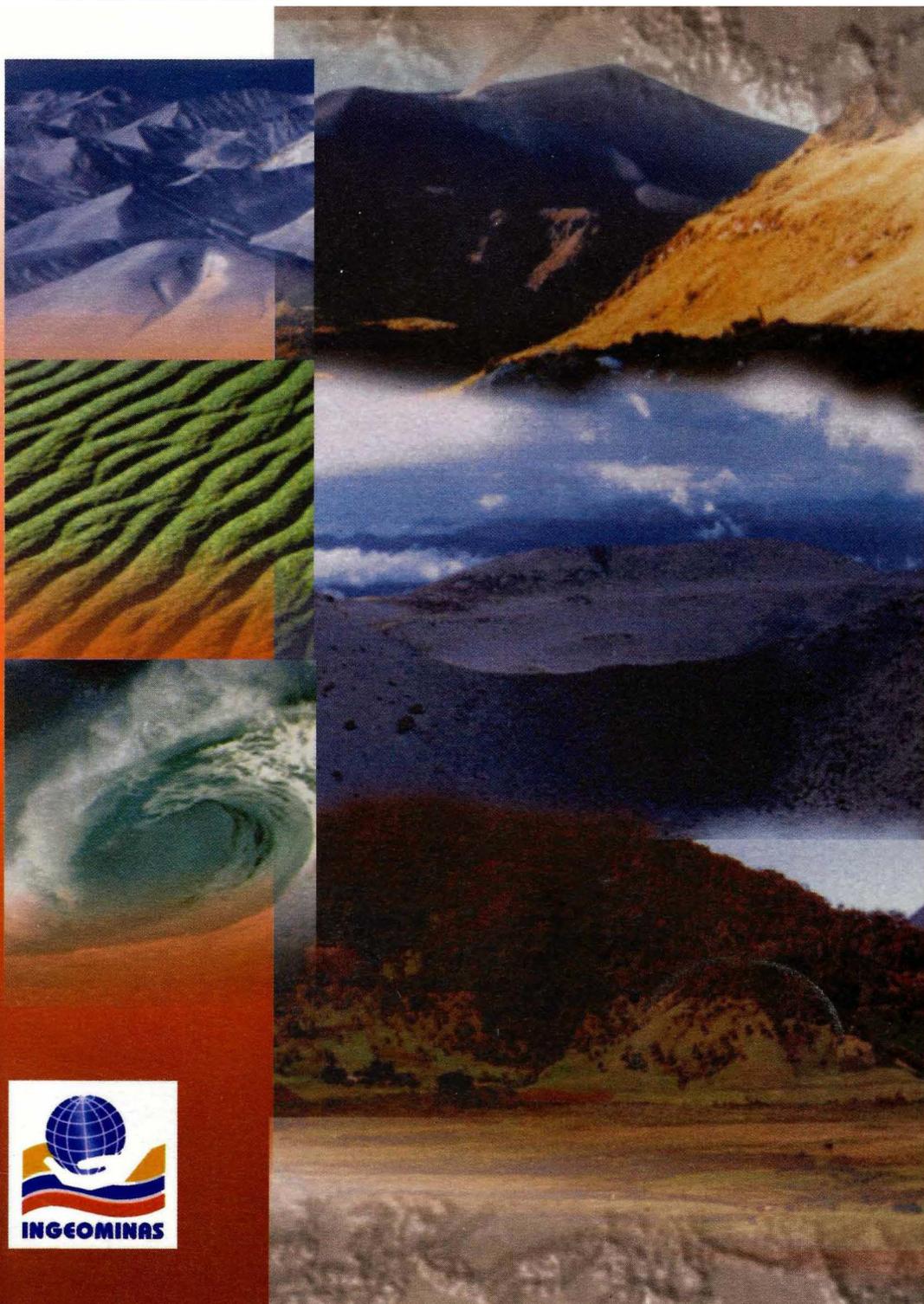


ISSN-0120-1425

BOLETÍN GEOLOGICO

Vol, 37, No. 1-3, pp 1-51, 1999 Santafé de Bogotá, D.C.



**CALDERA
DEL PALETARA:
Aproximación
a la fuente de las
ignimbritas del
Cauca y Huila
(Colombia)**

**CADENA
VOLCANICA
DE LOS
COCONUCOS
(Colombia):
Centros eruptivos
y productos
recientes.**

República de Colombia,
Ministerio de Minas y Energía
Instituto de Investigaciones
en Geociencias, Minería
y Química.





REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACION E INFORMACION GEOCIENTIFICA, MINERO-
AMBIENTAL Y NUCLEAR

INGEOMINAS

BOLETIN GEOLOGICO

CONTENIDO GENERAL

| | | <u>Página</u> |
|---|---|---------------|
| María Patricia Torres. María Luisa Monsalve. Bernardo Pulgarín. Hector Cepeda. | CALDERA DE PALETARA: APROXIMACION A LA FUENTE DE LAS IGNIMBRITAS DEL CAUCA Y HUILA (COLOMBIA) | 1-15 |
| María Luisa Monsalve. Bernardo Pulgarín A. | CADENA VOLCANICA DE LOS COCONUCOS (COLOMBIA) CENTROS ERUPTIVOS Y PRODUCTOS RECIENTES | 17-51 |

VOLUMEN 37, N° 1-3, PP. 1-51, 1999
Santafé de Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 - 1425

Bol. Geol.
Ingeominas

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y QUIMICA

INGEOMINAS

UNIDAD OPERATIVA POPAYAN
OBSERVATORIO VULCANOLOGICO Y SISMOLOGICO

CALDERA DE PALETARA : APROXIMACION A LA FUENTE DE LAS IGNIMBRITAS DEL CAUCA Y HUILA (COLOMBIA)

María Patricia Torres
María Luisa Monsalve
Bernardo Pulgarín
Héctor Cepeda

Popayán, Junio de 1995

CONTENIDO

Pág.

CALDERA DE PALETARA: APROXIMACION A LA FUENTE DE LAS IGNIMBRITAS DEL CAUCA Y HUILA (COLOMBIA)

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| INTRODUCCION | 2 |
| 2. EVIDENCIAS SOBRE LA EXISTENCIA DE LA MEGAESTRUCTURA CALDERICA DE PALETARA | 4 |
| 2.1. IGNIMBRITAS | 6 |
| 2.2. MORFOLOGIA | 8 |
| 2.3. PATRON ESTRUCTURAL Y VULCANISMO RESURGENTE | 10 |
| 2.4. FUENTES TERMALES Y ANOMALIA DE HELIO | 10 |
| 3. DISCUSION - CONCLUSIONES | 13 |
| 4. BIBLIOGRAFIA | 15 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. Ubicación Caldera de Paletará y Fuentes Termales asociadas | 3 |
| FIGURA 2. Distribución geográfica de las ignimbritas, asociadas a la Caldera de Paletará, en los Departamentos del Cauca y del Huila..... | 5 |
| FIGURA 3. Diagrama de variación geoquímica con respecto al contenido de SiO ₂ de algunas ignimbritas cenozoicas de los Departamentos del Huila, Cauca y Nariño | 7 |
| FIGURA 4. Cadena volcánica de los Coconucos, vista desde el Valle de Paletará ... | 9 |
| FIGURA 5. Borde caldérico en el Valle de Paletará: colinas levantadas tectónicamente | 9 |
| FIGURA 6. Interpretación de la imagen de Satelite Landsad TM, banda 7 | 11 |
| FIGURA 7. Actividad Fumarólica del Volcán Puracé | 12 |

RESUMEN

Los grandes volúmenes de piroclastitas y de flujos de lava, ubicados al oeste y al este de la Cordillera Central Colombiana, que rellenan las depresiones intercordilleranas Cauca-Patía y Magdalena, están asociados a estructuras caldéricas, actualmente erosionadas y cubiertas con material volcánico reciente.

Con base en correlaciones de datos de trabajos de campo, análisis de distribución geográfica de fuentes termales y de mantos ignimbríticos, reportados por varios autores, así como también por interpretación de imágenes de satélite y de fotografías aéreas, se propone la existencia de una megaestructura caldérica, ubicada al sur de la Cordillera Central de Colombia en los departamentos del Cauca y del Huila.

La caldera de Paletará, nombre con el que se denominará la estructura, está localizada en el sector comprendido por el valle de Paletará y la laguna de San Rafael; en su interior se encuentra la Cadena Volcánica de los Coconucos y varias estructuras de origen freatomagmático

La caldera de Paletará tiene un diámetro aproximado de 35 km, es una caldera de colapso con volcanismo resurgente, presentado entre otros por la cadena volcánica de los Coconucos, y constituiría la fuente, sino de todas, de gran parte de las ignimbritas del Cauca y del Huila.

INTRODUCCION

En los departamentos de Cauca y Huila (Colombia), en los flancos oriental y occidental de la Cordillera Central y en las depresiones interandinas Cauca-Patía y Magdalena, desde los 2° hasta los 2°39'36" de Latitud N, se han reconocido vastas secuencias ignimbríticas, cuyas fuentes se relacionan vagamente con «estructuras», no definidas, de la parte media de la Cordillera Central (KROONENBERG y otros, 1981; MURCIA y PICHLER, 1986; TORRES y otros, 1992; ORREGO y otros, 1993).

En los trabajos geológicos de campo en la Cadena Volcánica de Los Coconucos, específicamente en el Valle de Paletará (3000 msnm), se encontraron evidencias estructurales, morfológicas y litológicas que conducen a pensar en la existencia de una gran estructura caldérica, la cual por su localización y dimensiones puede ser la fuente de las ignimbritas de los departamentos del Cauca y del Huila.

Esta estructura, aquí denominada Caldera de Paletará, está localizada en la cima de la Cordillera Central, en el área comprendida por el Valle de Paletará, la Cadena Volcánica de Los Coconucos (CVLC), la zona de la laguna de San Rafael, al norte, y delimitada por las colinas de Piedra de León, al oeste, y el sector más occidental de la vereda Yarumal, al este (Figura 1), en jurisdicción del Parque Nacional Natural Puracé. La CVLC, orientada NNW, se encuentra ligeramente al noreste del centro de esta caldera.

El objetivo de este trabajo es proponer, basado en datos de campo, en la interpretación de la imagen de satélite Landsat, banda 7, en papel, de fotografías aéreas y en trabajos anteriores, la existencia de la megaestructura caldérica de Paletará; además, llamar la atención con el fin de promover investigaciones futuras que lleven a la delimitación precisa de la estructura y a un mejor entendimiento del origen de las ignimbritas de los departamentos del Cauca y Huila, así como a relieves la importancia que significa el descubrimiento de una megaestructura caldérica como fuente potencial de una gran anomalía térmica y asociación con depósitos minerales.

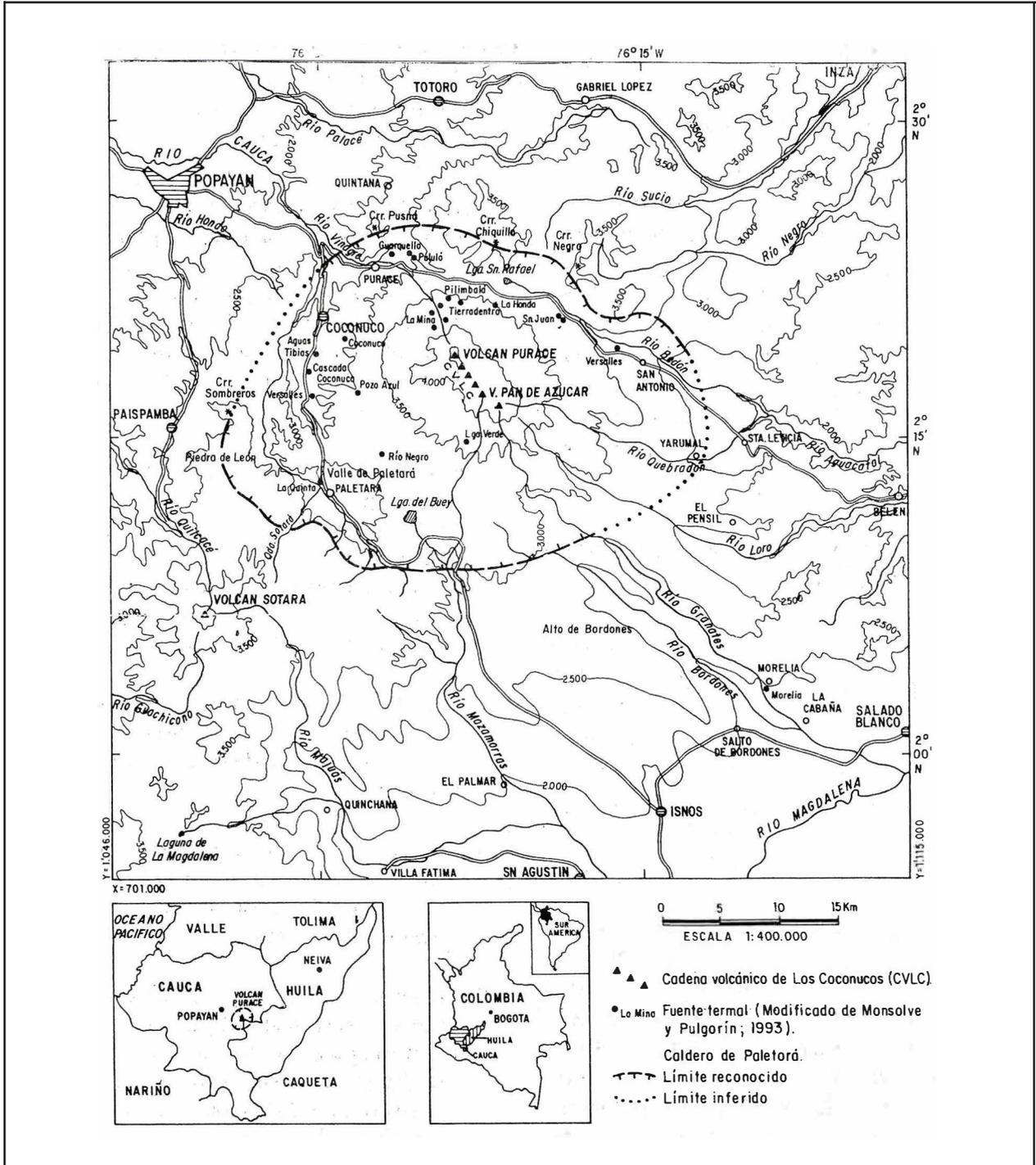


FIGURA 1.
Ubicación Caldera de Paletará y Fuentes Termales asociadas.

2. EVIDENCIAS SOBRE LA EXISTENCIA DE LA MEGAESTRUCTURA CALDERICA DE PALETARA

En la región sur de Los Andes de Colombia, existe una extensa provincia ignimbrítica, expuesta a lado y lado de la Cordillera Central, así como en las depresiones interandinas del Magdalena y Cauca-Patía, la cual no ha sido aún muy bien estudiada y cuya fuente ha constituido un problema vulcanológico a resolver, si se tienen en cuenta los grandes volúmenes de ignimbritas.

El presente trabajo muestra evidencias acerca del lugar y estructura volcánica que dió origen a gran parte de las ignimbritas terciario-cuaternarias presentes en las partes altas de las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y Patía, circunscritas a los departamentos del Cauca y Huila.

Tales evidencias indican la presencia de una megaestructura caldérica en el sector de Paletará, la cual puede constituir la fuente (o una de ellas) de gran parte de las ignimbritas que afloran en los valles y paleovalles de los ríos que nacen en los sectores de Paletará, la CVLC y sus inmediaciones; los principales son el Quilcacé y el Guachicono, en la cuenca del Patía; Los Robles, Hondo y Cauca, en la cuenca de éste último; y el Bedón, Loro, Granates, Bordones y Mazamorrás, de la cuenca del Magdalena (Figura 2).

La Caldera de Paletará sería una estructura con vulcanismo resurgente (CVLC) y diámetro estimado de 35 km cuya existencia está apoyada en las siguientes evidencias:

1. Distribución geográfica de mantos ignimbríticos y afloramientos puntuales de ignimbritas y brechas de explosión en el área, cuyos ápices apuntan hacia la cima de la Cordillera Central (sector Sur), especialmente hacia el área de Gabriel López y la Caldera de Paletará acá propuesta.
2. Morfología semicircular y erodada en las colinas que limitan los valles de Paletará y de la Laguna de San Rafael, las cuales coincidirían con el borde caldérico y morfología plana intracaldérica, dada por los valles de Paletará hacia el sur y de la laguna de San Rafael al norte.
3. Orientación transversal de la estructura resurgente CVLC, en el interior de esta megaestructura caldérica, respecto de la Cordillera.
4. Distribución de fuentes termales en el área, anomalía de He asociada a ellas y caracterización geoquímica de algunas muestras de ignimbritas del Cauca y Huila.
5. Patrón anular de algunos lineamientos alrededor de la CVLC y fuera del borde de la megaestructura, así como patrones radiales excéntricos, uno de los cuales fue aprovechado para la resurgencia de la CVLC, ambos, reflejo en superficie del colapso caldérico.

La interpretación de la imagen de satélite Landsat, banda 7, en papel, ha permitido complementar las apreciaciones de campo; sin embargo, no muestra totalmente la estructura, lo cual es comprensible, debido a varios factores como son los fenómenos de glaciación, la posterior depositación de material joven de la CVLC y de los otros centros de emisión asociados a la Caldera, que han fosilizado en parte el antiguo relieve de la caldera.

2.1. IGNIMBRITAS

Las ignimbritas en el Departamento del Huila (Figura 2), llamadas rocas del Neoterciario (GROSSE, 1935), afloran en las cuencas de los ríos Magdalena y La Plata, formando una altillanura escalonada. Ellas rellenan valles antiguos y descansan discordantes sobre rocas metamórficas del Paleozoico, intrusivas y volcánicas del Jurásico y sedimentarias del Cretácico y Terciario, según Kroonenberg y otros (1981), quienes estimaron un volumen de 100 km³ y definieron tres tipos de ignimbritas, los cuales realmente corresponderían a facies diferentes de estos productos volcánicos:

El primero, corresponde a una ignimbrita arenosa estratificada de color blanco, no consolidada; un segundo tipo, denominado vitrofírica y un tercer tipo, el más ampliamente distribuido, con aspecto de lava y colores gris a rosa.

En el Departamento del Cauca (Figura 2), las ignimbritas afloran en las cuencas de los ríos Cauca y Patía; también constituyen una unidad de relleno, que alcanza un volumen de 77 km³, cubre un área de 1530 km² y reposa discordantemente sobre rocas metamórficas del Paleozoico, volcánicas básicas del Cretácico y sedimentarias del Terciario (TORRES y otros, 1992).

Las ignimbritas de los departamentos del Cauca y Huila ofrecen un drenaje dendrítico corto, denso, altamente homogéneo, que constituye colinas bajas redondeadas y mesetas altas con escarpes verticales profundos (TORRES y otros, op.cit) y son correlacionables litológica y composicionalmente.

De acuerdo con análisis petrográficos (KROONENBERG y otros; 1981 SCHMITT, 1983; ACEVEDO y otros, 1987; TORRES y otros, 1992), las ignimbritas son de dos tipos: Unas con fenocristales de feldespato potásico (anortoclasa-oligoclasa), biotita, anfíbol y cuarzo, con fragmentos de pómez y matriz vítrea; las otras, en lugar de feldespato potásico, presentan plagioclasa. Los análisis químicos corroboran la existencia de los dos tipos de ignimbrita, correspondientes a riolitas y andesitas de la serie calcoalcalina (SCHMITT, 1983; MURCIA y PICHLER, 1986).

De los resultados de estudios geoquímicos realizados por Murcia y Pichler (1986), se observa que la variación de óxidos, con respecto a la sílice, es similar entre las ignimbritas del Cauca y Huila y ocupan un campo diferente a las del Departamento de Nariño (Figura 3), lo cual indica una fuente común para las ignimbritas del Cauca y del Huila.

Según los trabajos realizados en ambos flancos de la cordillera (HUBACH, 1957; PARIS Y MARIN, 1979; KROONENBERG y otros, op. cit.), a las ignimbritas de Cauca y Huila se les puede asignar edad Plioceno-Pleistoceno, a pesar que sólo se cuenta con una datación radiométrica en cada flanco de la cordillera, de 4,5 m.a. para un fragmento de ignimbrita colectado en el área de Piendamó (Cauca), según Woodward and Clay Consultans, 1983, (en: James y otros, 1986) y $3,7 \pm 0,2$ m.a. para las ignimbritas del Huila, según Murcia y Pichler (1986).

Además de las ignimbritas, se encuentran otros depósitos que han sido asociados con la generación de éstas o de la caldera; se trata de depósitos extensos de brechas volcánicas heterolíticas, relacionadas espacialmente con el borde caldérico propuesto.

2.2. MORFOLOGIA

La región denominada Valle de Paletará, se encuentra limitada por el piedemonte de la CVLC al noreste (Figura 4) y una serie de colinas bajas al sureste denominadas Cerros Cortaderal, Las Tusas, Loma del Apio, Cresta de Gallo y Loma Las Peñas (Figura 5), los cuales se encuentran levantados, con respecto al valle, por una falla de dirección SE-NW. El valle presenta una morfología plana, rellena por sedimentos finos de material efusivo y piroclástico, proveniente de los centros volcánicos vecinos al área, como son los de la CVLC (MONSALVE y PULGARIN, en elaboración), el Complejo Volcánico de Sotará (ACEVEDO y CEPEDA, 1982) y una serie de estructuras freatomagmáticas situadas dentro del mismo Valle de Paletará (Monsalve y otros, 1993).

En el fotocontacto de la imagen de satélite Landsat, banda 7 del área, se observan las colinas que limitan al Valle de Paletará, hacia el suroeste y sur, que corresponden a uno de los bordes caldéricos y la falla limitante que confirmaría el colapso de la megaestructura en este sector; hacia el noroeste, las evidencias observables son menores debido al relleno de los

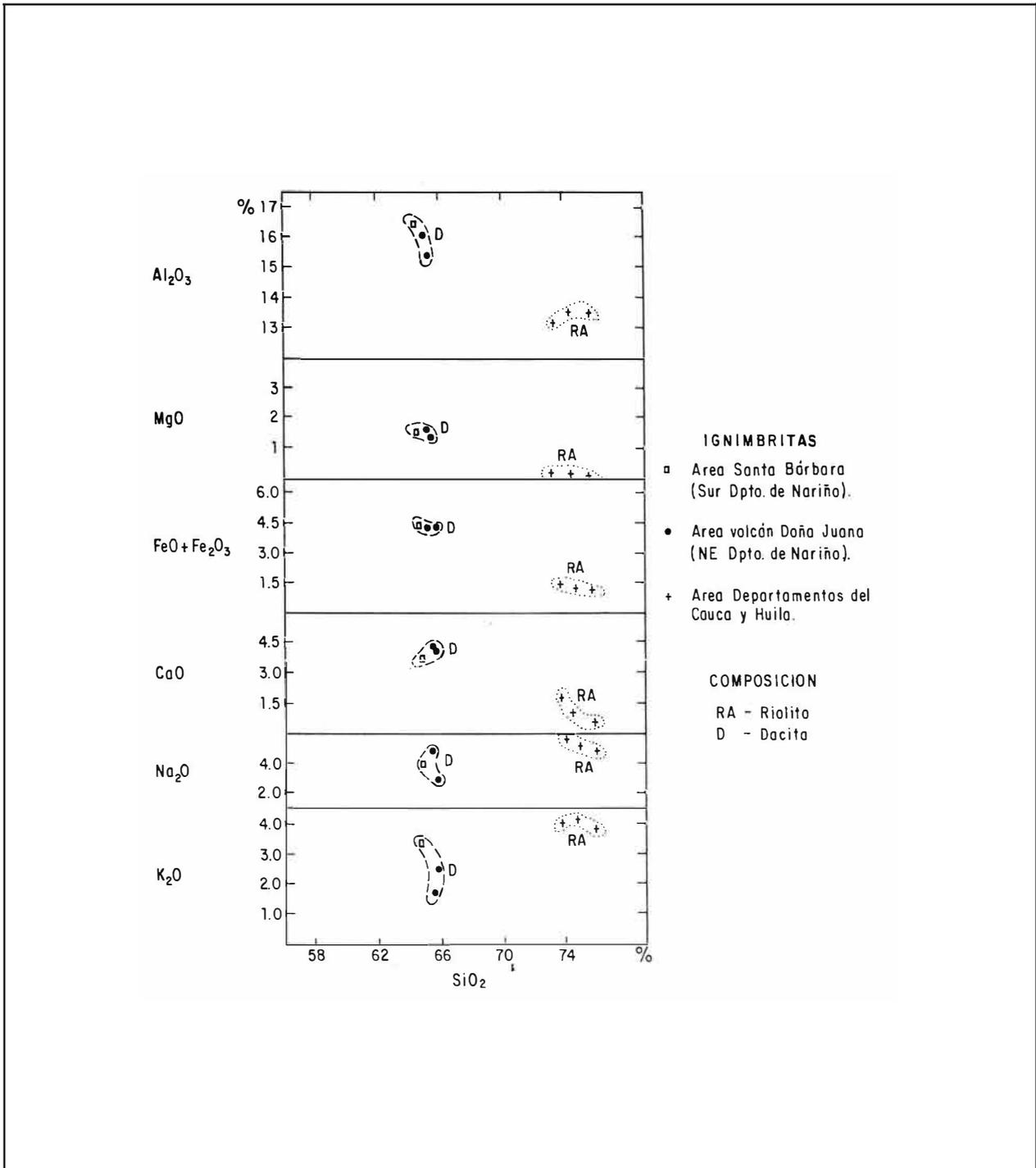


FIGURA 3.

Diagrama de variación geoquímica con respecto al contenido de SiO₂, de algunas ignimbritas cenozoicas de los Departamentos del Huila, Cauca y Nariño (Tomado de MURCIA y PICHLER, 1986.)

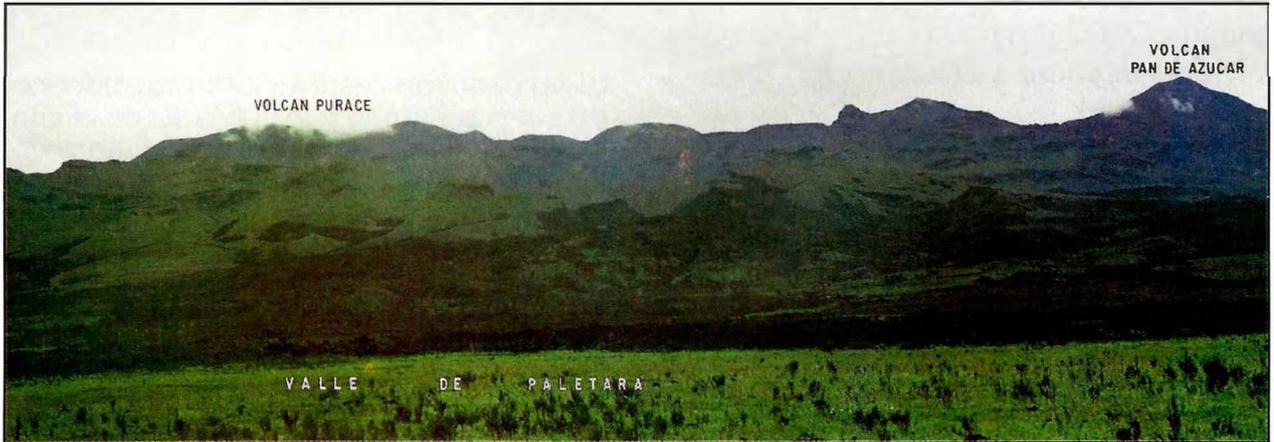


FIGURA 4.
Cadena volcánica de los Coconucos, vista desde el Valle de Paletará (en primer plano).

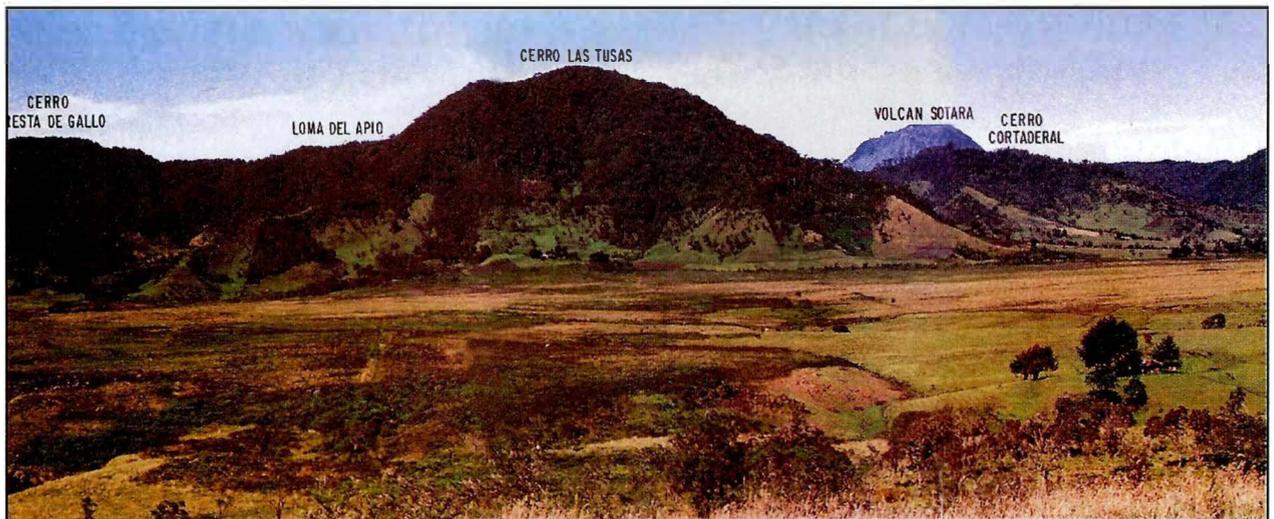


FIGURA 5.
Borde caldérico en el Valle de Paletará: colinas levantadas tectónicamente. Obsérvese el volcán Sotarà, detrás del cerro Cortaderal.

productos provenientes de la CVLC o, eventualmente, a la superposición de otra estructura caldérica, localizada al NNE de la de Paletará, que correspondería a la planicie de Gabriel López y alrededores, incluida la Laguna de Calvache.

Hacia el norte, el borde de la caldera parece estar representado por colinas de topografía moderada, cercanas a la Laguna de San Rafael (cerros El Edén y Cargachiquillo).

Para complementar el conocimiento sobre aspectos morfológicos y estructurales de la Caldera de Paletará, es importante efectuar procesamiento digital e interpretación de imágenes de satélite, así como, dataciones radiométricas y estudios geoquímicos de isótopos.

2.3. PATRON ESTRUCTURAL Y VULCANISMO RESURGENTE.

Dentro de la megaestructura caldérica se encuentran patrones de fallamiento anular y transversal (Figura 6), a los cuales se asocian estructuras volcánicas recientes; la más importante de ellas es la CVLC, cuya dirección N39°W, anómala con respecto a la NE del eje de la cordillera Central, puede explicarse por el patrón estructural radial de la megaestructura.

El patrón estructural anular de lineamientos, alrededor de la CVLC, debe ser reflejo de la historia inicial de formación de la caldera, característica común a otras estructuras de este tipo (SMITH y BAILEY, 1986). El colapso

caldérico está evidenciado por la presencia de la falla en su borde interno, al suroeste del Valle de Paletará, lo cual permite denominarla, caldera de colapso, según Williams (1941).

El vulcanismo resurgente intracaldérico, está representado por la CVLC, de la cual hace parte el volcán Puracé (Figura 7), uno de los más activos de Colombia, así como varios centros de emisión freatomagmáticos, localizados en el valle de Paletará.

Otros edificios volcánicos asociados al patrón estructural y vulcanismo resurgente de la Caldera son: El Complejo Volcánico de Sotará, hacia el borde externo sur; los volcanes Carga Chiquito o Uñiñegatuna, Cerro Pusná y una pequeña estructura volcánica, ligeramente al este del primero, hacia el borde norte.

2.4. FUENTES TERMALES Y ANOMALIA DE HELIO

Las fuentes termales, en el área de la megaestructura caldérica, son numerosas; el origen de las más conocidas, como las cercanas al Volcán Puracé, las de la región de Coconuco y las de San Juan (KOLLER, 1983; GARCIA, 1991; STURCHIO y otros, 1993), se relacionaba solamente con la actividad del Volcán Puracé. En el transcurso de los trabajos de campo fueron identificadas otras fuentes termales. La actividad termal, manifestada en la distribución amplia de las fuentes termales (Figura 1), debe estar relacionada con la Caldera de Paletará y su vulcanismo resurgente.

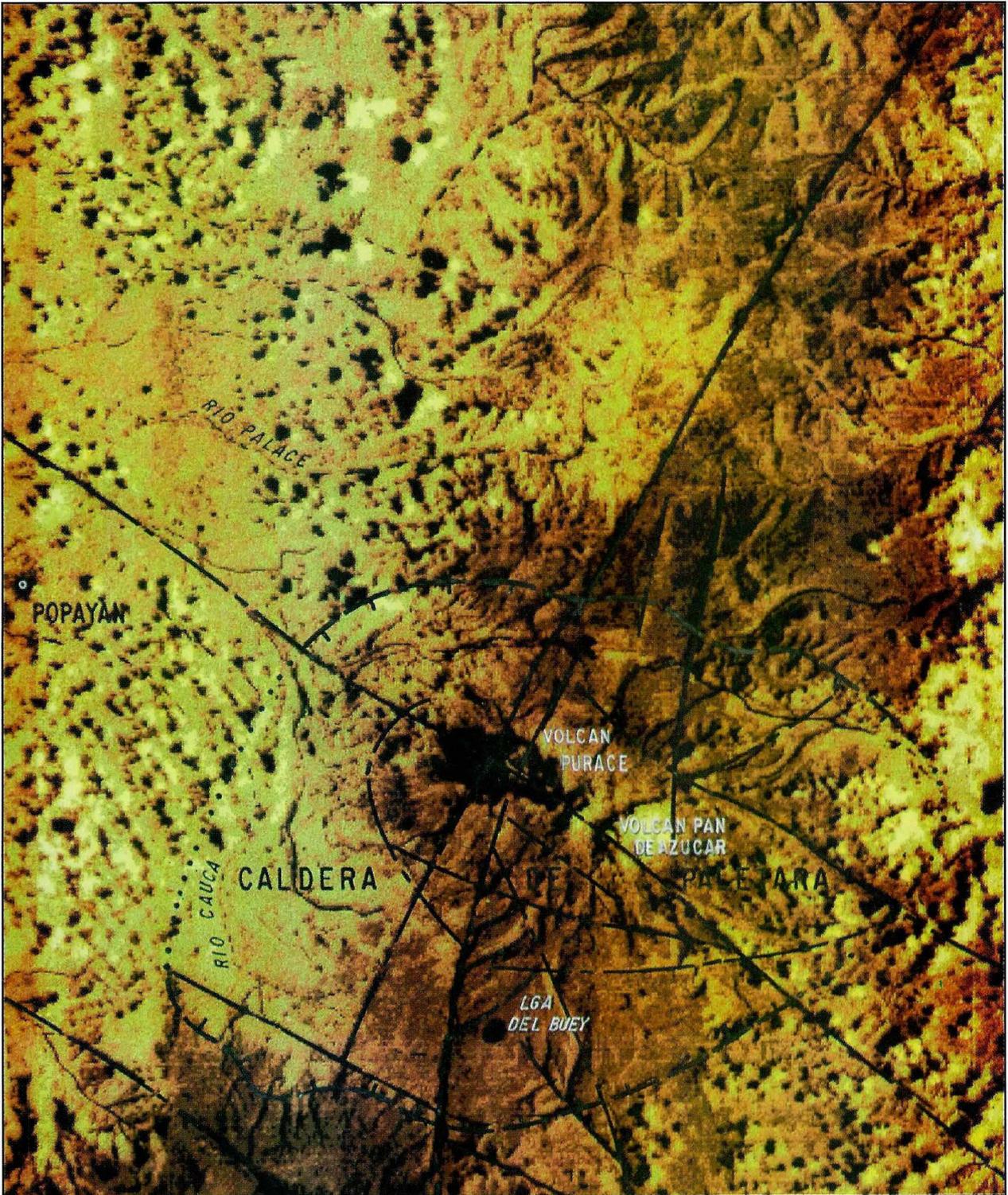


FIGURA 6.
Interpretación de la imagen de Satelite Landsad TM, banda 7

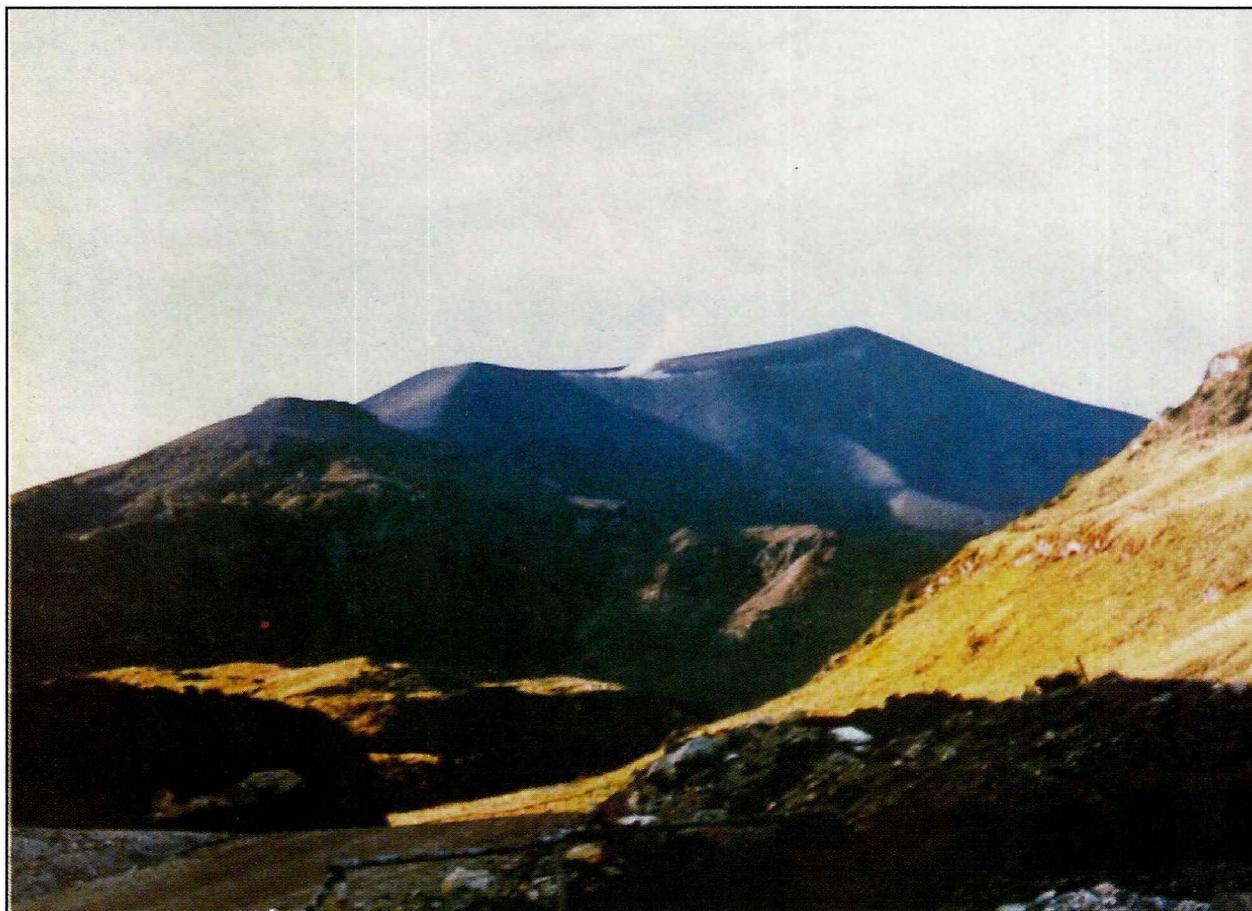


FIGURA 7.
Actividad fumarólica del Volcán Puracé (fumarola externa)

Análisis de He, realizados por Sturchio y otros (1993) y Stanley Williams (comunicación escrita, 1990) en especies gaseosas de fumarolas del cráter del Volcán Puracé y en las fuentes termales de San Juan, alejadas 10 km, del cráter del Puracé (Figura 1), muestran una relación de He^3/He^4 similar en ambos casos; la situación es anómala, si se considera que el sistema hidrotermal está solamente asociado a la actividad del Puracé (Figura 7) pues, de ser así, la relación disminuiría al aumentar la distancia al cráter. Entonces, estos resultados se interpretan como anomalía de He asociada a un mismo sistema volcánico, es decir, la megaestructura caldérica de Paletará; además, mostrarían la relación genética de la Cadena de Los Coconucos con la caldera.

3. DISCUSION - CONCLUSIONES

La presencia de mantos ignimbríticos en Colombia ha supuesto la existencia de fuentes caldéricas en la Cordillera Central, las cuales no han sido ubicadas debido a la falta de estudios orientados con este fin. Sin embargo, este interrogante sobre las fuentes y en especial las de ignimbritas en los departamentos de Cauca y Huila y el hecho de encontrar una serie de evidencias sobre estructuras caldéricas, en el transcurso de trabajos de campo en la Cadena Volcánica de Los Coconucos, permitieron correlacionar estos dos

hechos y, buscar más evidencias que soportaran la hipótesis de la existencia de la estructura caldérica de Paletará, a pesar de las limitantes técnicas y dificultades de acceso y condiciones climáticas en el área.

Para la identificación de megaestructuras caldéricas en los Andes Centrales y en Centroamérica, ha tenido más peso la interpretación de imágenes de satélite que la toma, análisis e interpretación de datos obtenidos en trabajos geológicos de campo; ejemplos de estos casos son: Kare Kare, en Bolivia (FRANCIS, 1983) y Xela, en Guatemala (DUFFIEL, HEINKEN, FOLEY y MCEWEN, 1993). Para el caso de la Caldera de Paletará, se pudo contar con la imagen Lansat TM, banda 7, la cual permitió corroborar y definir algunos rasgos encontrados en campo.

Las evidencias encontradas llevan a obtener las conclusiones siguientes:

- Los mantos ignimbríticos, distribuidos en ambos flancos de la Cordillera Central y en las depresiones interandinas Magdalena y Cauca-Patía, tienen su origen en los sectores del Valle de Paletará y Páramo de Gabriel López.
- La morfología circular, parcialmente erodada, dada por las colinas que limitan los valles de Paletará y de la Laguna de San Rafael, es interpretada como partes de un borde caldérico.

- La existencia de patrones estructurales, anular y radial, en el área objeto de exploración, son la expresión superficial de la estructura y dinámica de una caldera de colapso.
- La existencia y disposición del vulcanismo activo, representado por la CVLC y el Complejo Volcánico de Sotará, aprovechando los patrones estructurales, mencionados anteriormente, lo identifica como resultante de vulcanismo resurgente de la caldera. Lo mismo se puede decir de la presencia de actividad freatomagmática en el área.
- La morfología plana del Valle de Paletará sería el resultado del relleno de la depresión caldérica por productos de su colapso, así como del vulcanismo resurgente
- La presencia y distribución de fuentes termales en el área, así como las relaciones de isótopos de He, demuestran la existencia de una fuente magmática común.
- Por último, se concluye que una de las fuentes de las ignimbritas presentes en los departamentos del Cauca y Huila, es la Caldera de Paletará, originada por colapso, la cual, al presentar un diámetro del orden de 35 km, se puede clasificar como una megaestructura caldérica.

cálculo del volumen real de las ignimbritas, al reconocimiento de otros productos asociados a la megaestructura, a definir con mayor exactitud los límites caldéricos y para conocer más detalladamente la relación del vulcanismo moderno con la megaestructura caldérica. Estas investigaciones, fuera de las herramientas geológicas, deben utilizar las que brindan la geofísica, especialmente sismología, gravimetría, magnetometría y geoelectrónica, la geoquímica y los sensores remotos.

Se recomienda realizar investigaciones más detalladas con el fin de completar los trabajos de campo, para acercarse al



4. BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, A. P. y CEPEDA, H., 1982. *El volcán Sotará: Geología y Geoquímica de elementos mayores*. Publicaciones Especiales de INGEOMINAS. N° 10: p. 19-35. Bogotá.
- ACEVEDO, A. P., MONSALVE, M. L. y CEPEDA, H., 1987. *Petrografía de algunas lavas de La Cadena Volcánica de Los Coconucos*. Informe interno. INGEOMINAS. 8p. Popayán.
- DUFFIELD, W., HEIKEN, G., FOLEY, D. and McEWN., A., 1993. *Oblique synoptic images, produced from digital data, display strong evidence of a «new» caldera in southwestern Guatemala*. Journal of volcanology and Geothermal research. 55: 217-224.
- FRANCIS, P., 1983. *Giant volcanic calderas*. Scientific American. Volume 248, N° 6: p. 46-68.
- GARCIA, F., 1991. *Resultados de análisis químicos en fuentes termales asociadas al volcán Puracé*. Informe interno. INGEOMINAS. Bogotá.
- GROSSE, E., 1935. *Acerca de la Geología del Sur de Colombia II*. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. Tomo III. p. 139-231. Bogotá.
- HUBACH, E., 1957. *Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia*. Informe N°1212. INGEOMINAS. p.3-9. Bogotá.
- JAMES, M., ORREGO, A., MURCIA, A., PAGE, W., GIRALDO, M. y MARIN, W., 1986. *El Sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983*. Ingeominas y otros. p. 5-38. Bogotá.
- KOLLER, B., 1983. *Sulphur Geochemistry of some volcanic rocks of Puracé volcano and Sotará volcano, department of Cauca, southwestern Colombia*. Ingeominas, regional Sur, 13 p. Popayán.
- KROONENBER, S., LEON, L. A., PASTANA, J. M. y PESSOA, M., 1981. *Ignimbritas Pliopleistocénicas en el Suroeste del Huila, Colombia y su influencia en el desarrollo morfológico*. Centro Interamericano de Foto-interpretación. Volumen 6, N° -3: p. 293-314. Bogotá.
- MONSALVE, M. L., PULGARIN, B. P. y CEPEDA, H., 1993. *Informe interno de avance, Proyecto P93F03*. INGEOMINAS. Unidad Operativa Popayán.
- MONSALVE M. L. y PULGARIN, B. A., (En preparación). *Cadena Volcánica de Los Coconucos (Colombia): Centros eruptivos y productos recientes*.
- MURCIA, A. y PICHLER., 1986. *Geoquímica y dataciones radiométricas de las ignimbritas Cenozoicas del Sur de Colombia*. INGEOMINAS, Bogotá. 25 p.
- ORREGO, A. PARIS, G., IBAÑEZ, D. y VASQUEZ, E.J., 1993. *Geología y Geoquímica de la Plancha 387-Bolívar*. Informe interno. INGEOMINAS. Unidad Operativa Popayán.
- PARIS, g. Y MARIN, W., 1979. *Generalidades acerca de la geología del Departamento del Cauca*. INGEOMINAS. 38p. Bogotá.
- PULGARIN, B. y MONSALVE, M. L., (En preparación). *Geología de la Cadena Volcánica de Los Coconucos y sus alrededores*. INGEOMINAS. Unidad Operativa Popayán.
- SCHMITT, C., 1983. *Petrologische untersuchungen junger vulkanite in südkolumbien*. Dissertation zur Erlangung des grades eines doktors der naturwissenschaften der geowissenschaftlichen fakultät der Eberhard-Karls- Universität Tübingen. 207. p.
- SMITH. R. L. and BAILEY, R. A., 1986. *Resurgent cauldrons*. Geol. Soc. Am. Mem. 116, 613-662.
- STURCHIO, N. WILLIAMS, S. and SANO, Y., 1993. *The hydrothermal of volcan Puracé, Colombia*. Bull. Volcanol. 55:289-296.
- TORRES, M. P., IBAÑEZ, D. G. y VASQUEZ, E. J., 1992. *Geología y Estratigrafía de la Formación Popayán*. Informe interno. INGEOMINAS. Unidad Operativa Popayán.
- WILLIAMS, S., 1990. Comunicación escrita.
- WILLIAMS, H., 1941. *Calderas and their origin*. University of California Publications in Geological Sciences, volume 25: p. 239-346.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS,
MINERIA Y QUIMICA

INGEOMINAS

UNIDAD OPERATIVA POPAYAN

**CADENA VOLCANICA DE LOS COCONUCOS
(COLOMBIA)
CENTROS ERUPTIVOS Y PRODUCTOS RECIENTES**

María Luisa Monsalve
Bernardo Pulgarín A.

Popayán, junio de 1995

CONTENIDO

Pág.

CADENA VOLCANICA DE LOS COCONUCOS (COLOMBIA)

CENTROS ERUPTIVOS Y PRODUCTORES RECIENTES

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 17 |
| INTRODUCCION | 18 |
| 1. MARCO GEOTECTONICO Y GEOLOGICO | 21 |
| 2. DESCRIPCION DE FOCOS VOLCANICOS Y SUS PRODUCTOS PROXIMALES ASOCIADOS | 22 |
| 2.1. GENERALIDADES | 22 |
| 2.2. DESCRIPCION GEOLOGICA DE LOS VOLCANES DE LA CVLC | 29 |
| 2.2.1. Volcán Puracé Actual | 32 |
| 2.2.2. Volcán Pico Collo | 33 |
| 2.2.3. Volcán Curiquinga | 34 |
| 2.2.4. Volcanes Calambás-Paletará | 36 |
| 2.2.5. Volcán Quintín | 38 |
| 2.2.6. Volcán Shaka | 39 |
| 2.2.7. Volcanes Machángara-Killa | 40 |
| 2.2.8. Volcanes Pukará-Pan de Azúcar | 42 |
| 2.2.9. Volcanes Amancay-Piki | 45 |
| 3. DISCUSION-CONCLUSIONES | 47 |
| AGRADECIMIENTOS | 49 |
| BIBLIOGRAFIA | 50 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. Localización Geográfica de la cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC) | 20 |
| FIGURA 2. Mapa geotectónico del NW de Sur América | 23 |
| FIGURA 3. Cadena volcánica de los Coconucos. Vista desde el sector del valle de Paletará. Nótese los dos grupos de Volcanes | 25 |
| FIGURA 4. Columna estratigráfica general de las cenizas de caída que cubren los productos proximales de la CVLC | 28 |
| FIGURA 5. Diagrama K_2O vs SiO_2 (Tomado de Shelley, 1993) que muestra también los campos del diagrama TAS y la ubicación de las muestras analizadas de la CVLC. (Análisis en roca total) | 30 |
| FIGURA 6. Diagrama ternario AFM (Irvine and Baragar, 1971). Clasificación de la serie volcánica de las muestras analizadas de la CVLC | 31 |
| FIGURA 7. Volcán Puracé visto desde el flanco noreste del volcán Shaka. El cono está cubierto por piroclastos recientes | 32 |
| FIGURA 8. Volcán Picollo. Tomado de su flanco suroeste cubierto por piroclastos recientes provenientes del volcán Puracé | 33 |
| FIGURA 9. Volcán Curiquina, flanco noreste. Frente de flujo de lava en bloques ... | 34 |
| FIGURA 10. Depósitos de flujos de lava en bloques de Curiquina y Shaka ocupando un antiguo Valle Glaciar. Los de Shaka fosilizan a los de Curiquina | 35 |
| FIGURA 11. Volcán Calambás, flanco este | 36 |
| FIGURA 12. Cráter Volcán Paletará. Nótese los tres anillos piroclásticos concéntricos. En primer plano, parte del cráter del volcán Calambás | 37 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 13. Volcán Quintín, visto desde el este. Observense en su flanco los depósitos lávicos de corta longitud | 38 |
| FIGURA 14. Cadena volcánica de los Coconucos, vista desde el Volcán Pan de Azúcar. Hacia la parte media, los centros eruptivos de Shaka | 40 |
| FIGURA 15. Volcanes Machángara-Killa. Vista desde el cráter de Shaka medio | 41 |
| FIGURA 16. Volcanes Puraká (izquierda) y Pan de Azúcar (derecha), vistos desde Machángara | 43 |
| FIGURA 17. Lava en bloques recientes del volcán Pan de Azúcar. Al fondo lavas del volcán Machángara. Tomado desde la cima del Pan de Azúcar | 44 |
| FIGURA 18. Volcán Amancay. Vista de su flanco sur. En primer plano, obsérvense sus depósitos de flujos de lava en bloques. | 45 |
| FIGURA 19. Volcán Piki visto desde el volcán Amancay. Al fondo flujo de lava del Shaka | 47 |

RESUMEN

La Cadena Volcánica de Los Coconucos (CVLC), en la Cordillera Central de Colombia, es un conjunto de 15 centros eruptivos, la mayoría de ellos con actividad post-glaciar, alineados en dirección N39° W, desde el cráter del volcán Puracé (extremo NW) al Pan de Azúcar (extremo SE), cuyo eje tiene una longitud de 6,5 km. La CVLC se define como una provincia volcánica, la cual se caracteriza por presentar centros eruptivos con productos de mineralogía similar.

Los centros de emisión presentan morfología variada; muestran conos bien desarrollados con cráteres circulares y ovalados, conos semidestruidos, agujas y anillos piroclásticos. Estos centros, se agrupan en dos segmentos: NW y SE.

Los volcanes del sector NW de la CVLC conforman una morfología diferente al conjunto del segmento SE, con cráteres amplios que indican una actividad de tipo explosivo. Las partes altas de estos conos se encuentran cubiertas por ceniza fresca de color gris, bombas volcánicas y bloques con tamaño hasta del orden métrico. Estos depósitos suprayacen un paquete de cenizas alteradas, que aflora localmente. Las lavas emitidas por los centros de este sector son masivas y en bloques; petrográficamente, presentan características similares a las de los centros del sector SE. El volcán Puracé es el único de la CVLC que muestra predominio de productos piroclásticos.

En los volcanes del segmento SE de la CVLC, existe predominio de productos efusivos, siendo los más recientes, típicos flujos de lava en bloques, con espesores que alcanzan 50 m y longitudes hasta de 10 km; localmente, están cubiertas por cenizas intercaladas con paleosuelos. La mayoría de estas lavas, microscópicamente, corresponden a andesitas de dos piroxenos con anfíbol subordinado.

Químicamente, las rocas de la CVLC corresponden a andesitas medias a altas en potasio, pertenecientes a la serie calcoalcalina.

Todos los centros actuales de la CVLC se construyen sobre aparatos antiguos preglaciares, evidenciados morfológicamente por remanentes como los aquí denominados pre-Puracé, pre-Pan de Azúcar y pre-Pukará o por lavas preglaciares cuya fuente es la Cadena misma (pre-Coconucos). La actividad actual de la Cadena está evidenciada por los reportes sobre actividad eruptiva histórica del Puracé, las fumarolas de éste y varias fuentes termales localizadas en el área.

INTRODUCCION

La Cadena Volcánica de Los Coconucos (CVLC), se encuentra situada en el límite de los departamentos de Cauca y Huila, en la Cordillera Central de Colombia. Los extremos sureste y noreste de la CVLC son los volcanes Pan de Azúcar (N 2°16'24" y W 76°21'49") y Puracé (N 2°19'01" y W 76°23'53"), respectivamente. La Cadena hace parte del Parque Nacional Natural de Puracé (Figura 1).

A pesar del desarrollo que ha tenido la vulcanología en los últimos 10 años en Colombia, hay aún varias provincias volcánicas que son prácticamente desconocidas desde el punto de vista geológico. Una de estas provincias (denominación dada, según la definición de Fisher and Schmincke, 1984), es la correspondiente a la CVLC que, aunque ha despertado el interés de algunos profesionales de las Ciencias de la Tierra, no había sido objeto de estudios sistemáticos que permitieran tener un conocimiento básico de los centros eruptivos que la conforman, ni de sus productos.

Son pocos los trabajos conocidos sobre la geología de la CVLC. Entre ellos, los más específicos son el de Acosta (1980), donde plantea el origen de ésta como producto de un punto caliente y el de Flórez (1983), que hace un estudio sobre aspectos geomorfológicos del área. Trabajos más puntuales tratan sobre la petrografía de algunas de las lavas (ACEVEDO y otros, 1987; SCHMITT, 1983; MONSALVE y PÚLGARIN 1992; MONSALVE y otros, 1993) o sobre el Volcán Puracé, que ha sido estudiado con objetivos más específicos (OPPEINHEIM, 1950; KURODA and PARIS, 1978; MEGYESI, 1961; KOLLER 1983; ESPINOSA, 1989; MONSALVE y PÚLGARIN, 1993; PÚLGARIN y otros, 1993; MONSALVE, 1993).

El presente trabajo, es el resultado de los estudios geológicos realizados en las áreas proximales de la CVLC, cuyo objetivo es identificar, analizar y diferenciar los centros y productos eruptivos que la constituyen.

Los centros volcánicos que conforman la CVLC no tienen nombre oficial, a excepción del Volcán Pan de Azúcar, al sureste y el Volcán Puracé, al noroeste (IGAC, 1976 y 1981). En los trabajos de Acosta (1980) y Flórez (1983), se identifican los centros con números o letras. Por esta razón y continuando con los nombres de origen indígena dados preliminarmente a algunos de estos volcanes (INDERENA-FUP, 1988), se bautizaron los otros centros eruptivos descubiertos durante la ejecución de este trabajo. Para esto se contó con la ayuda del ecólogo Alvaro José Negret (Director del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca), del geólogo Hector Cepeda (Director de la Unidad Operativa del INGEOMINAS Popayán) y se utilizaron diccionarios de lengua Quechua (TORRES, 1982; PAZOS, 1966). La Tabla 1 muestra la comparación de los nombres utilizados en cada uno de estos trabajos y la Tabla 2, los nombres dados en este trabajo (y los ya existentes), con sus respectivos significados.

TABLA 1. Comparación de la nomenclatura de los centros eruptivos de la Cadena Volcánica de Los Coconucos (CVLC).

| ACOSTA 1980 | FLOREZ 1983 | PRESENTE |
|------------------------------|-------------|-----------------|
| N° 7 (Puracé) | P (Puracé) | Puracé Actual * |
| _____ | _____ | Piocollo |
| N° 6 | H | Curiqinga |
| N° 5a | E | Paletará |
| N° 5b | E | Calambás |
| N° 4 | B | Quintín |
| N° 3a | R | Shaka superior |
| N° 3b | R | Shaka medio |
| _____ | _____ | Shaka inferior |
| _____ | _____ | Killa |
| N° 2 | M | Machángara |
| N° 1 C. Nevado | A | Pan de Azúcar |
| de Pan de Azúcar | | |
| _____ | F | Pukará |
| _____ | T | Amancay ** |
| _____ | _____ | Piki |
| * MONSALVE y PULGARIN (1993) | | |
| ** ACEVEDO y otros (1987) | | |

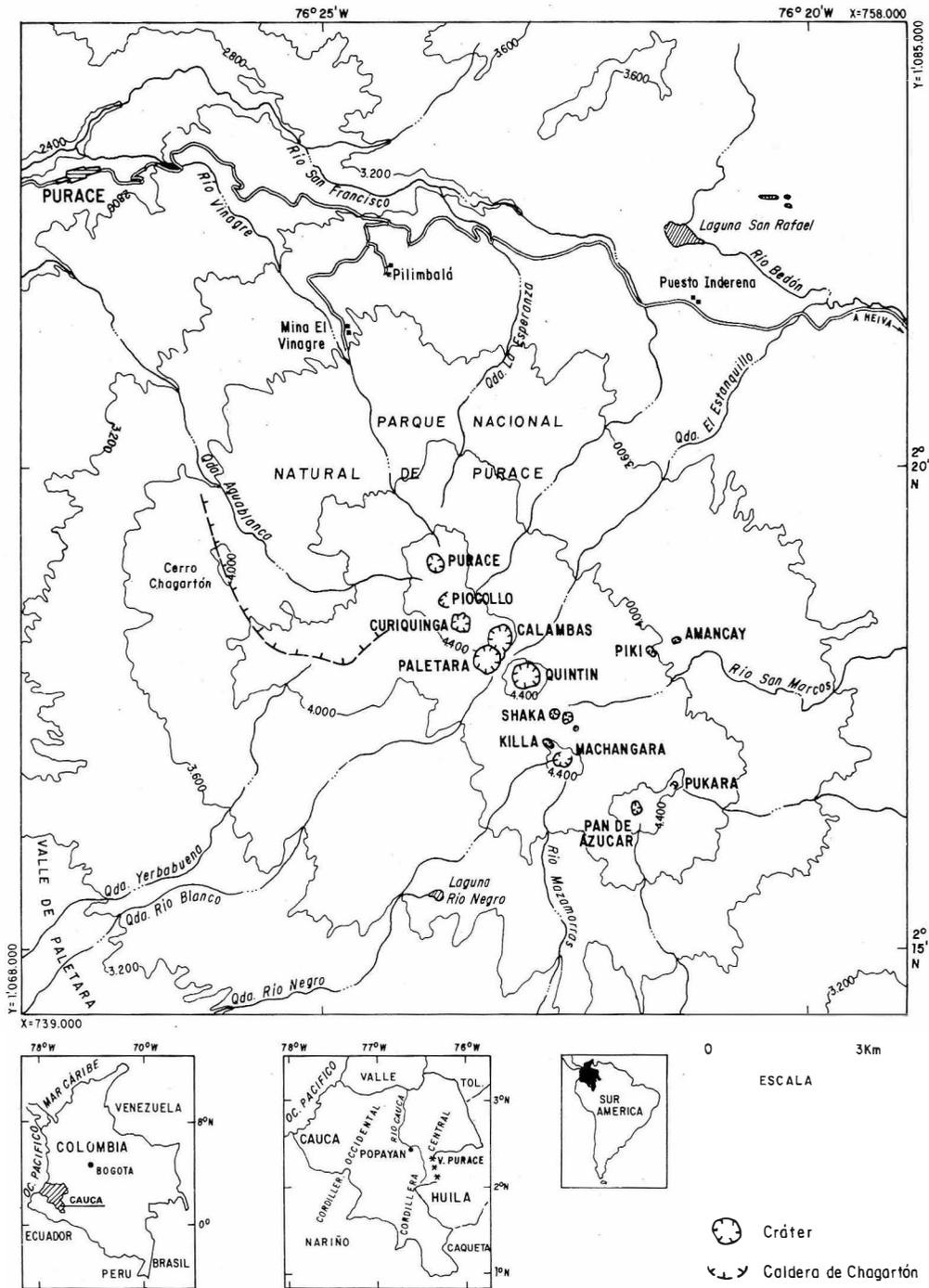


FIGURA 1.
Localización Geográfica de la cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC)

TABLA 2. Nombres de los volcanes de la CVLC y sus significados.

| NOMBRE | SIGNIFICADO* |
|---------------|--|
| Puracé | Montaña de fuego (PUERTA, 1991). |
| Piocollo | Líder paez de comienzos del siglo. |
| Curiqinga | Ave de rapiña. |
| Calambás | Antiguo cacique de la región del valle de Pubén. |
| Paletará | Topónimo del páramo en la cuenca superior del río Cauca. |
| Quintín | En homenaje al líder paez Quintín Lame. |
| Shaka | Nombre primitivo del continente Americano. |
| Machángara | Topónimo del lugar donde yace el aeropuerto de la ciudad de Popayán. Hija del cacique Pubenza. |
| Killa | Luna. Diosa de la mitología Qichua. |
| Pukará | Fortaleza. Vértice. Recinto amurallado de piedra bruta. |
| Pan de Azúcar | No es nombre indígena. Es un término geomorfológico para designar una montaña aislada y prominente, de forma redondeada y que ha sido resistente a la erosión. |
| Amancay | Flor del desierto de Atacama. |
| Piki | Pulga. Nigua. |
| Coconucos | Parece referirse a «Montañas de los Demonios». |

* Provenientes de Homenajes a personajes indígenas, topónimos nativos y algunos, de la fauna y flora.

1. MARCO GEOTECTONICO Y GEOLOGICO

El Bloque Andino, es una miniplaca tectónica originada por la interacción de convergencia de tendencia general E-W, entre las placas Nazca, sur America y Caribe, responsable del vulcanismo en Colombia, el cual se desarrolla desde 5°N, hacia el sur, restringido a los dominios de las cordilleras Central y Occidental (PENINGTON, 1979). Esta situación se ilustra, junto con las grandes estructuras geológicas de Colombia, en la Figura 2,

la cual fue tomada y modificada por Cepeda y Carvajal (1991) de Luschen (1982), Kellog and Bonini (1982) y Pennington (1979) y en ella se localizó la CVLC, para visualizar su ubicación geotectónica.

La CVLC, en la cordillera Central, presenta una dirección N39°W, transversal al tren de esta cordillera (N25°E) (INGEOMINAS, 1988), lo que constituye, en la actualidad, un interrogante geológico, cuya interpretación, según Torres y otros (en revisión), es que la

cadena se originó en una dirección de un patrón estructural radial presente en una estructura caldérica de grandes proporciones (35 km de diámetro), es decir, que su dirección anómala con respecto a la cordillera es debida al control estructural de esta megaestructura caldérica. El principal lineamiento en el área está representado por el eje mismo de la cadena, aunque los flancos de esta última corresponden también con algunos lineamientos y escarpes de fallas, que son subparalelos a este eje, dando lugar a estructuras de levantamiento, sobre las cuales están la mayoría de los centros eruptivos que la conforman (Anexo 1).

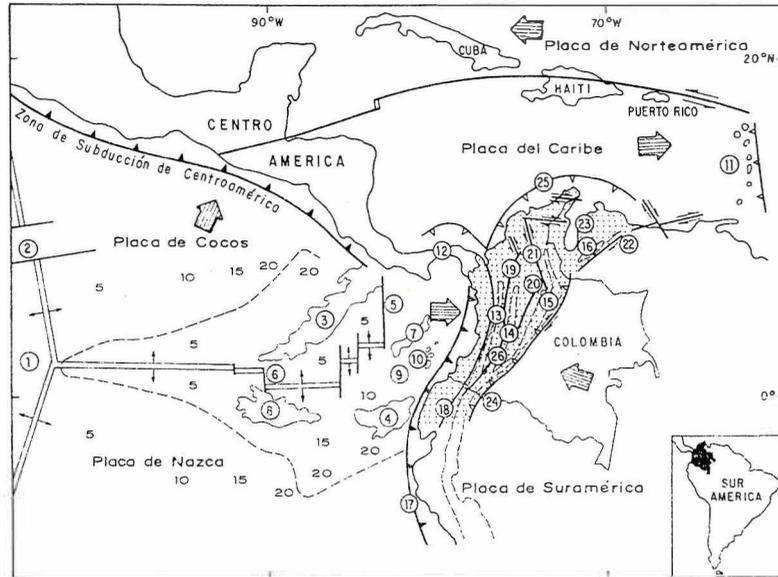
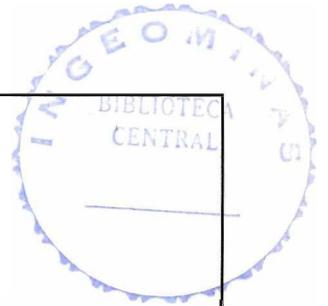
Hacia el sector sureste de la cadena, los escarpes de falla están parcialmente fosilizados por los flujos de lava emitidos por los centros de esta área; sin embargo, sus lineamientos correspondientes continúan siendo notorios, debido al cambio de pendiente. Además de estos rasgos estructurales mayores, todo el sector de la CVLC está cruzado por una compleja red de lineamientos, con tendencias principales al noroeste y al noreste, en algunas de cuyas intersecciones se construyen los diferentes centros de emisión, tanto antiguos como recientes. Algunos centros, como Pukará, Amankay y Piki, no están alineados en el eje principal de la cadena, pero si lo están entre ellos y sus proyecciones forman ángulos casi hasta de 90° con dicho eje, como es el caso entre Amankay, Piki y Shaka. El ángulo que forma el lineamiento

entre Amankay y Pukará, con la proyección del eje de la cadena, es de 45° aproximadamente. Los conos recientes están construidos sobre focos volcánicos más antiguos, de los cuales sólo se conservan remanentes de sus edificios, aquí denominados pre-Puracé (Qlpp), pre-Pukará (Qlppk) y pre-Pan de Azúcar (Qlppda), en los extremos de la Cadena. Los productos de estos focos volcánicos antiguos, así como los infrayacentes a los de los focos recientes, evidencian una etapa anterior de vulcanismo en esta zona, la cual se denominará pre-Coconucos; estos depósitos son previos a la última glaciación y están incluidos, en el Anexo 1 (en bolsillo), en los Productos antiguos sin diferenciar (TQvasd) y en las unidades Qlpp, Qlppk y Qlppda. El inicio de la actividad posterior a pre-Coconucos, que da comienzo a la formación de los conos de la mayoría de los edificios de los centros eruptivos recientes, está caracterizada por un importante período de actividad fréatica, manifestado por la presencia de brechas de explosión hidrotermalizadas (Qbe).

2. DESCRIPCION DE FOCOS VOLCANICOS Y SUS PRODUCTOS PROXIMALES ASOCIADOS

2.1. GENERALIDADES

Flórez (1983), basado en estudios fotogeológicos, hace una cronología



Tomado de: Lüschen, 1982 ; Kellog & Bonini, 1982 y Pennigton, 1979. En Cepedo y Carvajal, 1991

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| ① Placa del Pacífico. | ⑩ Graben de Yaguina. | ⑮ Faja de Romeral |
| ② Dorsal del Pacífico Este. | ⑪ Antillas Menores. | ⑯ Fallo de Salinas. |
| ③ Dorsal de Cocos. | ⑫ Istmo de Panamá. | ⑰ Fallo de Santa Marta-Bucaramanga. |
| ④ Dorsal de Carnegie. | ⑬ Cordillera Occidental. | ⑱ Fallo de Boconó. |
| ⑤ Zona de fractura de Panamá. | ⑭ Cordillera Central. | ⑳ Fallo de Oca. |
| ⑥ Rift de Galápagos. | ⑰ Cordillera Oriental. | ㉑ Fallo Frontal Andino del Este. |
| ⑦ Dorsal de Malpeño. | ⑱ Serranía de Mérida. | ㉒ Fallo Marginal del Sur del Caribe. |
| ⑧ Islas Galápagos (Punto Caliente). | ㉑ Zona de Subducción de Suramérica. | ㉓ Cadena volcánica de Los Cocónucos (CVLC) |
| ⑨ Zona de expansión extinta. | ㉒ Fallo del Atrato. | |

Bloque Andino.

Dirección del movimiento relativo de las placas.

2, 10, 15, 20 Edad de la corteza oceánica (millones de años).

FIGURA 2.
Mapa geotectónico del NW de Sur América

relativa de eventos, según forma, distribución, conservación y yuxtaposición de diferentes tipos de actividad. De acuerdo con las huellas de la dinámica glaciaria en los volcanes de la Cadena distingue, en el tiempo, los siguientes tipos de actividad:

Actividad actual: Dada por la presencia de fumarolas (Puracé).

Actividad post-glaciaria: A la que subdivide en dos grupos según su grado de conservación y esencialmente por ausencia de huellas glaciares. A este grupo pertenece la mayor parte del área cubierta en este trabajo.

Actividad anteglaciaria: Edificios con evidencia de dinámica glaciaria sobre sus productos.

Para Acosta (1980), la CVLC se desarrolló iniciándose a partir del volcán Pan de Azúcar, el cual habría sido el primero en formarse y también en extinguirse, formándose luego un nuevo cono volcánico hacia el noroeste, extinguiéndose a su vez y así sucesivamente hasta llegar a la formación del volcán Puracé, que considera el más moderno y único con actividad. Así, discute la posibilidad del origen de la Cadena por la existencia de un punto caliente bajo ella.

Schmitt (1983), en su estudio petrológico y petrográfico sobre las vulcanitas jóvenes del sur de Colombia, menciona entre otros a los volcanes Puracé, Coconucos y Pan de Azúcar; se refiere a los Coconucos como un volcán con 4500 msnm, ubicado entre el Puracé y el Pan de Azúcar (no diferencia si son varios volcanes), pero realmente, este nombre se le da es a toda la Cadena Volcánica. Por otra parte, entre los análisis químicos reporta valores de SiO₂ de 58,13% para el Puracé, 60,71% para el Pan de Azúcar y para Los Coconucos, valores de 58,48%, 59,61% y 61,96%, lo que concuerda con los análisis químicos efectuados a otras muestras de la Cadena, en INGEOMINAS y para este trabajo.

Es importante anotar que además de la CVLC, existen otras estructuras volcánicas más antiguas presentes en el Valle de Paletará (PULGARIN y MONSALVE, en preparación) y que, según el área que ocupan, junto con la CVLC, estarían comprendidas entre una megaestructura caldérica localizada entre los valles de Paletará y de la Laguna de San Rafael, en medio de los cuales, se encuentra la CVLC (TORRES y otros, en revisión).

En el presente estudio, con base en el estado actual del conocimiento sobre la morfología, relaciones de campo y tipo

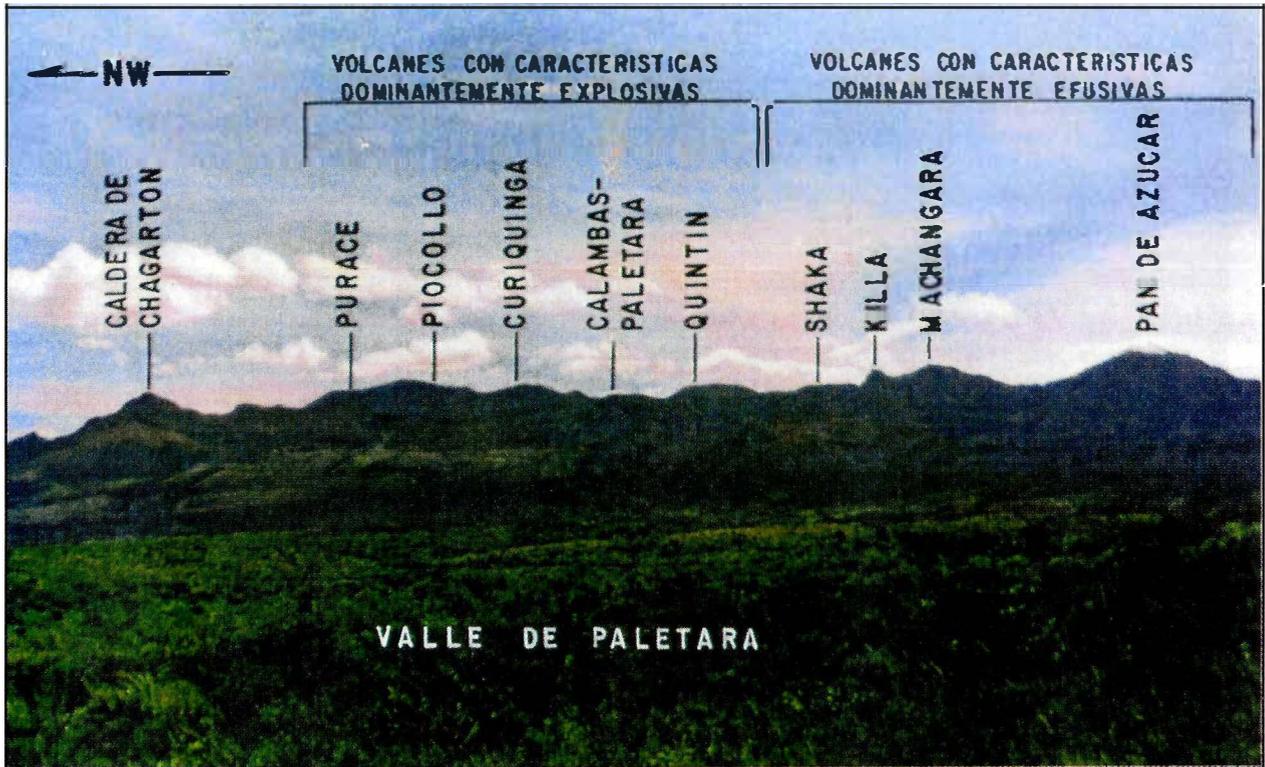


FIGURA 3.

Cadena volcánica de Los Coconucos. Vista desde el sector del Valle de Paletará. Nótese los dos grupos de volcanes.

de actividad eruptiva que ha tenido la CVLC, los estratovolcanes que la conforman se reúnen en dos grupos (Figura 3).

Grupo 1. Volcanes con características dominantes explosivas (sector noroeste): Puracé Actual, Piocollo, Curiquina, Calambás-Paletará y Quintín. En este grupo de volcanes es notorio el cubrimiento de sus conos por piroclastos de caída relativamente frescos, fuera de los depósitos de flujos de lava y la presencia de cráteres amplios.

Grupo 2. Volcanes con características dominantemente efusivas (sector

sureste): Shaka (tres centros de emisión: Shaka inferior, Shaka medio y Shaka superior), Machángara-Killa y Pukará-Pan de Azúcar. Dentro de este grupo, se incluyen los centros eruptivos Amancay y Piki, situados en el flanco este de la Cadena. La principal característica de estos volcanes es la presencia de depósitos de flujos de lava en bloques, de edad relativamente reciente, que alcanzan a cubrir una basta zona del sector sureste de la CVLC.

Por la cantidad de productos recientes emitidos por los centros nuevos (principalmente lavas en bloques) es evidente la mayor actividad del segundo

grupo, exceptuando al Puracé Actual (perteneciente al primer grupo) que también ha generado abundante material.

Los dos volcanes que conforman los extremos noroeste (Puracé) y sureste (Pan de Azúcar) son los de mayor tamaño y área de influencia; el primero de ellos es el que ha presentado el mayor grado de actividad histórica de los volcanes de la cadena, evidenciado por las erupciones históricas, fumarolas en su cima y fuentes termales. Las fuentes de aguas termales de San Juan, situadas en la parte baja del flanco noreste de la cadena (Anexo 1) y las de Coconuco, Pozo Azul, Paletará y otras, (Torres y otros, en revisión), en la parte baja del flanco oeste y también hacia el sur, que no están en el área enmarcada por las figuras presentadas, constituyen en la actualidad el único signo conocido de actividad, asociado al resto de la cadena.

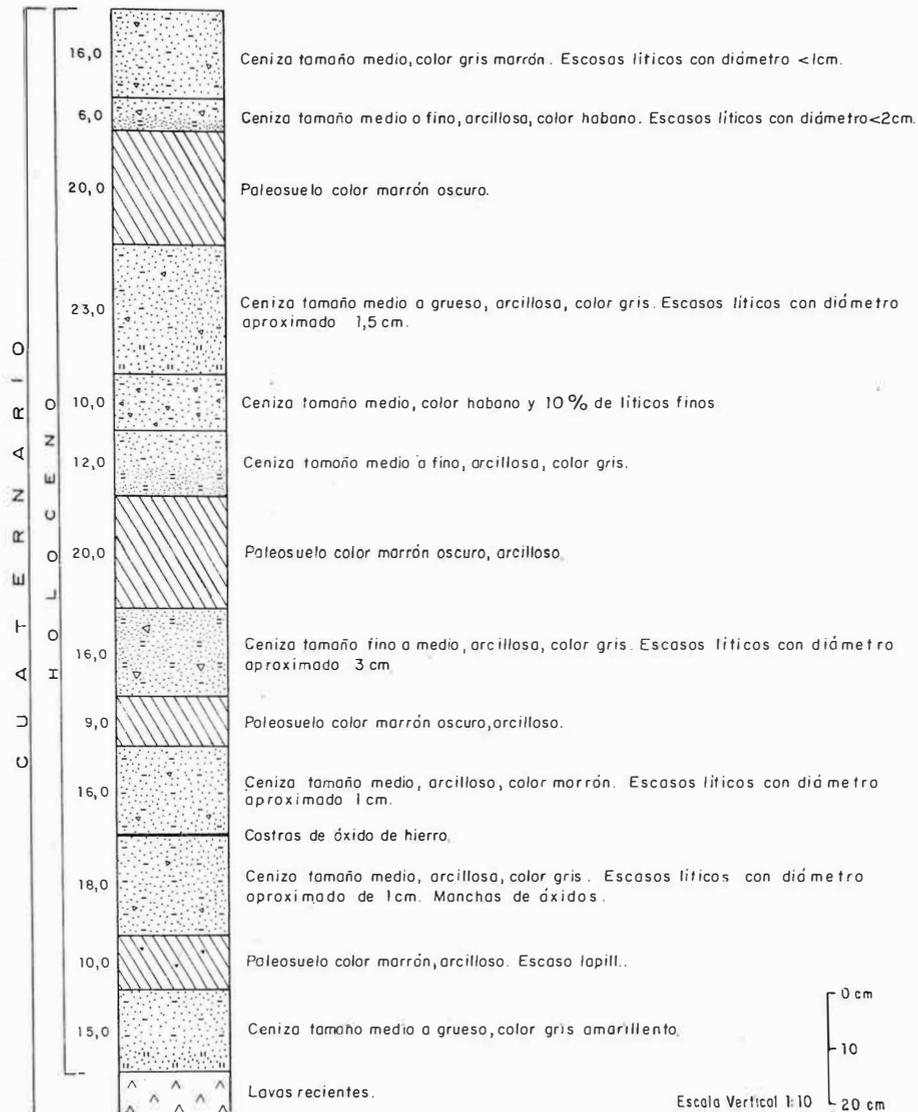
En el límite de los dos grupos de volcanes de la CVLC, el volcán Quintín, perteneciente al primer grupo, está parcialmente cubierto por lavas en bloques del volcán efusivo Shaka, marcando así, un límite morfológicamente bastante notorio.

Fuera de los productos lávicos, en la parte proximal de la CVLC aflora un paquete de cenizas volcánicas de caída,

con intercalación de paleosuelos, el cual alcanza un espesor cercano a los 2 m (Figura 4). Este paquete, en algunas partes se encuentra erodado, siendo más notorio sobre las lavas de Shaka y Machángara y aunque no se conoce aún su origen, las relaciones de campo permiten deducir que es más antiguo que los piroclastos de caída recientes del volcán Puracé (Qpcrp) y que las lavas más recientes de los volcanes Pan de Azúcar (Qlpda), Amancay (Qla), Killa (Qlak) y Pukará (Qlpk), ya que no se encuentra sobre ellas; además, la presencia de varios niveles de paleosuelos indica, para esta área, la ocurrencia de algunos períodos de relativa calma en la generación cenizas de caída.

La mayoría de los productos recientes (lavas y piroclastos de los centros de emisión nuevos) de la CVLC descansan sobre brechas de explosión (Qbe) hidrotermalizadas y en ocasiones litificadas, que generalmente conforman parte de los conos volcánicos nuevos y marcan el inicio de la actividad de éstos últimos, mediante explosiones freáticas.

Alrededor de la CVLC y en cotas que varían entre 3200 y 3900 msnm, se encuentran depósitos morrénicos (Qm) (que indican diferentes períodos de retroceso glacial en el área), algunos, con longitudes hasta de 2,5 km, como los ubicados cerca a la Mina de azufre El



NOTA: No se incluyen las cenizas más recientes del Puracé, que son más jóvenes que los de esta columna

FIGURA 4. Columna estratigráfica general de las cenizas de caída que cubren los productos proximales de la CVLC.

Vinagre (al noroeste y sobre la margen izquierda de la quebrada Duzalina al suroeste, Anexo 1). Estos depósitos suprayacen productos volcánicos antiguos sin diferenciar (TQvasd) y también de pre-Puracé (Qlpp).

También existen depósitos fluvio-glaciares (Qfg) en las partes bajas de la Cadena, ubicados sobre la unidad TQvasd, que ocupan áreas relativamente grandes al NE, sobre la región de la laguna de San Rafael, en donde forman planicies ligeramente cóncavas. Otros depósitos fluvio-glaciares se encuentran en los sectores S y SW del área (Anexo 1), principalmente en los alrededores de la laguna Río Negro y los valles del río Mazamorra y quebradas El Tambor y Río Negro.

Los resultados de 25 análisis químicos en roca total, elaborados en INGEOMINAS y de 5 presentados por Schmitt (op. cit), en rocas recientes de la CVLC, muestran una variación en SiO_2 de 53,08% a 63,11% (Tabla 3), lo que indica un rango de clasificación de andesitas en el diagrama SiO_2 vs K_2O (SHELLEY, 1993), variando desde andesita basáltica hasta el límite entre andesita-dacita y ubicándose, la mayoría de los análisis, en el campo de las andesitas altas en potasio (Figura 5). Para averiguar la serie a la cual pertenecen estas rocas, se utilizó el diagrama ternario AFM (IRVINE and BARAGAR, 1971), quedando todas en el campo calcoalcalino (Figura 6).

De 38 análisis petrográficos realizados en este trabajo, además de otros presentados por autores ya citados, como Acevedo y otros, Schmitt, Monsalve y Pulgarín y Monsalve y otros, se evidencia una mineralogía común para los dos grupos de volcanes, clasificando las rocas como andesitas de dos piroxenos con anfíbol subordinado. Esta mineralogía está conformada por plagioclasa (labradorita- andesina) como la fase mineralógica más abundante, ortopiroxeno (hipersteno) y clinopiroxeno (principalmente augita); como minerales accesorios se presentan anfíbol (hornblenda, generalmente con bordes de reacción de óxidos), opacos (magnetita, ilmenita y pirita), apatito y olivino. En general, las rocas son porfiríticas y muestran texturas seriadas, pilotaxítica y vermicular, con matriz abundante (desde 48% hasta 85%), compuesta por microlitos de cristales de los minerales principales, anfíbol, apatito y vidrio volcánico.

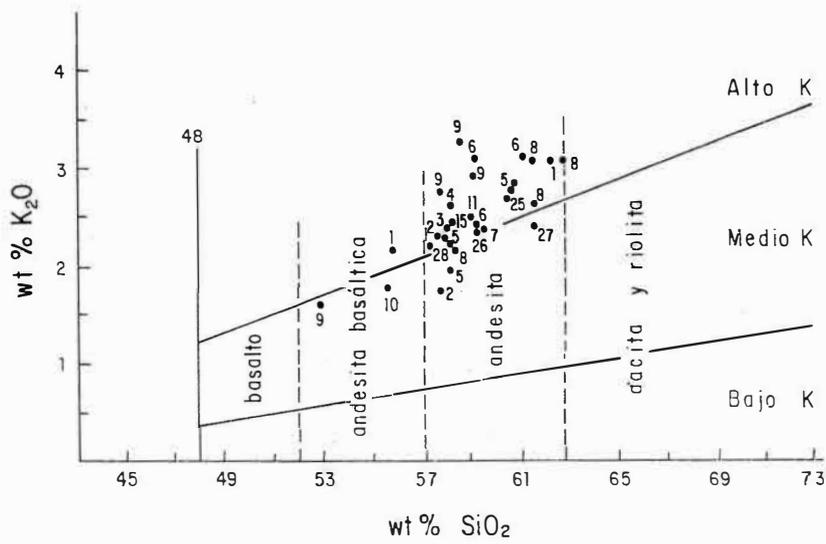
2.2. DESCRIPCION GEOLOGICA DE DE LOS VOLCANES DE LA CVLC

Los volcanes que conforman la Cadena Volcánica de Los Coconucos, son descritos a continuación, en el orden que fueron mencionados en los dos grupos antes presentados. El Anexo 1, es el mapa geológico generalizado, escala 1:50.000, de la CVLC, donde se diferencia cada uno de los centros eruptivos que la conforman y sus productos proximales.

TABLA 3. Análisis químicos en roca total, para elementos mayores, de muestras recientes de la CVLC (Elaborados por INGEOMINAS).

| MUESTRA VOLCAN (IGM) | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeOt | CaO | MgO | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | TOTAL |
|----------------------|------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|
| 325781 | Curiqinga | 62,68 | 16,81 | 5,58 | 4,34 | 2,82 | 0,16 | 3,12 | 3,96 | 0,73 | 0,28 | 100,48 |
| 325496 | Curiqinga | 57,36 | 17,57 | 6,72 | 6,58 | 3,81 | 0,07 | 2,23 | 4,04 | 0,89 | 0,04 | 99,31 |
| 325495 | Curiqinga | 55,86 | 17,94 | 6,86 | 7,00 | 4,14 | 0,07 | 2,19 | 4,18 | 0,98 | 0,04 | 99,26 |
| 325503 | Paletará | 57,79 | 17,00 | 7,15 | 6,72 | 4,64 | 0,05 | 1,77 | 3,64 | 1,04 | 0,04 | 99,84 |
| 325510 | Paletará | 57,36 | 17,76 | 7,15 | 6,86 | 3,64 | 0,07 | 2,30 | 4,18 | 1,03 | 0,08 | 100,43 |
| 325491 | Calambás | 58,22 | 17,19 | 5,72 | 6,02 | 3,32 | 0,06 | 2,41 | 3,91 | 0,91 | 0,28 | 98,04 |
| 325502 | Quintín | 58,65 | 17,38 | 5,40 | 5,60 | 3,32 | 0,05 | 2,61 | 4,04 | 0,84 | 0,04 | 97,93 |
| 325515 | Shaka | 58,22 | 17,19 | 6,86 | 7,14 | 4,48 | 0,19 | 2,01 | 3,91 | 0,84 | 0,30 | 101,14 |
| 325517 | Shaka | 58,65 | 17,38 | 6,43 | 6,58 | 3,48 | 0,06 | 2,26 | 4,58 | 0,80 | 0,17 | 100,39 |
| 325778 | Shaka | 60,97 | 18,13 | 5,86 | 5,04 | 3,48 | 0,16 | 2,85 | 4,18 | 0,80 | 0,27 | 101,74 |
| 325779 | Shaka | 60,76 | 17,94 | 5,72 | 4,90 | 3,48 | 0,16 | 2,81 | 4,12 | 0,81 | 0,37 | 101,07 |
| 325522 | Machángara | 59,29 | 17,19 | 6,43 | 6,16 | 3,32 | 0,07 | 2,42 | 4,18 | 0,89 | 0,04 | 99,99 |
| 325764 | Machángara | 59,26 | 16,24 | 6,29 | 4,90 | 3,98 | 0,16 | 3,11 | 4,00 | 0,92 | 0,34 | 99,20 |
| 325766 | Machángara | 61,40 | 16,81 | 6,00 | 4,76 | 3,48 | 0,19 | 3,14 | 4,08 | 0,88 | 0,30 | 101,04 |
| 325518 | Killa | 59,72 | 17,00 | 6,00 | 5,74 | 3,32 | 0,05 | 2,43 | 4,45 | 0,85 | 0,31 | 99,87 |
| 325769 | P. Azúcar | 63,11 | 17,38 | 5,43 | 4,20 | 2,98 | 0,14 | 3,10 | 4,18 | 0,75 | 0,28 | 101,55 |
| 325507 | P. Azúcar | 62,07 | 17,00 | 5,58 | 5,60 | 2,82 | 0,05 | 2,60 | 4,31 | 0,82 | 0,04 | 100,89 |
| 325771 | P. Azúcar | 62,04 | 17,38 | 5,43 | 4,06 | 2,82 | 0,14 | 3,13 | 4,18 | 0,76 | 0,26 | 100,20 |
| 325509 | P. Azúcar | 58,43 | 17,38 | 8,43 | 8,16 | 3,98 | 0,07 | 2,13 | 4,45 | 0,95 | 0,18 | 104,16 |
| 325816 | Pukará | 59,48 | 16,43 | 5,29 | 5,32 | 2,85 | 0,04 | 2,92 | 4,21 | 1,10 | 0,27 | 97,91 |
| 325817 | Pukará | 58,66 | 17,44 | 5,98 | 6,26 | 3,13 | 0,06 | 3,31 | 4,37 | 0,79 | 0,30 | 100,30 |
| 325818 | Pukará | 57,98 | 17,00 | 6,00 | 6,02 | 3,27 | 0,05 | 2,70 | 4,21 | 0,90 | 0,29 | 98,42 |
| 325508 | Pukará | 53,08 | 17,57 | 8,29 | 8,40 | 5,64 | 0,08 | 1,80 | 4,04 | 1,12 | 0,34 | 100,36 |
| 325525 | Amancay | 55,86 | 18,04 | 7,01 | 7,28 | 3,65 | 0,08 | 1,87 | 4,45 | 0,91 | 0,39 | 99,54 |
| 325524 | Piki | 59,08 | 17,19 | 8,29 | 6,02 | 3,15 | 0,06 | 2,51 | 4,18 | 0,83 | 0,04 | 101,35 |
| 15* | Puracé | 59,13 | 16,50 | 5,89 | 5,84 | 3,41 | 0,10 | 2,43 | 4,09 | 0,86 | 0,28 | 98,53 |
| 25* | P. Azúcar | 60,71 | 16,88 | 5,89 | 5,01 | 2,79 | 0,08 | 2,63 | 4,23 | 0,73 | 0,26 | 99,21 |
| 26* | Coconucos | 59,51 | 16,66 | 6,58 | 5,41 | 3,24 | 0,11 | 2,38 | 4,18 | 0,75 | 0,27 | 99,09 |
| 27* | Coconucos | 61,96 | 16,95 | 6,23 | 4,26 | 2,02 | 0,15 | 2,42 | 4,45 | 0,59 | 0,21 | 99,24 |
| 28* | Coconucos | 58,48 | 16,16 | 6,09 | 5,32 | 3,14 | 0,10 | 2,35 | 3,73 | 0,72 | 0,26 | 99,35 |

FeOt: Hierro total
*: Tomados de Schmitt (1983)



- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 - Volcán Curiqinga | 9 - Volcán Pukará |
| 2 - Volcán Paletará | 10 - Volcán Amancay |
| 3 - Volcán Colambás | 11 - Volcán Píki |
| 4 - Volcán Quintín | 15 - Volcán Puracé * |
| 5 - Volcán Shaka | 25 - Volcán Pan de Azúcar ** |
| 6 - Volcán Machángara | 26] Volcán Coconucos ** |
| 7 - Volcán Killa | 27] |
| 8 - Volcán Pan de Azúcar | 28] |

* Tomados de Schmitt, (1983)

Divisoria de los campos del diagrama TAS

FIGURA 5.

Diagrama K_2O vs SiO_2 (Tomado de Shelley, 1993) que muestra también los campos del diagrama TAS y la ubicación de las muestras analizadas de la CVLC. (Análisis en roca total).

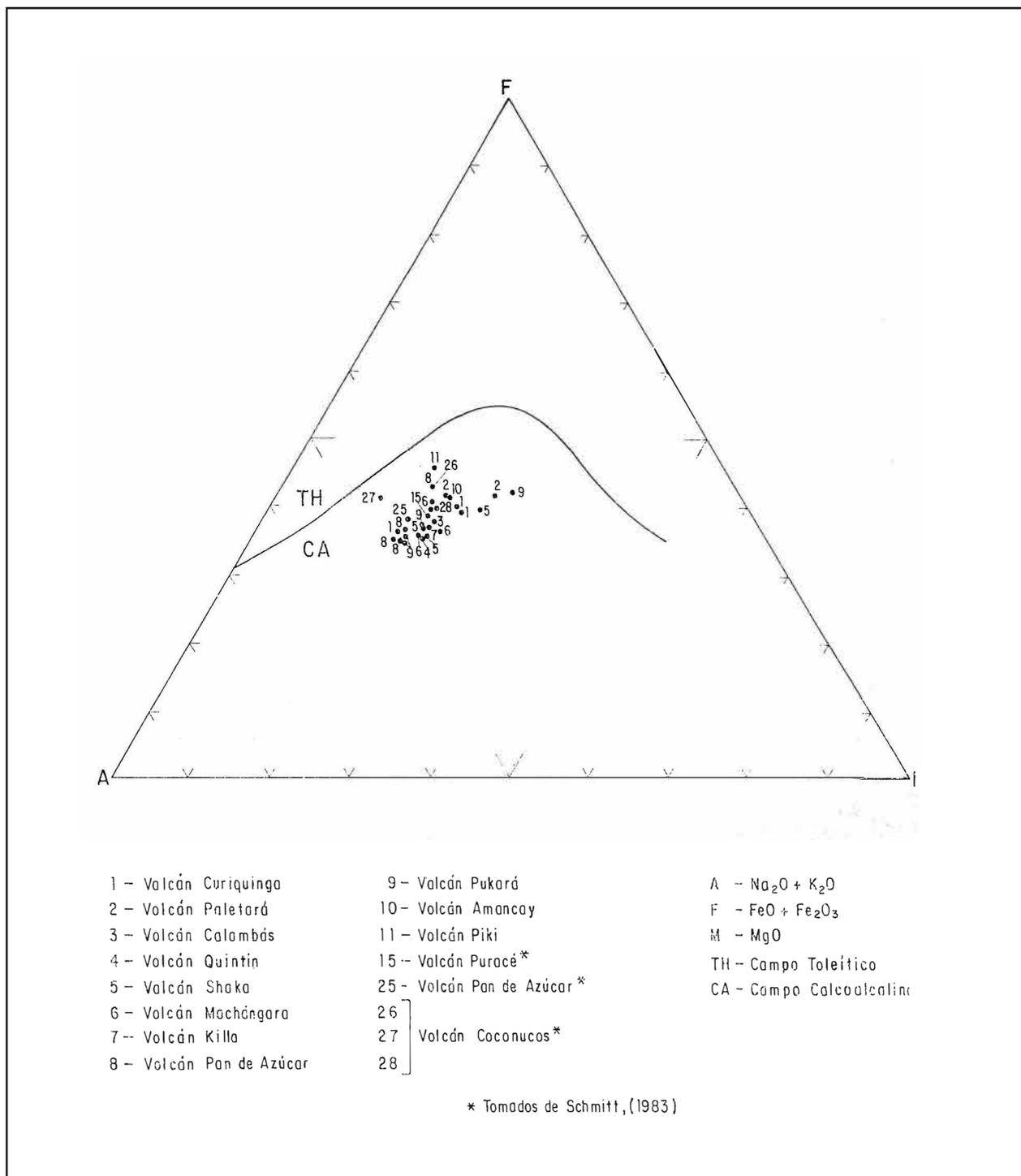


FIGURA 6. Diagrama ternario AFM (Irvine and Baragar, 1971). Clasificación de la serie volcánica de las muestras analizadas de la CVLC.

2.2.1 Volcán Puracé Actual

Este volcán (Figura 7), con 4640 msnm, está situado al NW de la CVLC. Debido a su actividad histórica (PULGARIN y otros, 1993; MONSALVE y PULGARIN, 1993; ESPINOSA, 1989) y fumarólica actual y a sus fuentes termales (CALVACHE y otros, 1988; INGEOMINAS, 1995), es el centro eruptivo más importante de ésta. A diferencia de los otros volcanes que conforman la cadena, el Puracé Actual está construido por una clara alternancia de productos piroclásticos y lavas (Qpfpa, Qpcrp, Qlpa), clasificándose así como un típico estrato-volcán, cuyo

comportamiento más reciente es básicamente de tipo explosivo (MONSALVE y PULGARIN, 1993).

El cono activo del volcán se construyó sobre un aparato más antiguo, denominado pre-Puracé (Qlpp), el cual, a su vez, se desarrolló sobre otra estructura mayor, llamada Caldera de Chagartón (MONSALVE, en preparación; MONSALVE y PULGARIN, op. cit.), cuyos depósitos se incluyen en los Productos volcánicos antiguos sin diferenciar (TQvasd) del Anexo 1. El cráter actual del Puracé es doble y concéntrico, de forma circular y



FIGURA 7.

Volcán Puracé visto desde el flanco noreste del volcán Shaka. El cono está cubierto por piroclastos recientes.

diámetros de 900 y 500 m para el exterior y el interior, respectivamente, y profundidad aproximada de 100 m; en el fondo de éste, se presenta una grieta con dirección E-W, en la cual hay actividad fumarólica asociada.

Entre los principales productos piroclásticos se destacan los flujos de ceniza y bloques, de ceniza y escoria y las cenizas de caída (MONSALVE Y PULGARIN, op. cit). Algunos de los flujos piroclásticos han viajado hasta más de 10 km. Las cenizas han sido distribuidas, según descripciones de erupciones históricas, a distancias

mayores de 30 km, aunque su registro geológico sólo se conserva en las partes altas. Las lavas, generalmente masivas, y de poca longitud, corresponden a andesitas de dos piroxenos con anfíbol subordinado (MONSALVE, en preparación).

2.2.2. Volcán Picollo

El aspecto general de este volcán es el de un cono destruido, del cual sólo se conserva su flanco suroeste (Figura 8), con altura de 4600 msnm. Hacia el sector destruido se observa una



FIGURA 8.

Volcán Picollo. Toma de su flanco suroeste cubierto por piroclastos recientes provenientes del volcán Puracé

morfología de montículos ondulados, con diámetros del orden métrico, cubiertos por depósitos de ceniza gruesa de color gris y bombas volcánicas, provenientes del volcán Puracé. Esta morfología baja desde la parte alta del cono y corresponde posiblemente a depósitos de la destrucción del flanco del edificio. El mecanismo de destrucción aún no se conoce, pues la cobertura de piroclastos impide observar los depósitos subyacentes, pero posiblemente haya ocurrido por explosión debido a la presencia de una brecha de explosión (Qbe) en su cima. Esta brecha está litificada y aflora a

manera de cresta, con 5 m de espesor; contiene fragmentos líticos, tanto hidrotermalizados como frescos. Todo el edificio volcánico está cubierto por piroclastos de caída recientes del Puracé y en el área cercana a la cima por lavas de este último y hacia el suroeste, por lavas de Curiqinga.

2.2.3. Volcán Curiqinga

Presenta un cono bien desarrollado que alcanza 4500 msnm (Figura 9) (IGAC, 1981, mapa escala 1:25.000), El cráter es de forma ligeramente ovalada, con el eje



FIGURA 9.
Volcán Curiqinga, flanco noreste. Frente del flujo de lava en bloques.

mayor aproximadamente en la misma dirección de la CVLC, presenta diámetro de 500 m y profundidad estimada de 90 m; su fondo es plano y está cubierto por fragmentos de rocas y bombas; en la pared interna este, afloran remanentes de depósitos alterados y oxidados de flujos de lava porfiríticas.

El edificio está cubierto por bombas volcánicas que han dejado grandes cráteres de impacto y por ceniza gruesa de color gris, la cual suaviza su morfología (Figura 9). Presenta varios eventos de flujos de lava en bloques (Qlc) que

alcanzan longitudes desde 1 km (cubierta por los piroclastos de caída), hasta 7,5 km. Hacia su sector oeste, se observa un típico flujo de lava en bloques, reciente que está fosilizado por otro semejante proveniente del volcán Shaka (Figura 10).

La lava más sobresaliente en la parte superior noreste, es un lóbulo en bloques (Figura 9) que, petrográficamente, corresponde a una fenoandesita de dos piroxenos, con apatito y opacos como accesorios (ACEVEDO y otros, 1987).

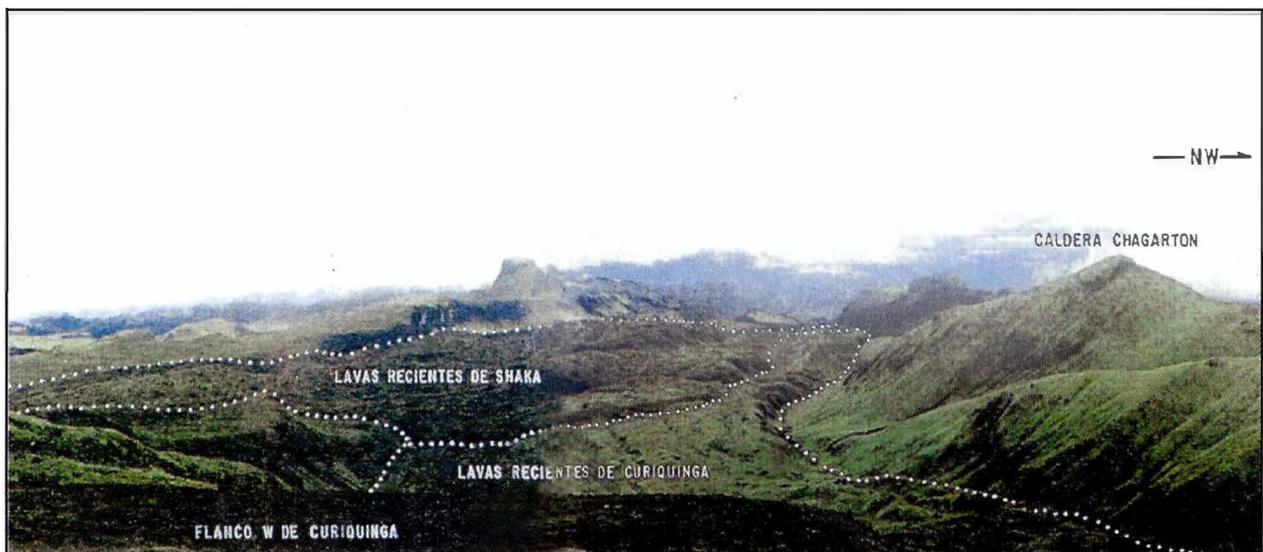


FIGURA 10.

Depósitos de flujos de lava en bloques de Curiquinga y Shaka ocupando un antiguo Valle Glaciar. Los de Shaka fosilizan a los de Curiquinga.

Asociado a este volcán se encuentra un depósito de flujo piroclástico de 80 cm de espesor, compuesto por ceniza, escoria, pómez, bombas y líticos; aflora localmente, sólo en los sectores Este (en la parte alta en límites con Calambás) y Oeste (en la parte baja en límites con Picoello y Chagartón). Este depósito es similar a algunos encontrados en el flanco Norte del volcán Puracé.

2.2.4. Volcanes Calambás-Paletará

Son dos edificios concatenados, alineados transversalmente a la CVLC, en

dirección N24°E. El Calambás está sobre el eje de La Cadena y su cono se encuentra morfológicamente bien conservado en su flanco este (Figura 11); su flanco suroeste está destruido, desde el cráter, por la acción del centro eruptivo Paletará (Figura 12); el cráter, de fondo plano, tiene forma semicircular con 550 m de diámetro y profundidad aproximada de 80 m, desde su borde más alto.

El cono de Calambás, con 4450 msnm, está constituido por una brecha hidrotermalizada, sobre la cual afloran lavas en bloques y masivas (Qlca), que



FIGURA 11.
Volcán Calambás, flanco este.



FIGURA 12.

Cráter volcán Paletará. Nótese los tres anillos piroclásticos concéntricos. En primer plano, parte del cráter del Volcán Calambás.

comienzan en el borde del cráter a manera de corona. Estas lavas, localmente con apariencia escoriácea, tienen espesor entre 2 y 6 m, son porfiríticas y de color gris.

En el flanco noreste aflora el paquete de cenizas intercaladas con paleosuelos, que cubre la mayoría de los depósitos lávicos recientes de la CVLC; también en este sector, se encuentran pequeños remanentes de flujos de lodo. El cono del Calambás está cubierto por cenizas y bombas recientes, que han dejado cráteres de impacto con diámetros mayores de 1,5 m.

El volcán Paletará (4400 msnm), presenta un cráter principal constituido por un anillo circular de 600 m de diámetro; en su interior presenta otros dos anillos concéntricos de 250 m y 160 m de diámetro, respectivamente (Figura 12); uno de ellos, alcanza 6 m de altura sobre el fondo del cráter y le suprayace, localmente una delgada placa de lava maciza de 4 m de espesor. Los otros dos anillos piroclásticos también están coronados por grandes bloques de lava dispersos. La disposición de los anillos piroclásticos del Paletará puede tener su origen en explosiones freatomagmáticas de diferente intensidad. Según Muffler et

al (1971), en este tipo de explosiones es normal encontrar pequeños cuerpos de lava que representarían la componente puramente magmática, al final de la erupción.

En general, el fondo del Paletará es de forma plana y su cono original parece haber sido destruido quedando sólo algunos remanentes contiguos al Calambás, donde se observan lavas con fuerte alteración hidrotermal.

El edificio de Paletará, constituido por lavas andesíticas (Qlpt), se encuentra

parcialmente fosilizado por productos de los volcanes vecinos Curiqinga y Quintín.

2.2.5. Volcán Quintín

Su edificio, de forma cónica (Figura 13), alcanza 4470 msnm, según base topográfica del IGAC (1981). En la cima tiene un cráter de forma circular con 500 m de diámetro, una profundidad aproximada de 100 m y forma cóncava; sus pendientes internas son suaves; se observan remanentes de lavas en sus paredes sur y sureste.

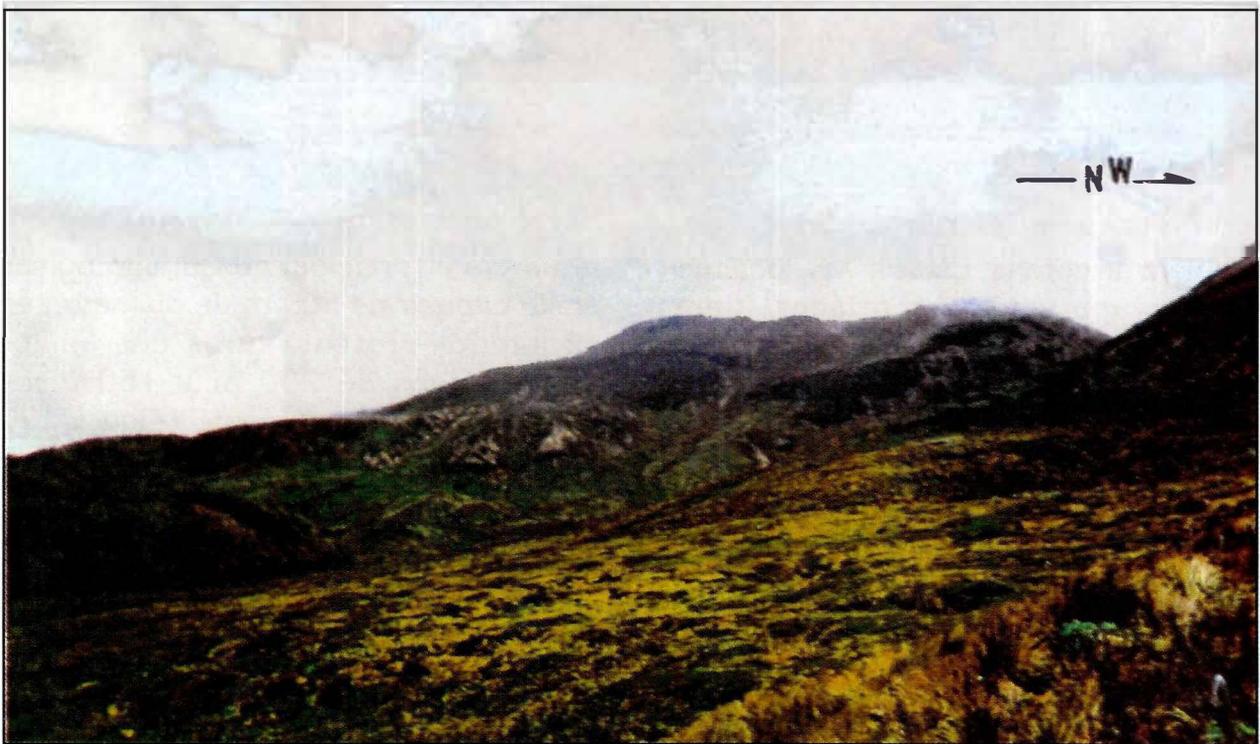


FIGURA 13.

Volcán Quintín, visto desde el este. Obsérvense en su flanco los depósitos lávicos de corta longitud.

Hacia el flanco oeste, aflora una brecha hidrotermalizada (Qbe), litificada y de color amarillo que conforma la mayor parte del cono actual; está compuesta por cantos angulares de rocas volcánicas, presenta costras de segregación de azufre y localmente se encuentra oxidada y corroída.

Otros productos asociados a este volcán son coladas de lava en bloques (Qlq) de corta longitud; en el sector este alcanzan hasta 50 m de espesor y generalmente presentan alteración hidrotermal. Son rocas porfiríticas de grano medio, con algunas vesículas rellenas con óxidos. Sobre las lavas de Quintín y Calambás, hacia el este, también se encuentra el paquete de cenizas con intercalaciones de paleosuelos (Figura 4), el cual suprayace a la vez, depósitos piroclásticos hidrotermalizados, que posiblemente son concomitantes con la brecha antes mencionada. El cono de Quintín está cubierto por cenizas recientes de color gris y bombas volcánicas con diámetros del orden métrico, dispersas principalmente en su cima.

El área de exposición de los productos de este volcán es la menor en toda la CVLC, ya que están cubiertos por lavas de Shaka hacia el sur y el este y por productos de los otros volcanes, hacia el norte.

2.2.6. Volcán Shaka

Formado por tres centros de emisión contiguos, con alturas cercanas a los 4400

msnm, cuyas características y productos son similares; éstos son denominados como Shaka Inferior, Shaka Medio y Shaka Superior (Figura 14), según su edad relativa, aprovechando que sus productos se encuentran superpuestos. Los centros de emisión de Shaka no presentan conos propiamente dichos; tanto éstos como sus cráteres se encuentran construidos sobre las mismas lavas.

Estos centros de emisión se caracterizan por tener asociadas coladas de lava en bloques (Qlss, Qlsm, Qlsi, para Shaka Superior, Medio e Inferior, respectivamente), las más largas de la cadena actual, con longitudes hasta de 10 km (Figura 10), con estructuras macrocordadas, también cubiertas por el paquete de cenizas (indicado en la Figura 4). Macroscópicamente, las lavas de los diferentes centros de Shaka son muy similares: rocas porfiríticas medias de color gris, matriz afanítica, con fenocristales de plagioclasa y máficos. Petrográficamente corresponden a andesitas de dos piroxenos con anfíbol subordinado y algunas muestras de Shaka superior presentan también olivino subordinado (MONSALVE y otros, 1993).

Shaka inferior está parcialmente fosilizado por Shaka Medio y sólo se observa un remanente del cráter en forma de media luna, con un diámetro aproximado de 150 m.

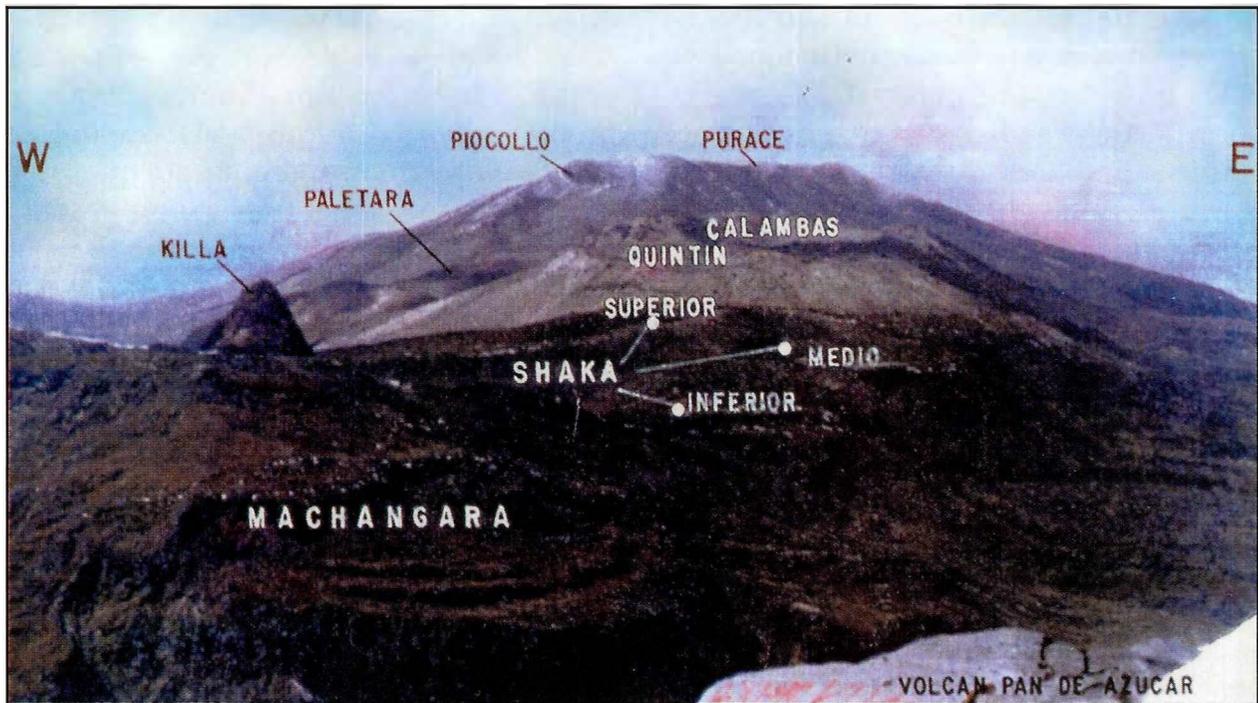


FIGURA 14.
Cadena Vólcanica de los Coconucos, vista desde el Vólcan Pan de Azucar. Hacia la parte media, los centros eruptivos de Shaka

El cráter principal de Shaka Medio es de forma circular, tiene 175 m de diámetro y 5 m de profundidad promedio; el fondo es plano, ocupado por una pequeña laguna y hacia el oeste, otro cráter en forma de embudo de sólo 50 m diámetro y 20 m de profundidad (en el que hay otra pequeña laguna), con indicio de actividad explosiva, ya que presenta un anillo piroclástico en su borde.

El cráter de Shaka superior está construido sobre una plataforma de lava en bloques de 30 m de espesor; tiene forma

circular, diámetro aproximado de 170 m, profundidad de 20 m desde su borde este y menor de 5 m al oeste; también está parcialmente, ocupado por una laguna. Además, se encuentran otras pequeñas depresiones circulares alrededor del cráter principal; en el fondo de éste, se encuentra, a manera de protrusión, un remanente de lava, que sobresale 5 m.

2.2.7. Volcanes Machángara-Killa

Se encuentran situados 375 m hacia el sureste del eje principal de la cadena y conforman un sistema alineado en

dirección N42°W con una separación de 360 m entre sí (Figura 15).

El Volcán Machángara, 4470 msnm, se encuentra parcialmente colapsado en su parte norte; actividad posterior construyó el cráter actual, el cual tiene 300 m de diámetro y profundidades de 100 m respecto al borde sur y 20 m con respecto al borde norte; su fondo es plano y está ocupado actualmente por una pequeña laguna.

El edificio de Machángara está constituido en su base por una brecha hidrotermalizada color rojizo (Qbe), sobre la cual afloran al menos 10 coladas

lávicas (Qlm); algunas de éstas son masivas, otras en bloques y con estructura macrocordada (Figura 15). La mayor longitud alcanzada por las lavas subcrecientes de este aparato es de 2,5 km y su espesor promedio es de 40 m. Macroscópica y petrográficamente la mayoría de las rocas pertenecen a la familia de las andesitas.

En el sector sur, en límite con el Pan de Azúcar, las lavas presentan escarpes verticales de aproximadamente 100 m, los cuales coinciden con lineamientos fotogeológicos. Killa es un remanente de aguja o protrusión (Qlaak) de un edificio volcánico adventicio (?) a Machángara;

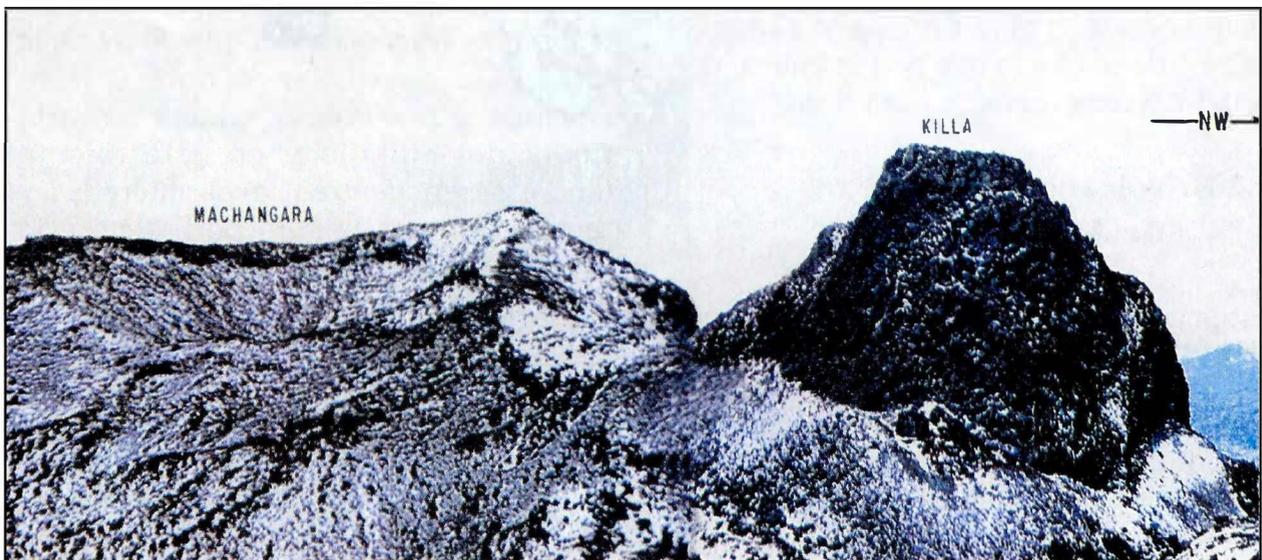


FIGURA 15.

Volcanes Machángara - Killa. Vista desde el cráter de Shaka medio.

es de forma piramidal, con altura de 4480 msnm, un diámetro basal aproximado de 125 m y su elevación estimada es de 80 m. En sus flancos se reconoció solamente una colada de lava (Qlaak) de 700 m de longitud, de color rojizo, debido a la oxidación sineruptiva. Petrográficamente corresponde a una andesita de dos piroxenos y anfíbol (MONSALVE y otros, op. cit.).

La aguja está constituida por una roca de color gris claro, con estructura columnar hacia el centro y laminar hacia los bordes; petrográficamente, se diferencia de la colada de lava por no presentar anfíbol. Algunas de las coladas de lava asociadas al edificio de Machángara, presentan características macroscópicas muy similares a las de Killa; también se encontraron bloques de esta roca diseminados en los flancos y cima del edificio de Shaka, lo que podría indicar una actividad más reciente para Killa.

2.2.8. Volcanes Pukará-Pan de Azúcar

Estos volcanes se encuentran situados en el extremo sureste de la Cadena y separados entre sí por una distancia de 750 m; se incluyen en un subgrupo por encontrarse alineados en dirección S 45° W, perpendicular al eje de la Cadena.

De la CVLC, los volcanes Pukará y Pan de Azúcar (Figura 16), y especialmente el Puracé, son los que muestran

remanentes de edificios volcánicos antiguos (Qlppk, Qlppda y Qlpp, respectivamente) formados con anterioridad a las brechas hidrotermales (Qbe) previas a la actividad lávica más reciente (lavas nuevas) de la Cadena.

El edificio de Pukará, con 4460 msnm, es de forma cómica en su cima; se encuentra muy erodado y, aunque en el reconocimiento de campo no se observó un cráter propiamente dicho, en fotografías aéreas se detecta una pequeña forma de cráter semidestruido al sureste, hacia donde se encuentran depósitos de flujos de lava en bloques, de corta longitud y con morfología muy bien conservada, lo que indica su origen reciente. Los productos asociados a este aparato volcánico incluyen: brecha hidrotermal litificada, de color amarillo, localmente muy oxidada, que aflora en la parte baja de su flanco norte y está asociada a pre-Pukará. Hacia la parte media del edificio y en este mismo flanco, se encuentran lavas alteradas y fracturadas, con textura porfirítica; a lo largo de las fracturas se observa alteración hidrotermal que da a la roca una coloración marrón amarillenta. La parte alta, que conforma la porción más sobresaliente de este volcán, está constituida por una roca fresca de textura afanítica y color gris, cubierta por una corteza de textura brechosa con fragmentos de escoria. Los depósitos de lava en bloques recientes (Qlpk), los más jóvenes de este volcán, que se observan



FIGURA 16.
Vólcanes Pukará (izquierda) y Pan de Azúcar (derecha), vistos desde Machángara.

hacia las partes sur y sureste, se originan a este nivel y algunos de ellos presentan oxidación sineruptiva. Estas lavas reposan sobre otras (Qlppk) que, por su posición, son correlacionables con las de la parte media del flanco norte, son preglaciares y además, conforman el edificio de pre-Pukará (Qlppk), o sea, el previo al más reciente.

El Volcán Pan de Azúcar es el extremo sureste de la Cadena, con 4650 msnm; ocasionalmente se cubre de nieve en su cima, quizás porque su altura está muy cerca del límite inferior de nieves perpetuas de la Cordillera Central, que

según varios autores (en FLOREZ, 1983) está entre 4600 y 4800 msnm; además, de acuerdo con los trabajos de Linder (1990), este volcán, que junto con el Puracé son los más altos de la Cadena, estaría ya por debajo de la línea de equilibrio del hielo, es decir con altura en la que ya no hay zona de alimentación permanente de nieve y como el área del glaciar que se forma temporalmente es de dimensiones muy pequeñas, tampoco hay efecto de auto-refuerzo glaciar (crear por sí mismo condiciones frías para mantenerse).

La cima del volcán Pan de Azúcar está coronada por un cráter de forma

ovalada en dirección noreste, de fondo plano, con diámetro aproximado de 100 m y profundidad desde su borde más alto (suroeste), también de 100 m, aproximadamente.

Los productos más recientes son típicos flujos de lava en bloques (Qlpda), de textura porfirítica, que alcanzan longitudes de 3 km, en el flanco norte (Figura 17) y de más de 5 km al suroeste, con espesores hasta de 40 m. Estas lavas conforman la cima del cono actual del volcán; infrayacen a éstas, remanentes de depósitos lávicos (Qlppda) en posición pseudohorizontal, de un edificio volcánico precedente (pre-Pan de Azúcar). Hacia los flancos, los flujos de

lava en bloques son delgados y presentan acumulaciones de bloques alineados en la dirección de los flujos, y muestran una disposición longitudinal, quizás debido a la alta pendiente y a la estructura del flujo (bloques). Hacia la parte baja, estos flujos rellenaron antiguos y amplios valles glaciares de la última glaciación y posiblemente también de otras (FLOREZ, op. cit), como el que se encuentra en el límite con Machángara, en el cual descansan los cuerpos principales de dos de estos depósitos; uno que entra al valle por el costado NNW del volcán y otro por el sector NNE. Otros depósitos de flujos de lava similares a los descritos, se observan hacia los flancos sur y sureste del volcán, en los cuales se



FIGURA 17.

Lava en bloques recientes del Vólcan Pan de Azúcar. Al fondo lavas del Volcán Machángara. Toma desde la cima del Pan de Azúcar.

detectaron, en las fotografías aéreas, apilamientos de unos contra otros, que muestran morfología parecida a pequeños volcanes que sobresalen de los depósitos de flujos grandes.

En general, las lavas recientes del Pan de Azúcar y del Pukará no se observan cubiertas por el paquete de cenizas indicado en la Figura 4 y por el contrario, muestran superficies muy conservadas y expuestas, lo que corrobora su edad relativa más reciente.

2.2.9. Volcanes Amancay-Piki

Estos centros eruptivos se encuentran situados respectivamente a 2,7 km y

2,2 km al noreste del eje de la Cadena, son adventicios a ella y presentan características similares a los volcanes del sector sureste.

El Volcán Amancay es un pequeño aparato volcánico a 4000 msnm, nombrado por primera vez por Acevedo y otros (1987). Se encuentra alineado fotogeológicamente con el volcán Pukará en dirección N-S. Su cono tiene sólo 150 m de altura y está formado por depósitos de flujos de lava en bloques (Figura 18); en su cima presenta un cráter de 85 m de diámetro, con forma circular y profundidad de 30 m; en su fondo presenta una fractura con dirección N 65°E, que indica su alineación con los volcanes Piki y Shaka.

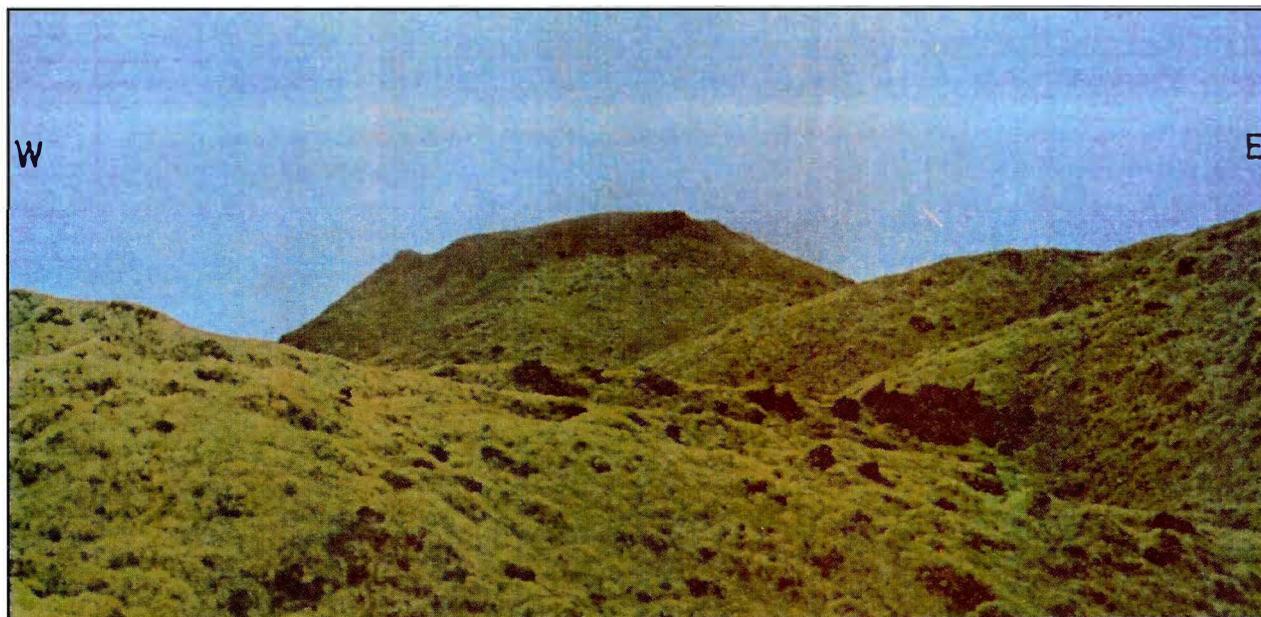


FIGURA 18.

Vólcán Amancay. Vista de su flanco sur. En primer plano, obsérvense sus depósitos de flujos de lava en bloques.

Las lavas más recientes de Amankay (Q1a), se presentan en bloques, macrocordadas, con hombreras bien desarrolladas y morfología bien conservada. Macroscópicamente, son rocas afaníticas con fenocristales de plagioclasa dispersos. Foto-geológicamente, se observa que estas lavas descansan sobre otros dos niveles de flujos de lava, también con morfología bien conservada, aparentemente emitidos por la misma fuente. Los flujos inferiores alcanzaron distancias de 6 km a partir de este centro de emisión. Acevedo y otros (op. cit.), petrográficamente clasifican estas rocas como andesitas de dos piroxenos, cuya fase cristalina principal está representada por plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y como accesorios anfíbol, opacos y apatito; en la matriz se encuentra tridimita.

El volcán Piki (Figura 19), es otro pequeño centro de emisión a 3700 msnm, que aparentemente ha generado poca cantidad de materiales (Figura 19), debido a la escasa extensión de sus flujos. El edificio, de forma abombada, está destruído hacia el flanco noreste. Sus lavas (Q1pi), que son porfiríticas, se encuentran parcialmente cubiertas por lavas de Shaka, que a su vez bordean el edificio. El cráter, tiene 100 m de diámetro y 60 m de profundidad.

Como no se dispone de dataciones radiométricas, que puedan ayudar a correlacionar los depósitos y diferentes períodos de actividad en la Cadena, se establece, de acuerdo con las relaciones estratigráficas encontradas en el campo, una cronología relativa de eventos (Tabla 4), la cual se refleja también en el Anexo 1.

TABLA 4. Secuencia cronológica relativa de algunos productos recientes de la Cadena Volcánica de Los Coconucos (CVLC).

| VOLCAN | PRODUCTOS-EVENTOS | RELACION DE CAMPO |
|--|---|---|
| Puracé Actual Pan de Azúcar Pukará | Piroclastos, lavas Lavas en bloques Domo (?), lavas | Erupciones históricas Morfología muy reciente Erosión y morfología reciente |
| Killa | Destrucción edificio(?) | Bloques sobre lavas de Shaka |
| Amancay Shaka superior | Lavas afaníticas Lavas en bloques | Sobre lavas de Shaka Supraya en cono de Quintín |
| Shaka medio | Lavas en bloques | Suprayacido por lavas de Shaka superior |
| Shaka inferior | Lavas en bloques | Suprayacido por lavas de Shaka medio |
| Piki | Lavas, destrucción flanco | Rodeado y cubierto por lavas de Shaka |
| Machángara | Lavas, destrucción flanco | Cubierto por lavas de Pan de Azúcar |
| Quintín | Piroclastos (?), lavas | Suprayacido por lavas de Shaka |
| Curiquinga | Lavas en bloques | Suprayacido por lavas de Shaka |
| Paletará | Anillos piroclásticos | Destrucción del cono de Calambás |
| Calambás | Formación cono, lavas | Productos anteriores a Paletará |
| Piocollo | Destrucción edificio(?) Brecha de explosión | Cubierto por lavas de Curiquinga y Puracé |



FIGURA 19. Volcán Piki visto desde el Volcán Amancay. Al fondo, flujos de lava del Shaka.

3. DISCUSION-CONCLUSIONES

La Cadena Volcánica de Los Coconucos está conformada por 15 centros eruptivos que muestran evidencias de actividad postglaciar (última glaciación).

Por sus características y morfología, estos centros se pueden sectorizar en dos grupos: el noroeste, de características predominantemente explosivas y el sureste, de características predominantemente efusivas.

Los resultados de análisis químicos y petrográficos de productos de la CVLC, permiten clasificarlos como andesitas de dos piroxenos altas en potasio, pertenecientes a la serie calcoalcalina.

El contenido de sílice de las muestras analizadas de la CVLC, indican que las lavas más ácidas de ésta, son las del volcán Pan de Azúcar, lo que se refleja en la morfología de sus flujos (bloques completamente sueltos que forman grandes lóbulos). Aunque en la actualidad sólo se le vea asociada una actividad efusiva a este volcán, la acidez de sus lavas (63,11% SiO_2) estaría mostrando su potencial capacidad explosiva y la eventual amenaza que puede significar, pues no se le conocen erupciones históricas.

Las relaciones estratigráficas relativas entre los diferentes productos de los

centros eruptivos de la CVLC, demuestran que no existe una migración del vulcanismo desde el Volcán Pan de Azúcar al Puracé; además, que su actividad estaría relacionada con una margen continental activa, como indica la asociación calcoalcalina del vulcanismo de los Andes en Colombia y no con un punto caliente, como lo había sugerido Acosta (1980).

La actividad de los volcanes del segmento noroeste de la cadena ha sido principalmente de tipo freática hasta magmática, en contraste con los volcanes del sureste, donde los productos predominantemente lávicos reflejan actividad de componente principalmente magmática.

Los centros eruptivos más recientes, situados sobre el eje de la cadena, están contruidos sobre un bloque tectónico, limitado por fallas subparalelas a este eje; los escarpes de falla se encuentran mejor expuestos en el sector de los volcanes predominantemente explosivos, especialmente hacia el suroeste. En el sector de los volcanes predominantemente efusivos, los escarpes de falla están parcialmente fosilizados por los flujos de lava emitidos por los centros de éste sector. El área de la CVLC está cruzada por una densa red de lineamientos, principalmente de tendencias noreste y noroeste, en cuyas intersecciones, generalmente se construyen los diferentes centros de emisión.

En general, los productos de los diferentes centros que componen la CVLC se intercalan entre sí. A pesar de no contar con dataciones de los depósitos, las relaciones y observaciones tomadas en campo permiten, de manera preliminar, elaborar una cronología relativa entre algunos de los eventos más recientes (post-glaciares) de cada uno de los focos volcánicos, lo que demuestra la actividad aleatoria y no migratoria en la CVLC.

De la cadena volcánica, sólo el Volcán Puracé ha presentado erupciones históricas; los demás volcanes presentan una morfología postglaciar (algunos con remanentes preglaciares) con productos morfológicamente muy bien conservados y aparentemente muy recientes; de estos centros, los productos de los volcanes predominantemente efusivos, especialmente de Pan de Azúcar, Pukará, Amankay y Shaka son en su orden, más recientes que los de los explosivos (exceptuando al Puracé actual, que ha tenido erupciones históricas).

Aunque aún no se han identificado las fuentes que dieron origen al paquete de cenizas que cubre algunos de los productos proximales de la cadena, éste indica importantes períodos de actividad de tipo explosivo en la zona, posterior a la actividad lávica más reciente de Shaka y Machángara y anterior a la de Amancay, Killa, Pan de Azúcar, Pukará y a las cenizas más recientes del Puracé actual.

Se deduce un cierto grado de actividad para la CVLC, no sólo por la misma actividad del Puracé, sino también por la generación de productos de edad relativamente reciente y por la presencia de algunas fuentes termales ubicadas en su alrededor, razón por la cual es conveniente complementar e implementar los estudios tanto geológicos como de vigilancia, para detectar su nivel de actividad y alcanzar un mejor conocimiento de su comportamiento.

de Historia Natural, de la Universidad del Cauca, quien colaboró con la búsqueda de los nombres para los volcanes de la Cadena Volcánica de Los Coconucos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento a las Directivas del INGEOMINAS por aprobar y facilitar su realización. De manera especial, al geólogo Hector Cepeda, Director Regional de la Unidad Operativa Popayán quien inicialmente conformaba el equipo de estudio y que por las labores administrativas de su cargo se separó de la ejecución del proyecto, pero sus observaciones en los trabajos de campo y de oficina fueron de gran ayuda para la realización del estudio, debido a su conocimiento tanto del tema como del área que se trabajó. Agradecimientos además, al personal de apoyo del mismo instituto y al químico Carlos Julio Cedeño, por la supervisión de los análisis químicos de las muestras.

Los autores agradecen también al ecólogo Alvaro José Negret, Director del Museo

BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, A. P., MONSALVE, M. L. y CEPEDA, H., 1987. *Petrografía de algunas lavas de la Cadena Volcánica de Los Coconucos*. INGEOMINAS. 8 p. Popayán.
- ACOSTA, C. E., 1980. *Los Coconucos, un punto caliente* ?. Revista de geografía, Universidad Nacional de Colombia, Volumen 2, N°1: p 7-34. Bogotá.
- CALVACHE, M., LONDOÑO, A., MENDEZ, R., MONSALVE, M. L., PARRA, E. y RODRIGUEZ, L., 1988. *Actividades y datos obtenidos en el muestreo de fumarolas en los volcanes Puracé, Galeras y Cumbal*. INGEOMINAS.
- CEPEDA, H. y CARVAJAL, C., 1991. *Determinación del grado de actividad actual del volcán Galeras*. Convenio INGEOMINAS-COLCIENCIAS. INGEOMINAS, Regional Sur. 94 p. Popayán.
- ESPINOSA A., 1989. *Datos sobre la actividad del volcán Puracé en épocas históricas*. INGEOMINAS. 22 p. Popayán.
- FISHER, V. and SCHMINCKE, H., 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer - Verlag. 472 p. New York.
- FLOREZ, A., 1983. *Cadena volcánica de los Coconucos Cordillera Central. Ensayo de cartografía geomorfológica con base en fotointerpretación*. Revista Colombia Geográfica, IGAC, Volumen X, N° 2: p. 33-56. Bogotá.
- IGAC, 1976 y 1981. *Plancha topográfica 365-I-D. Escala 1:25000*. Bogotá.
- INDERENA - FUP, 1988. *Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Puracé*. Popayán.
- INGEOMINAS, 1988. *Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:500000*. Bogotá.
- _____, 1995. *Informe de actividad volcánica 1994. Observatorio Vulcanológico y Sismológico, Unidad Operativa Popayán*. 31 p. Popayán.
- IRVINE, T. N. and BARAGAR, W. R., 1971. *A guide to the chemical classification of the common rocks*. Can. J. Earth Science. N° 8: p 526-548.
- KOLLER, B., 1983. *Sulphur geochemistry of some volcanic rocks of Puracé volcano and Sotara volcano, Département of Cauca, Southwestern Colombia*. INGEOMINAS, Regional Popayán. 13 p. Popayán.
- KURODA, N. and PARIS, G., 1978. *Petrographical notes of some dacites and andesites of Puracé volcano, Cauca Colombia*. Report of Andean studies, Shizuoka University (Japan), Special Volume: p. 21-32.
- LINDER, W., 1990. *Pérdidas en las masas de hielo en el Nevado del Ruiz, causadas por procesos climáticos y eruptivos durante los últimos 50 años*. Tesis de Doctorado. Alemania. Revista Análisis Geográficos No 23. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- MEGYESI, I., 1961. *Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina El Vinagre, Puracé*. Informe 1403. Servicio Geológico Nacional. 65 p. Bogotá.
- MONSALVE M. L. (en preparación). *El volcán Puracé, Colombia*. INGEOMINAS, Unidad Operativa Manizales.
- _____, 1993. *Geoquímica y dataciones de episodios tipo San Vicente en el volcán Puracé*. Boletín Geológico INGEOMINAS, Volumen 33, N° 1-3: p. 3-17. Bogotá.
- MONSALVE, M. L. y PULGARIN, B., 1992. *Geología proximal de la Cadena volcánica de los Coconucos. Informe de avance, Proyecto P92GF04*. INGEOMINAS, Unidad Operativa Popayán. Popayán.
- _____, 1993. *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé*. Revista INGEOMINAS, N° 2: p. 3-27. Bogotá.

- MONSALVE, M. L., PULGARIN, B. y CEPEDA, H., 1993. *Informe de avance, Proyecto P93F03*. INGEOMINAS, Unidad Operativa Popayán. Popayán..
- MUFLER, L. J., WHITE, D. E. and TRUESDELL, A. H., 1971. *Hydrothermal explosion craters in Yellowstone National Park*. Geological Society of American Bulletin, Volume 82: p. 723-740.
- OPPENHEIM, V., 1950. *The volcano Purace*. American Journal of Science, Volume 248: p. 171-179.
- PAZOS, A., 1966. *Glosario de quechuismos Colombianos*, 2 ed. Imprenta del Departamento. 146 p. Pasto, Colombia.
- PENNINGTON, W. D. 1979. *The subduction of eastern Panama basin seismotectonics of northwestern Southamerica*. (Ph.D. Thesis). University of Wisconsin (Madison). 126 p.
- PUERTA, G., 1991. *Historias y leyendas del volcán Puracé*. 103 p. Popayán.
- PULGARIN, B., MONSALVE, M. L., ARCILA, M., y CEPEDA, H., 1993. *Actividad histórica y actual del volcán Puracé, Colombia*. Boletín Geológico INGEOMINAS. Volumen 34, N° 2-3: p. 39-53. Santafé de Bogotá.
- PULGARIN, B. y MONSALVE, M. L. (en preparación). *Estructuras Volcánicas el Valle de Paletará*. Unidad Operativa Popayán.
- RAMIREZ, J. y CARVAJAL, C. 1996. *Informe sobre las medidas de deformación en el volcán Puracé*. Informe Interno, INGEOMINAS, Unidad Operativa Manizales, Popayán, 4 p.
- SCHMITT, C., 1983. *Petrologische untersuchungen junger vulkanite in südkolumbien*. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. 207 p.
- SHELLEY, D., 1993. *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman & Hall. 445 p. London.
- TORRES FERNANDEZ DE C., G., 1982. *Diccionario Kichua-Castellano*. Yurakishimi - Runashimi. Tomo I. Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo Azuay. 347 p. Cuenca.
- TORRES, M. P., MONSALVE, M. L., PULGARIN, B. y CEPEDA, H. (en revisión). *Caldera de Paletará (Colombia): Aproximación a la Fuente de las Ignimbritas de Cauca y Huila*. Unidad Operativa Popayán.

