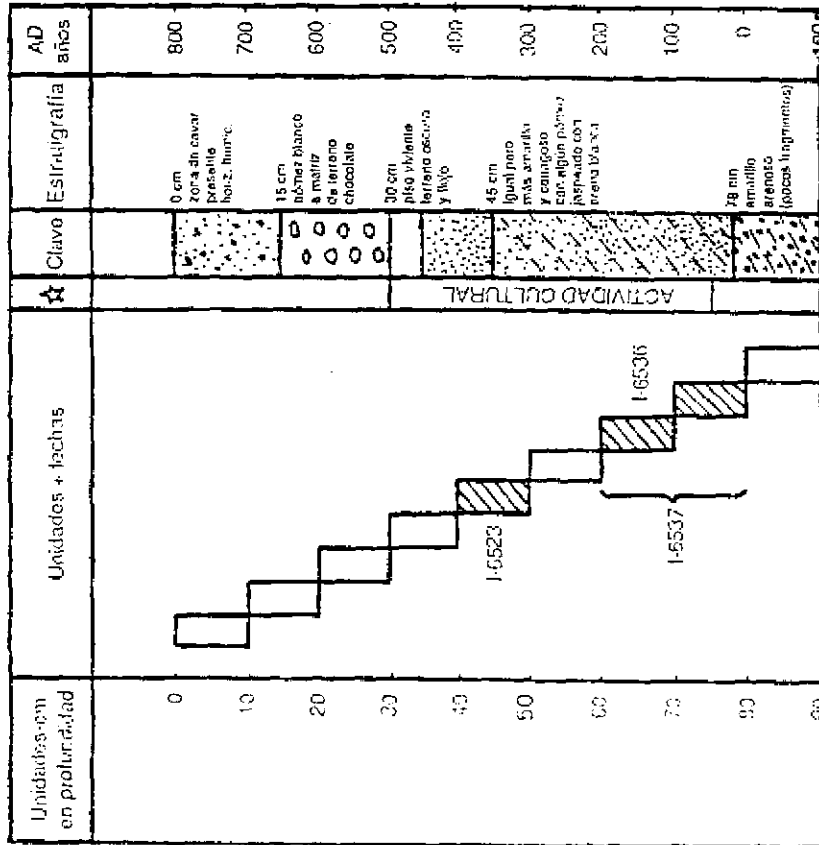
1-6835, Unidades 6+7, #7 674-676, AD 820-85, w/1s d - es de AD 775 d AD  
 905  
 1-6034 Unidad 9 (#720), AD 730-85 w/1d - 615-AD 915

**Original  
en mal  
estado**

PERFILES CON UBICACION DE MUESTRAS  
DATADOS CON C<sub>14</sub>

CERRO PUNTA  
Sitio Pitt  
BU-17, Localidad B  
T.P. 3

FIGURA 10c

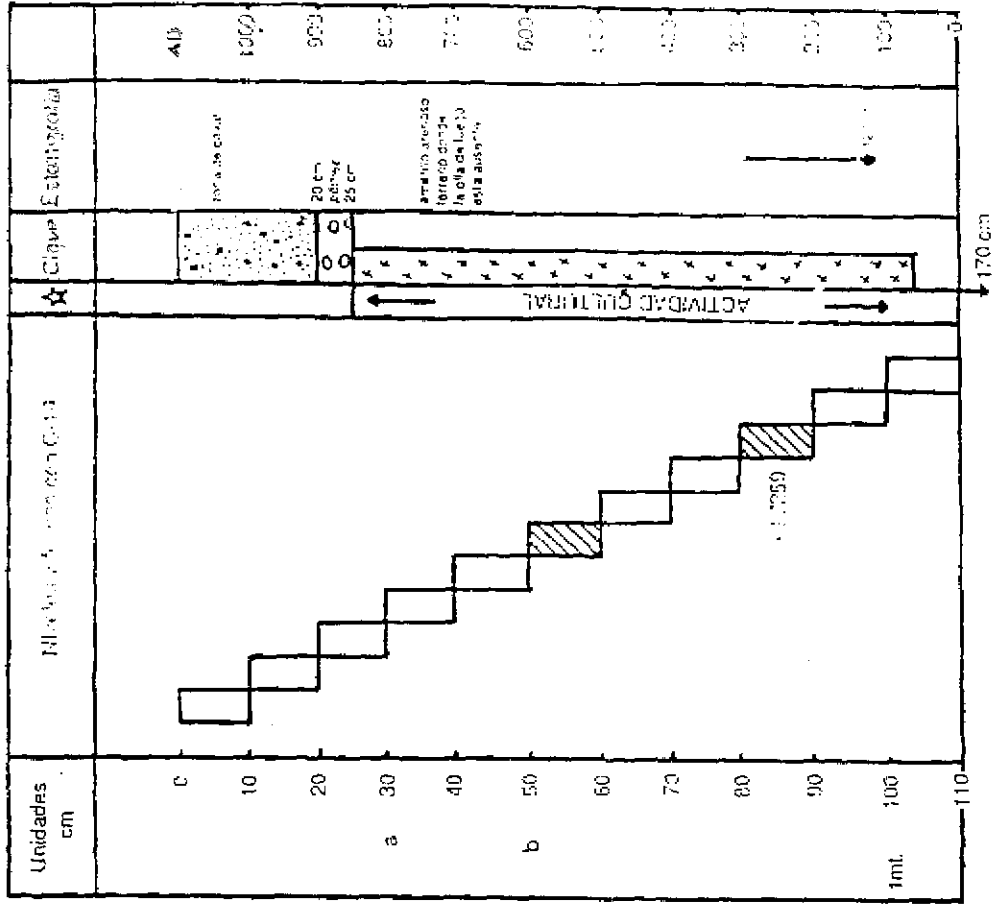


Gráficas de datos muestran una desviación estandar  
I-6523, Unidad 5, 40-50, AD 315 ± 90, Cal#611; w/1d.s.=AD 255 to AD 405  
I-6536, Unidad 7, 60-70, AD 305 ± 95, Cal#624; w/1d.s.=AD 215 to AD 395 ±160  
I-6537, Unidades 7+8, 60-80, AD 305 ± 80, Cal#625; w/1d.s.=AD 215 to AD 395 ±160

Fuente: Linnes 1975; Stewart 1978.

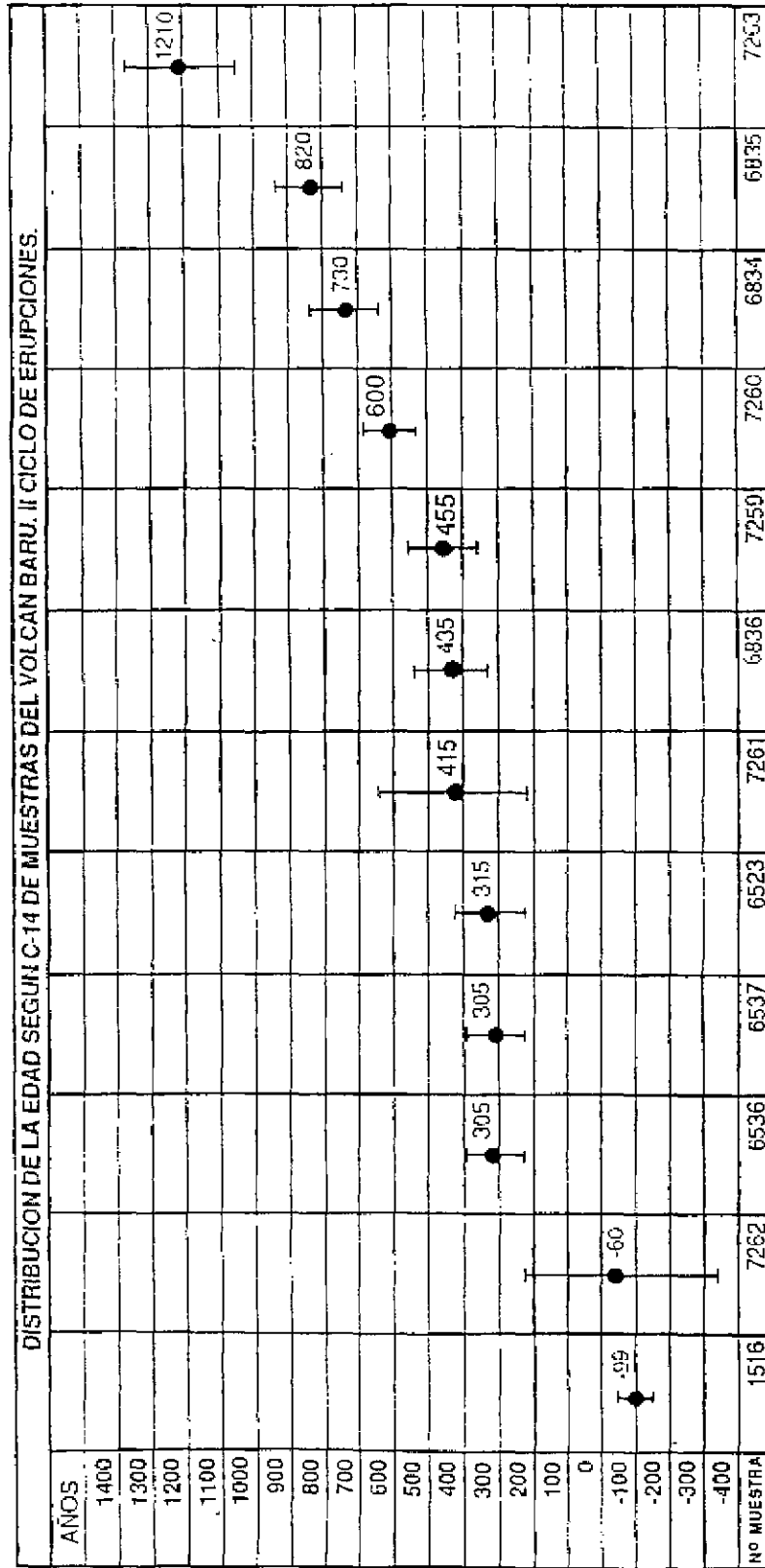
CERRO PUNTA  
Sitio Pitt  
BU-17, Localidad B  
T.P. 7

FIGURA 10d



I-7260, Unidad 6, 50-60cm, AD 600 ± 85, Cal#647; w/1d.s.=AD 515-685  
(esto proviene de nivelar parte del corte)  
I-7259, Unidad 9, 80-90cm, AD 455 ± 85, Cal#659; w/1d.s.=AD 370-540  
(esto proviene de 2ª masa de carbón, + al 127cms)  
(\*) las muestras de C-14 provienen del fogón  
(a), (b), etc, enviados al laboratorio de C-14

FIGURA 11



ELABORADO POR T. DESTRO, CON DATOS DE STEWART.

\* LA MUESTRA 7259 PROVIENE DE LOS CARBONES DE UN FOGON

FIGURA 12

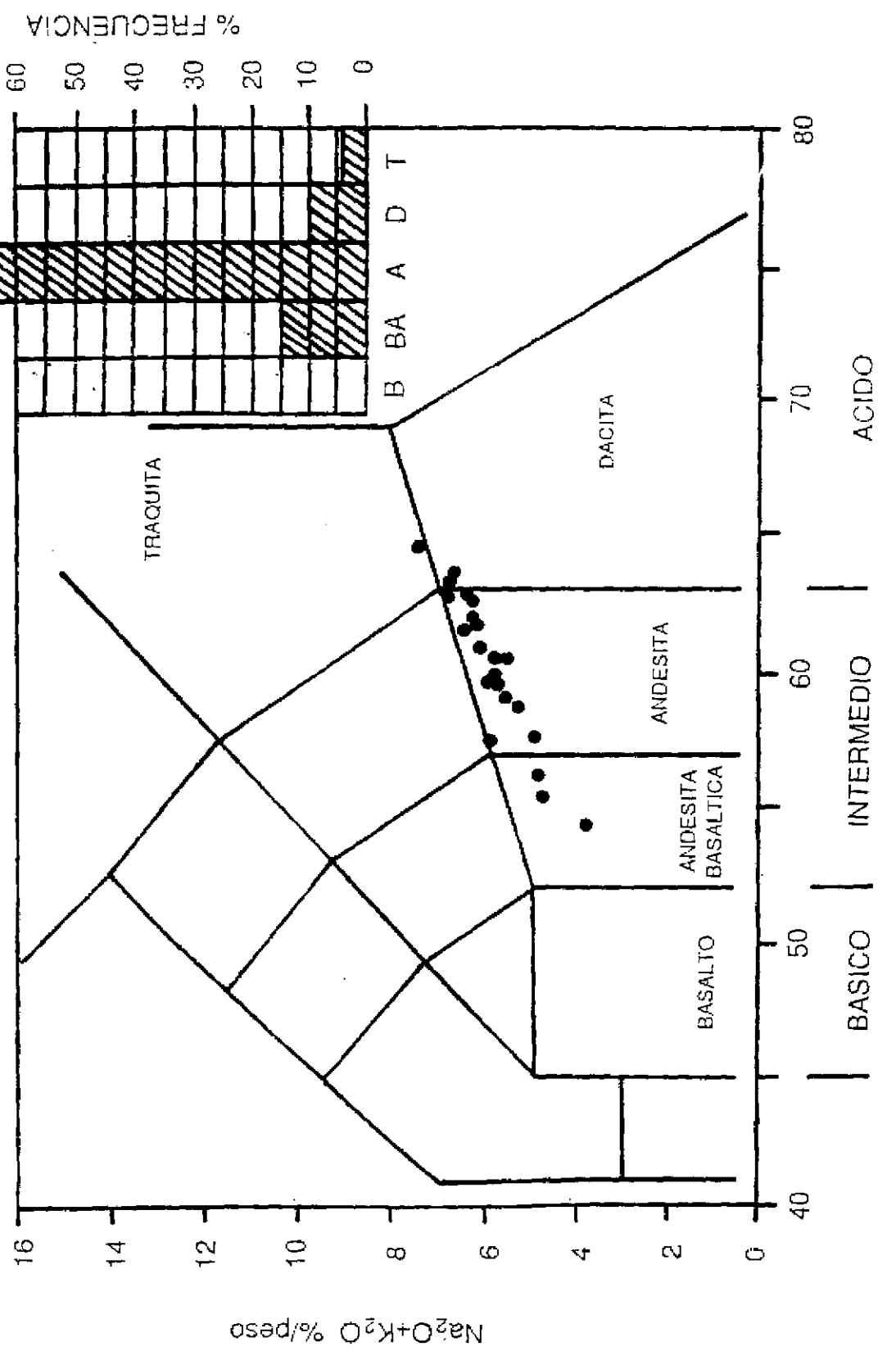
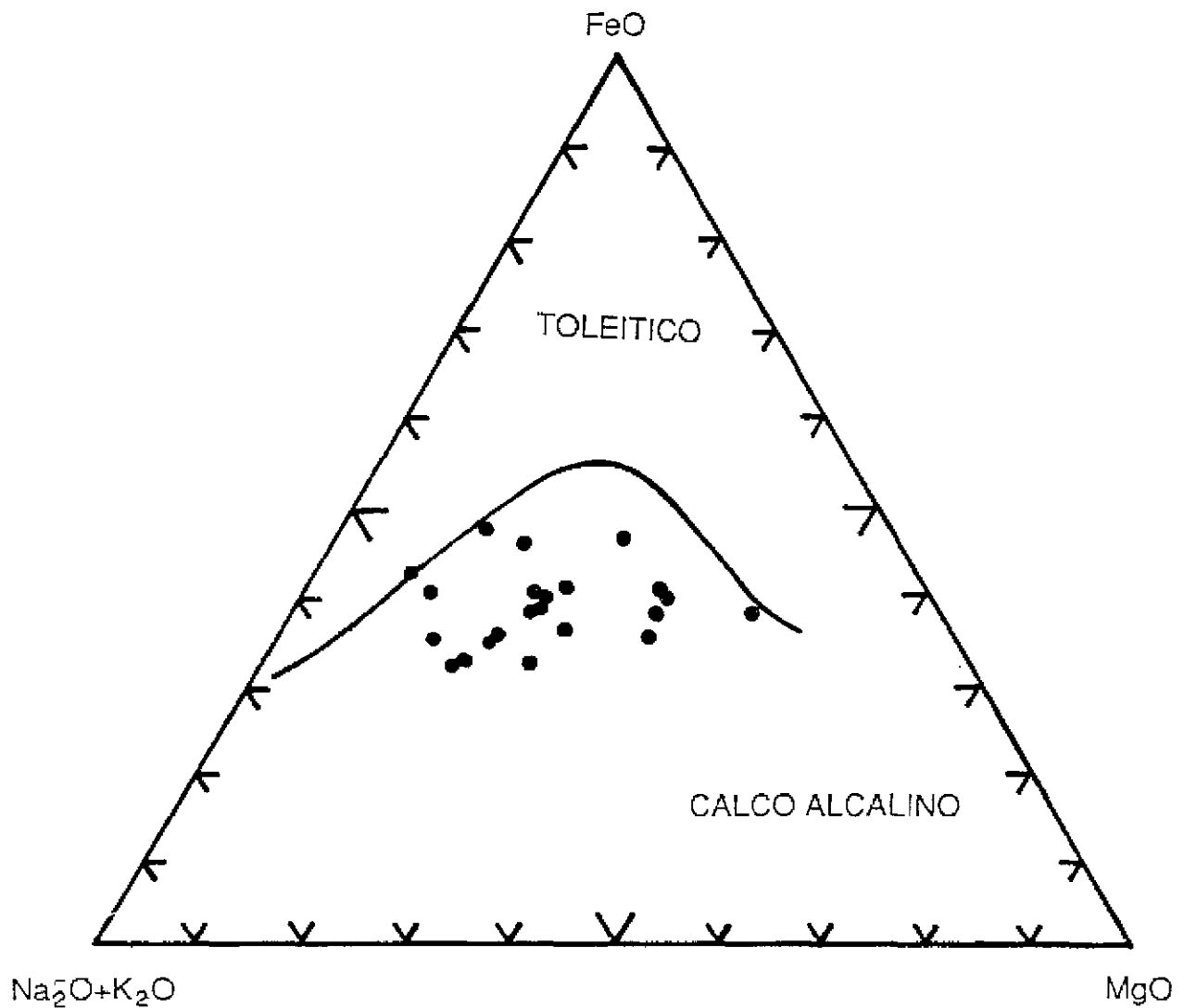


DIAGRAMA DEL TOTAL DE ALCALI VERSUS  $SiO_2$  CON LA DIVISION EN CAMPOS DE CLASIFICACION DE IUGS PARA MUESTRAS DEL VOLCAN BARU.

Fuente: A Geochemical investigation of Pleistocene to recent Calk-alkaline Volcanism in Western Panama, Restrepo, 1987. Adaptado al presente estudio por T. Destro.

FIGURA 13



**DIAGRAMA AFM DE LAS MUESTRAS DEL BARU, CON SEPARACION ENTRE MAGMA TOLEITICO Y CALCO ALCALINO DE IRVINE AND BARAGAR, 1971.**

Fuente: A Geochemical investigation of Pleistocene to recent Calc-alkaline Vulkanish in Western Panama, Restrepo, 1987. Adaptado al presente estudio por T. Destro.

FIGURA 14

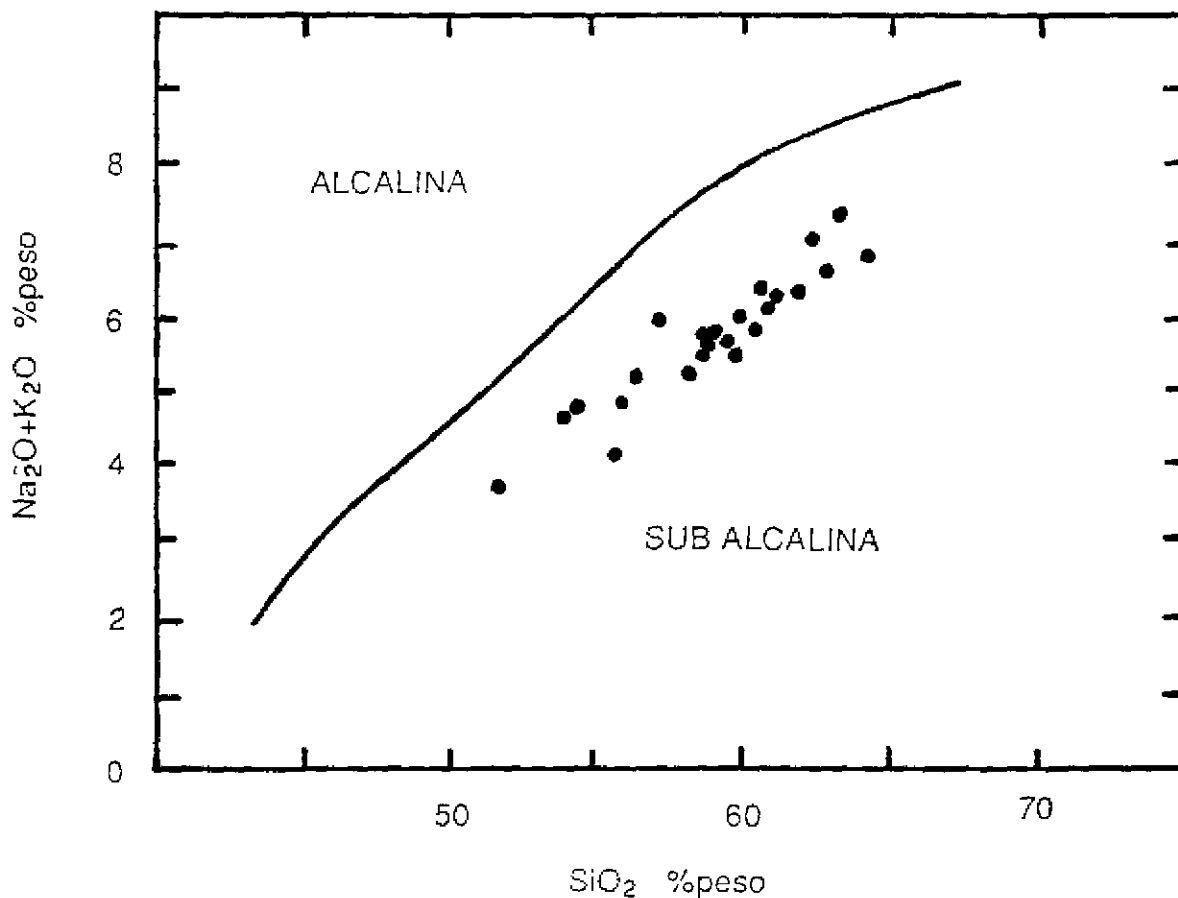
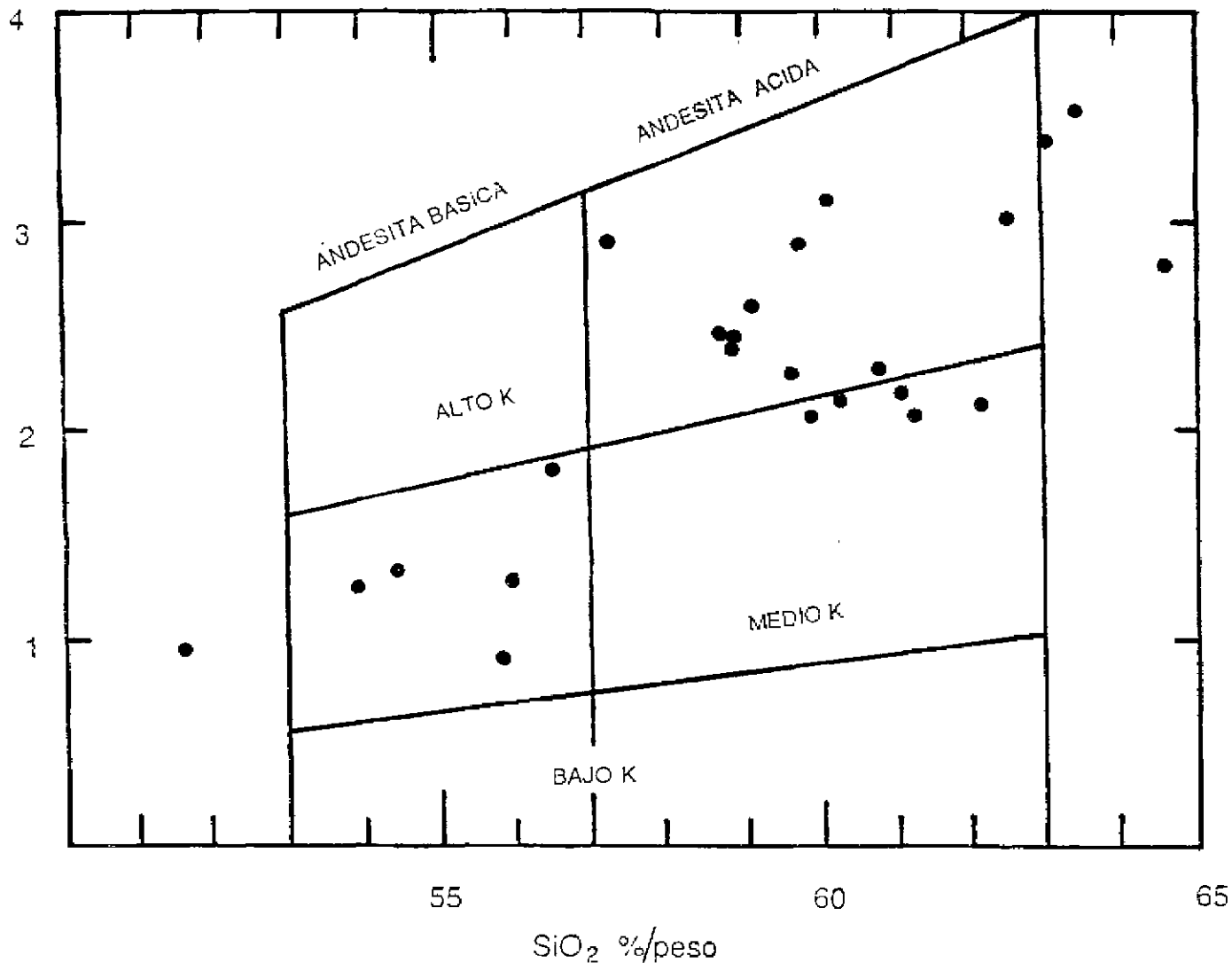


DIAGRAMA DEL TOTAL DE ALCALI VERSUS SiO<sub>2</sub> DE LAS MUESTRAS DEL VOLCAN BARU, CON SEPARACION ENTRE ALCALI Y SUB-ALCALINO DE IRVINE Y BARAGAR, 1971.

Fuente: A geochemical investigation of recent Calc-alkaline vulcanism in Western Panama, Restrepo, 1987. Adaptado al estudio por T. Destro.

FIGURA 15

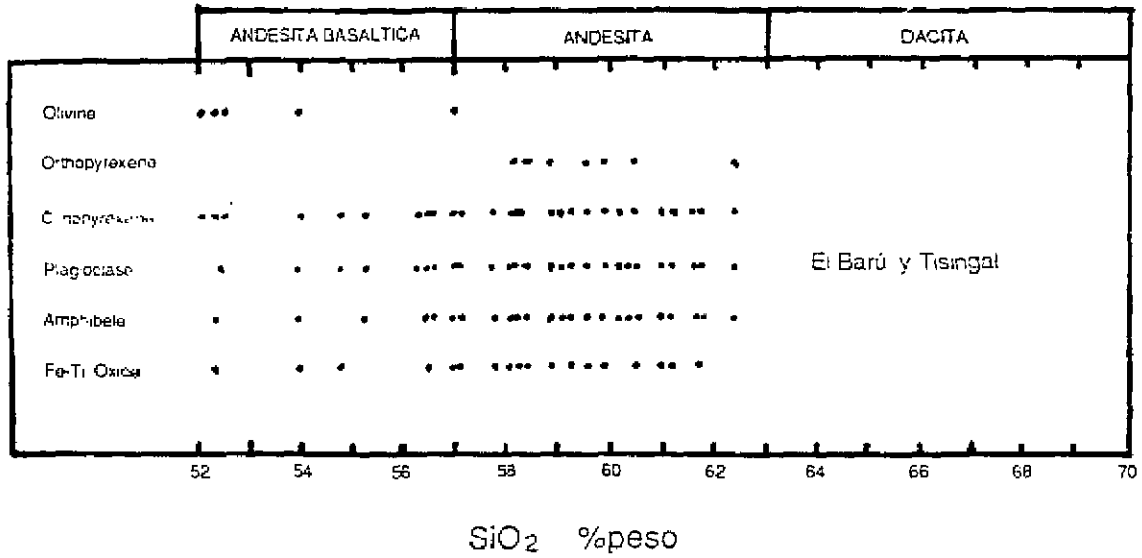


**CLASIFICACION DE LAS ANDESITAS BASADAS EN SiO<sub>2</sub> VERSUS K<sub>2</sub>O,  
MUESTRAS DEL VOLCAN BARU**

Fuente: A Geochemical investigation of Pleistocene to recent Calk-alkaline Vulkanish in Western Panama, Restrepo, 1987. Adaptado al presente estudio por T. Destro.



FIGURA 15a

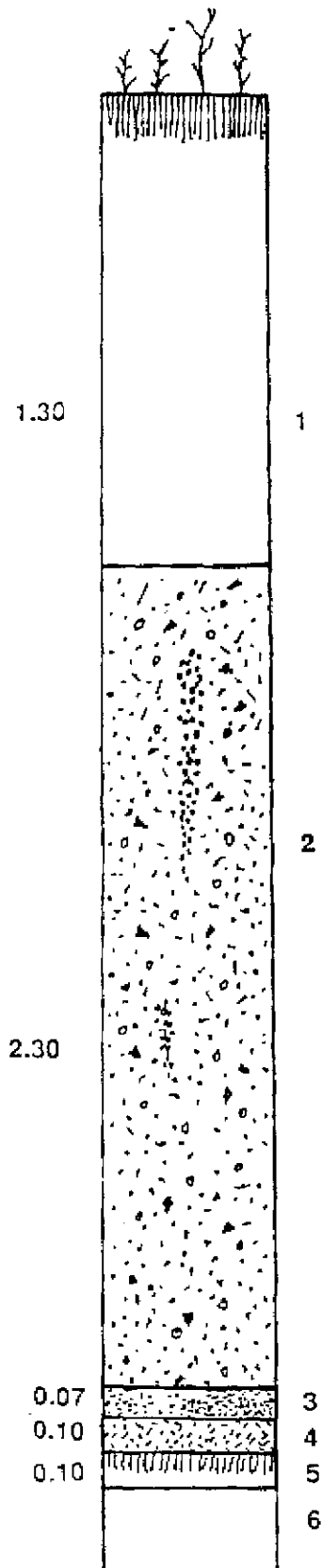


**ASOCIACION DE FENOCRISTALES VERSUS CONCENTRACION DE SiO<sub>2</sub> EN MUESTRAS DEL VOLCAN BARU.**

Fuente: a Geochemical Investigation of Pleistocene to recent Calc-alkaline Volcanism in Western Panama, Restrepo, 1987. Adaptado al estudio por T. Destro.

fig. 16

SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA  
ENTRE LA COMUNIDAD DE AGUACATE  
Y POTRERILLOS ABAJO, COTA 760 m.



LEYENDA

1. Suelo.
2. Flujo piroclástico.
3. Cenizas (arcilificada).
4. Arenas.
5. Paleosuelo.
6. Probable antiguo flujo piroclástico (muy arcilificado).

Fuente: IRHE - BID - OLADE, 1985

Espesor  
metros)

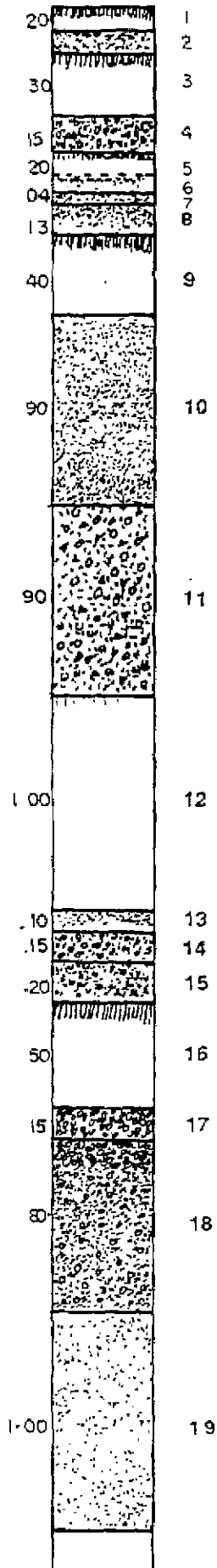


fig. 17

SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA  
AL NORTE DEL VOLCAN BARU,  
COTA 2200 m.s.n.m

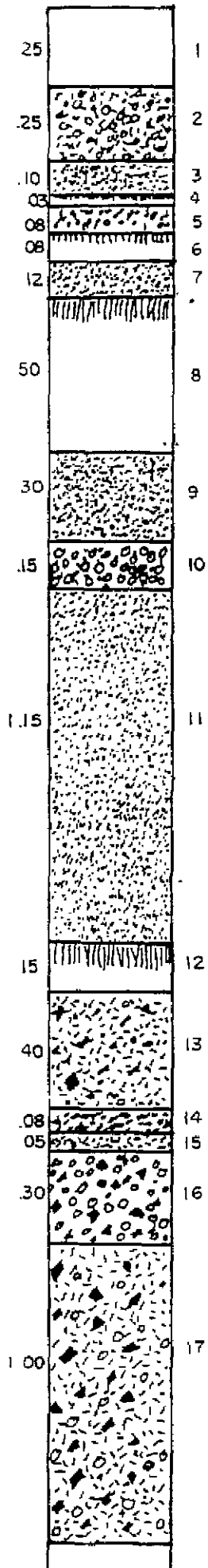
LEYENDA

1. Suelo.
2. Pómez de Caída.
3. Paleosuelo.
4. Pómez de caída con arena.
5. Paleosuelo.
6. Cenizas.
7. Arenas de caída con pequeños xenolitos.
8. Cenizas de caída.
9. Paleosuelo.
10. Cenizas de caída.
11. Productos de caída compuesto por: pómez gris de hasta 30/40 cm.; pómez amarillento de hasta 15 cm.; xenolitos de hasta 10/15 cm. Arena y carbón.
12. Paleosuelo.
13. Cenizas de caída.
14. Arenas de caída con pómez.
15. Cenizas con pómez.
16. Paleosuelo.
17. Producto de caída: escoria básica.
18. Ceniza de caída con pómez de 1 a 5 cm.
19. Cenizas de caída.

Fuente: IRHE - BID - OLADE, 1985

fig. 18

SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA EN LA VERTIENTE ESTE DEL CONO DEL VOLCAN BARU, COTA 2890 m.



LEYENDA

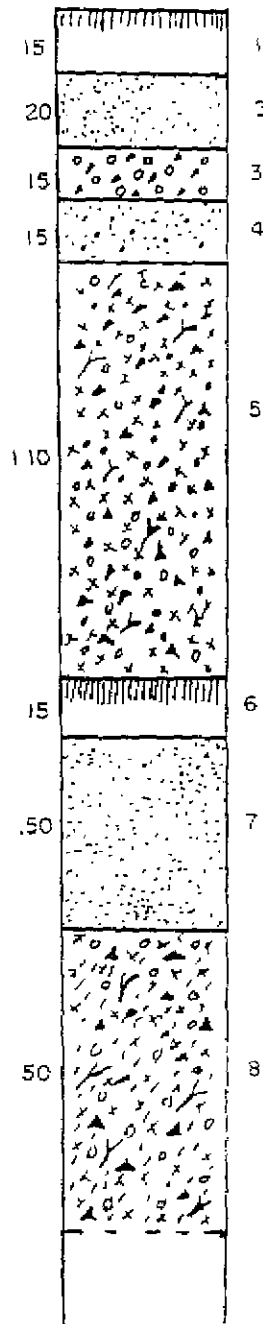
1. Suelo.
2. Materiales de caída: pómez de hasta 5 cm. y arena constituida por pómez y xenolitos.
3. Cenizas y arenas.
4. Paleosuelo.
5. Pómez de caída de hasta 3 cm. con xenolitos de hasta 1 cm.
6. Paleosuelo
7. Cenizas.
8. Paleosuelo.
9. Cenizas.
10. Material de caída: pómez de hasta 15 cm y otros con granulometría más pequeña.
11. Cenizas.
12. Paleosuelo.
13. Flujo piroclástico: arena, xenolitos de hasta 15 cm. Se encuentra además en menor cantidad pómez.
14. Pómez de caída con xenolitos.
15. Cenizas.
16. Material de caída constituido prevalentemente de xenolitos de hasta 10 cm. Además, pómez de hasta 6-8 cm.
17. Flujo piroclástico: Prevalentemente xenolitos de hasta 10 cm. Además pómez de hasta 6 cm., abundante matriz arenosa.

Fuente: IRHE - BID - OLADE, 1985

fig.19

SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA A  
1.3 Km AL SUR DE AGUACATE,  
VOLCAN BARU, COTA 2100 m.

Espesor  
(metros)



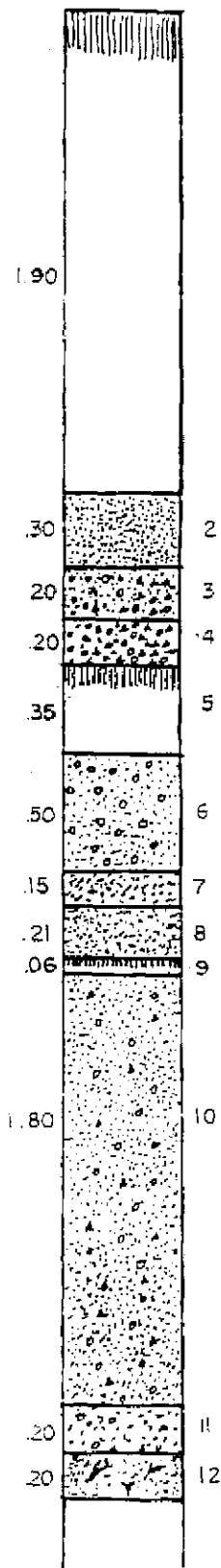
LEYENDA

1. Suelo.
2. Material de caída- cenizas.
3. Material de caída: pómez y xenolitos.
4. Flujo piroclástico.
5. Flujo piroclástico con abundante xenolito, cristales sueltos, pómez y carbón.
6. Paleosuelo.
7. Material de caída- cenizas gris y rosada.
8. Flujo piroclástico con abundantes xenolitos, arena, cristales sueltos, pómez y carbón de gran tamaño.

Fuente: IRHE - SID - CLADE, 1985

fig.20

SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA EN EL ALTON, AL OESTE DEL VOLCAN BARU, COTA 2102 m.s.n.m.



LEYENDA

1. Capa de suelo.
2. Depósito de cenizas de caída (arcilificada).
3. Cenizas de caída con pómez y xenolitos.
4. Pómez de caída con fragmentos de pómez de hasta 6 cm. y xenolitos 1 cm.
5. Paleosuelo.
6. Cenizas de caída con pómez (arcilificada).
7. Pómez de caída con fragmentos de hasta 4 cm.
8. Cenizas de caída con arena (arcilificada)
9. Paleosuelo.
10. Cenizas de caída con xenolitos y cenizas (arcilificada).
11. Arena de pómez con xenolitos y cenizas (arcilificada).
12. Cenizas con carbones (arcilificada).

FUENTE: IRHE, BID, OLADE, 1985

espesor  
(metros)

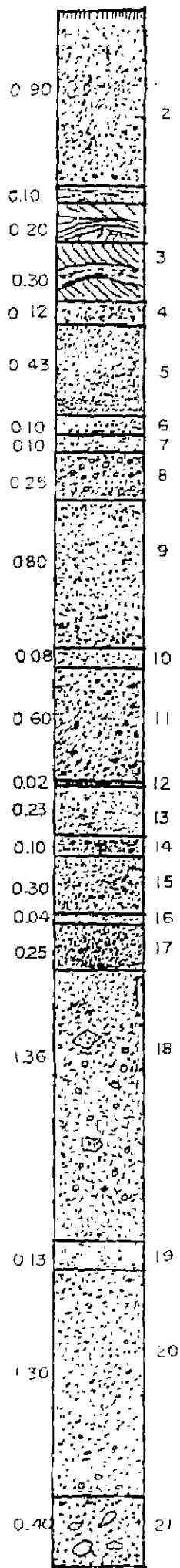
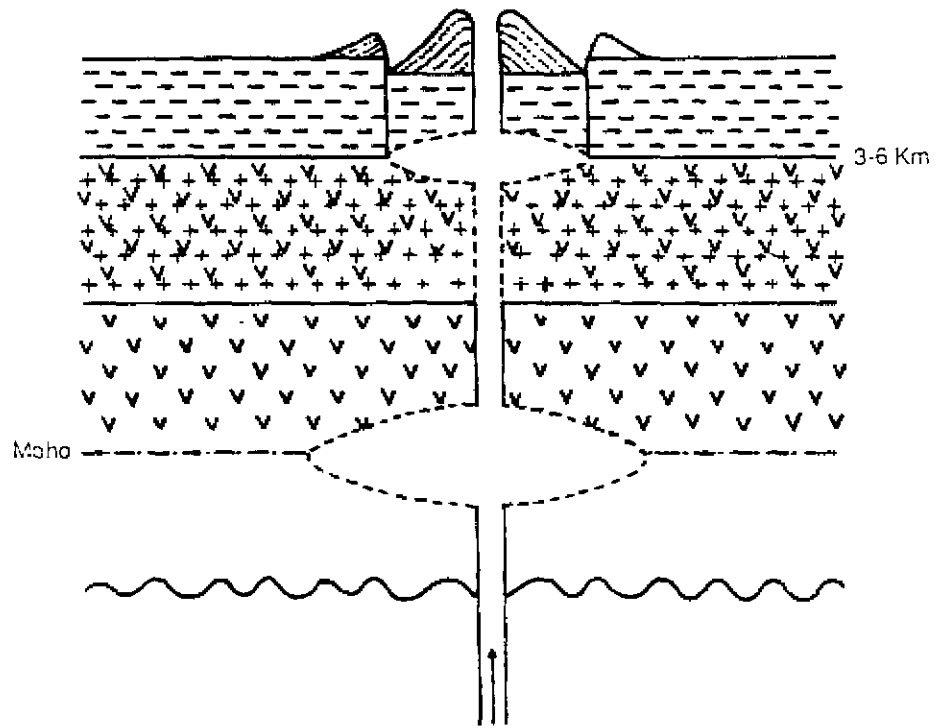


fig. 21 SECCION ESTRATIGRAFICA UBICADA EN LA LOCALIDAD PASO ANCHO AL OESTE DEL VOLCAN BARU, COTA 1520 m.

LEYENDA

1. Suelo muy reducido.
  2. Material de caída: intercalaciones de arenas finas y gruesas con depósitos de cenizas. En la base del depósito se observa arena gruesa con xenolito de hasta 5 cm.
  3. Depósito de Surge.
  4. Intercalaciones de cenizas gris y amarilla.
  5. Material de caída.
  6. Depósito con estratificación gradada de pómez poco clasificada.
  7. Intercalaciones de cenizas amarilla y gris.
  8. Material de caída.
  9. Arena gris.
  10. Intercalaciones de cenizas gris y amarilla.
  11. Arena gris de pómez con xenolitos de 2-3 cm.
  12. Ceniza amarilla.
  13. Material de caída- cenizas.
  14. Material de caída- pómez y arena.
  15. Depósito gradado desde arena hasta ceniza.
  16. Cenizas amarillas separadas de arena gris.
  17. Material de caída- arena gris.
  18. Lahar.
  19. Arena gris fina con 4-5 niveles de cenizas amarillas
  20. Arena gris con xenolitos y pómez de 1-2 cm
  21. Arena con bloques redondeados de 35-40 cm.
- Fuente: IRHE - BID - OLADE, 1985

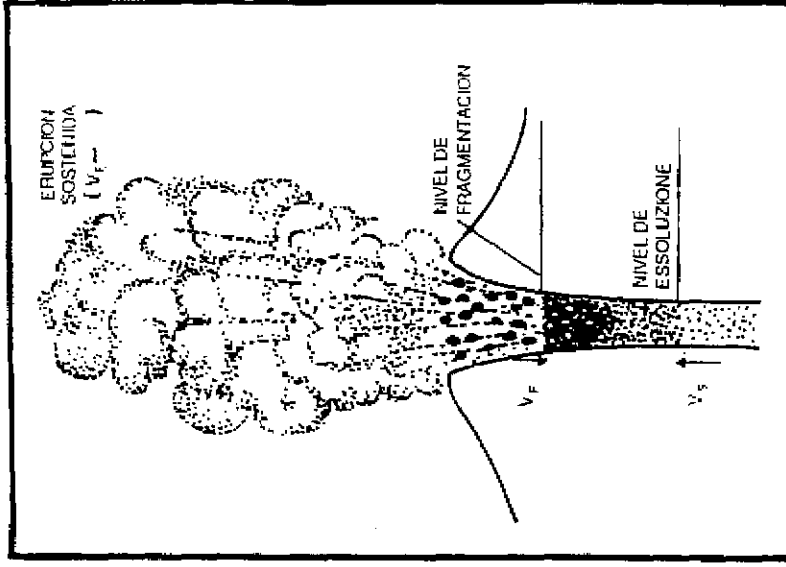
FIG. 22



ESQUEMA DE LA CAMARA MAGMATICA  
DEL VOLCAN BARU

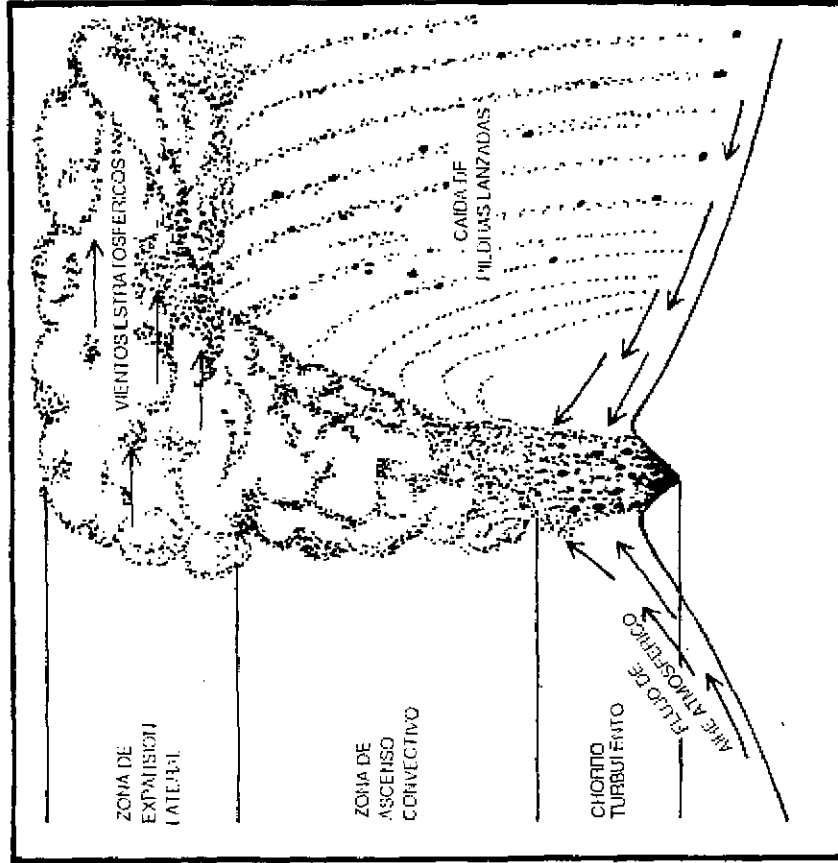


FIGURA 23a



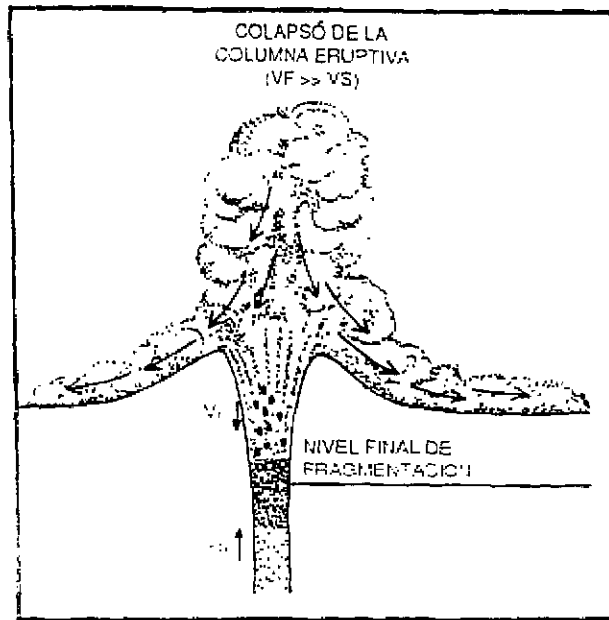
ESQUEMA DE UNA COLUMNA ERUPTIVA QUE SE MANTIENE EN EL AIRE

FIGURA 23



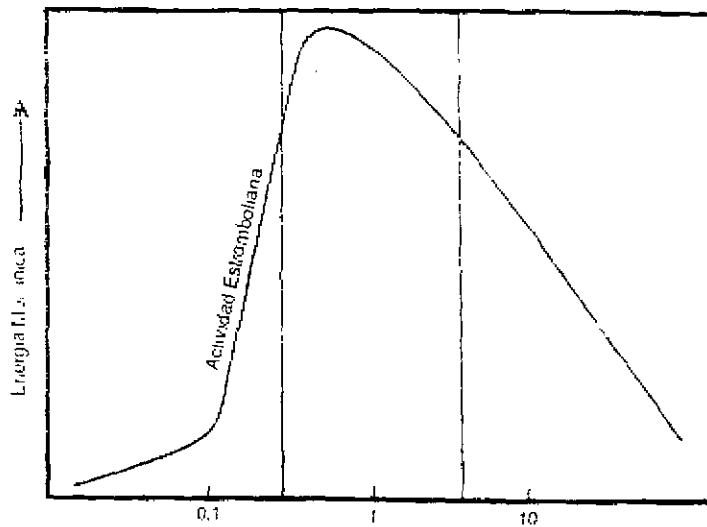
ESQUEMA DE UNA COLUMNA ERUPTIVA QUE PERMITE LA FORMACION DE MATERIALES PIROCLASTICOS

FIGURA 23b



COLAPSO DE LA COLUMNA CON FORMACION DE FLUJOS PIROCLASTICOS QUE FRECUENTEMENTE CARBONIZAN LOS TRONCOS VEGETALES Y LOS ARRASTRAN.

FIGURA 24



RELACION ENTRE AGUA Y MAGMA

ERUPCIONES FREATOMAGMATICAS EN DONDE LA RELACION ENTRE EL PESO DEL MAGMA Y EL PESO DEL AGUA ESTAN EN EL ORDEN DE 0.1 Y 1, OBTENIENDOSE COMO RESULTADO LA MAXIMA EFICIENCIA MECANICA EN LA TRANSFORMACION DE LA ENERGIA TERMICA