

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 cenozóicas 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 Landsat 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.

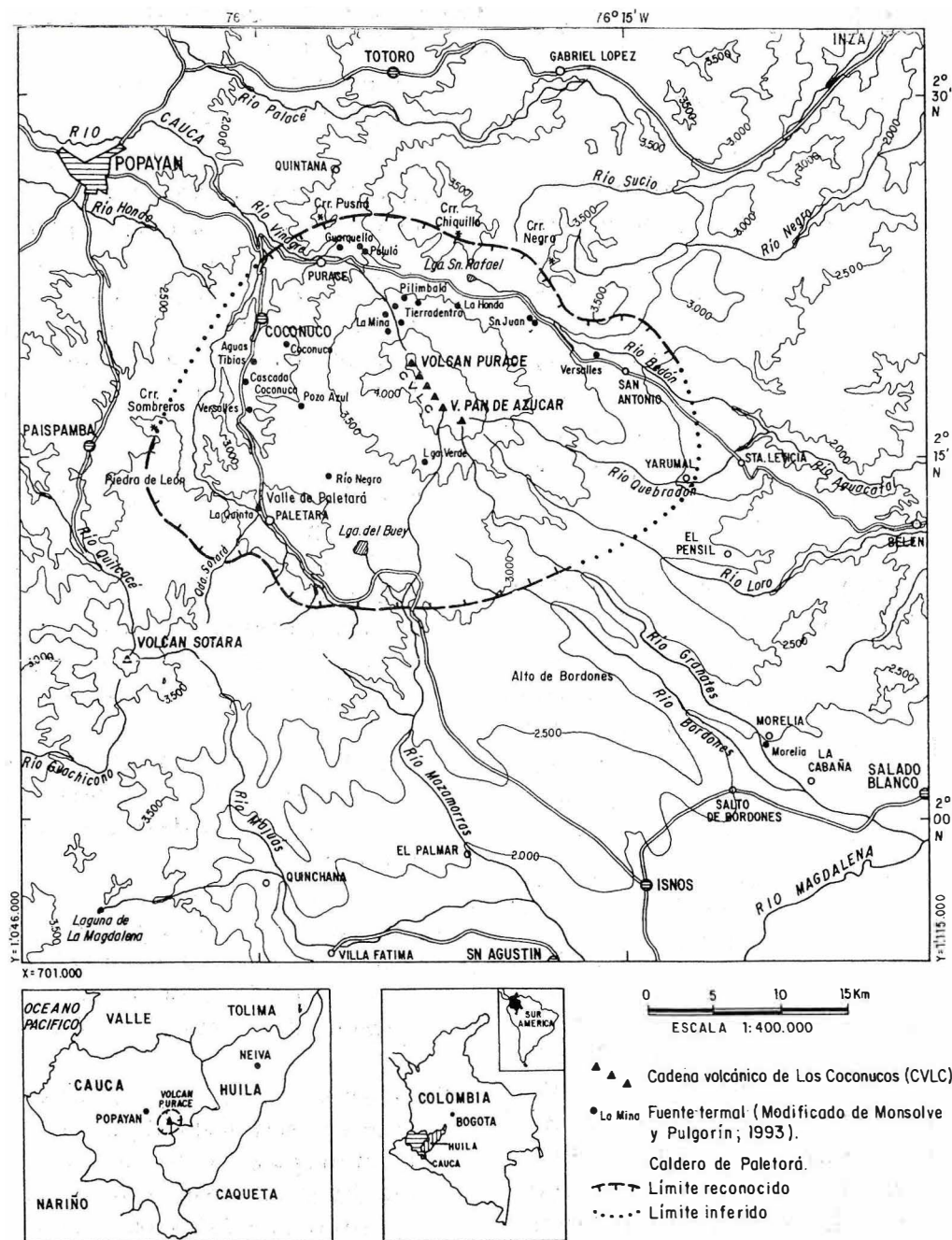


FIGURA 1.
Ubicación Caldera de Paletará y Fuentes Termales asociadas.

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

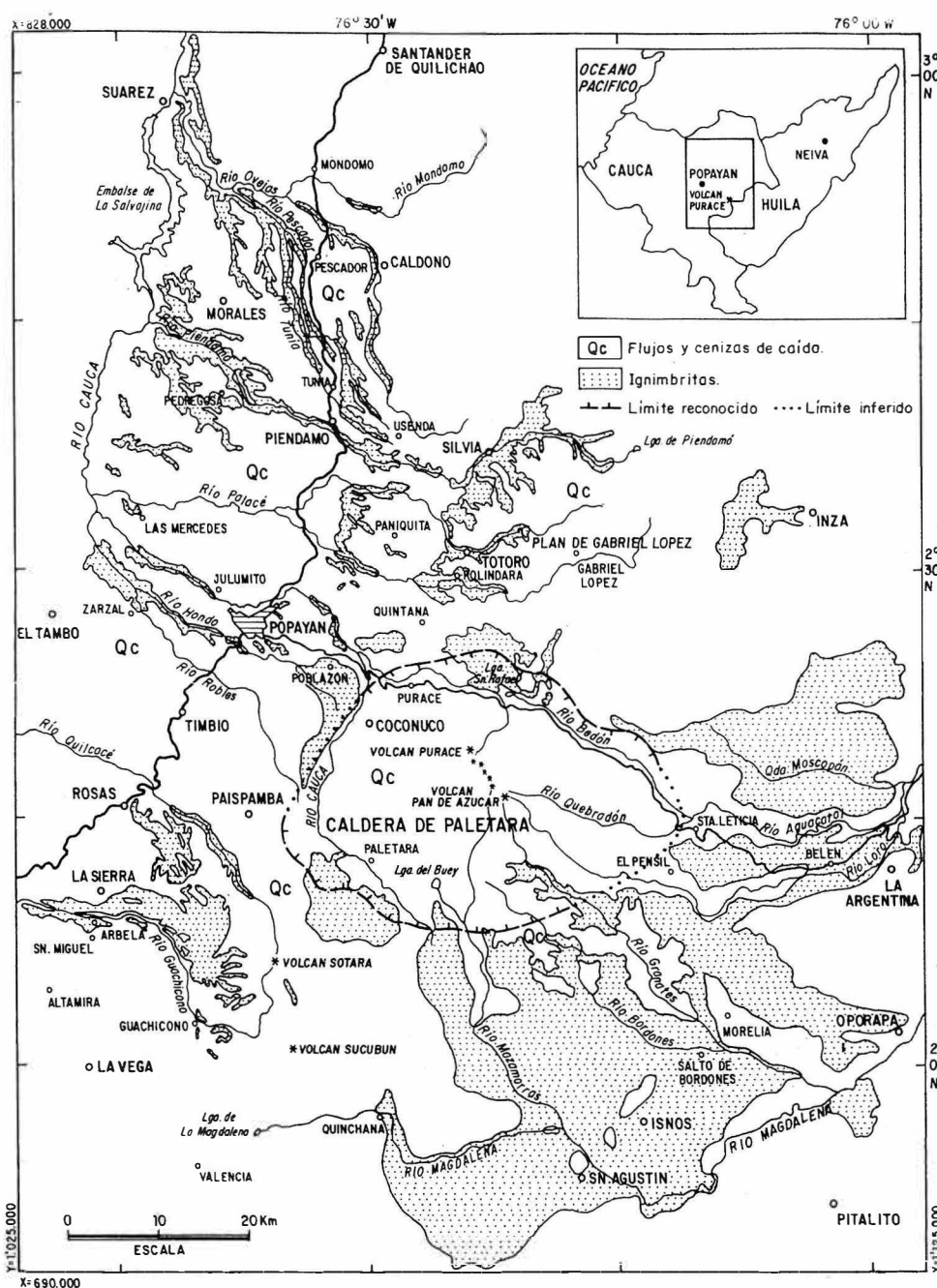
En la región sur de Los Andes de Colombia, existe una extensa provincia ignimbrítica, expuesta a lado y lado de la Cordillera Central, así como en las depresiones interandinas del Magdalena y Cauca-Patía, la cual no ha sido aún muy bien estudiada y cuya fuente ha constituido un problema vulcanológico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

**FIGURA 2**

Distribución geográfica de las ignimbritas, asociadas a la Caldera de Paletará, en los departamentos del Cauca y del Huila.

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 km^3 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 km^3 , cubre un área de 1530 km^2 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 Consultants, 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 Sotaró (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

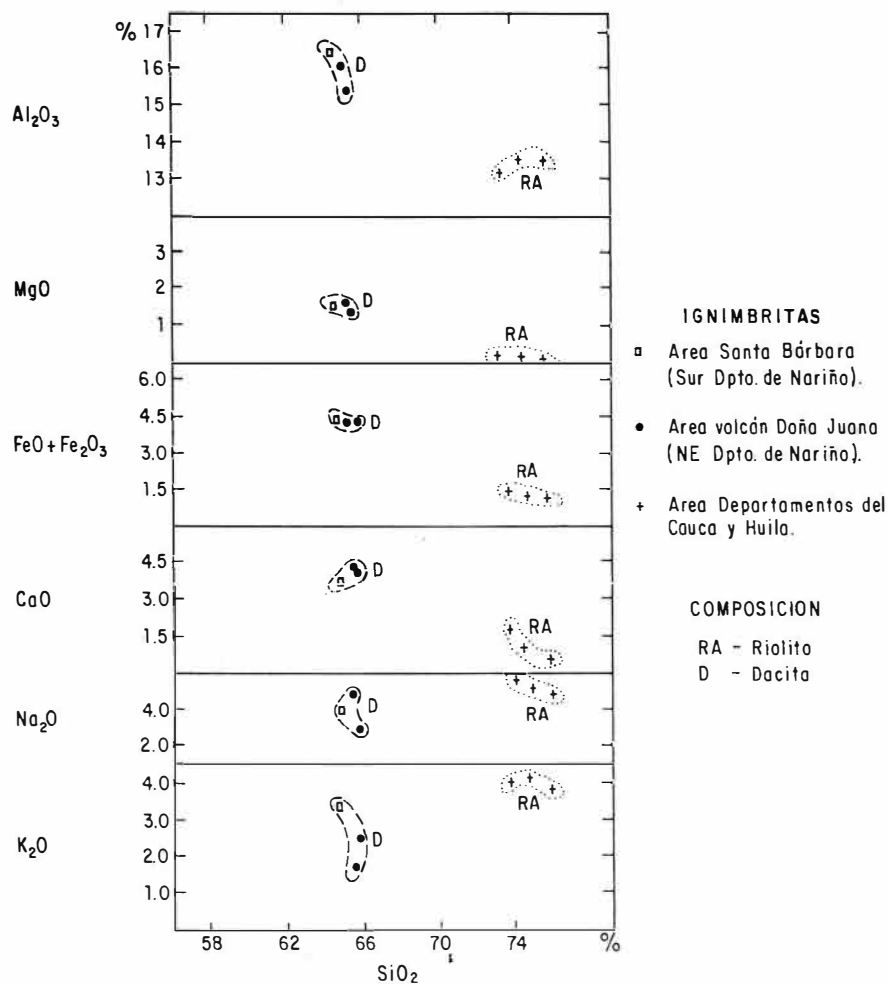


FIGURA 3.

Diagrama de variación geoquímica con respecto al contenido de SiO_2 , 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).

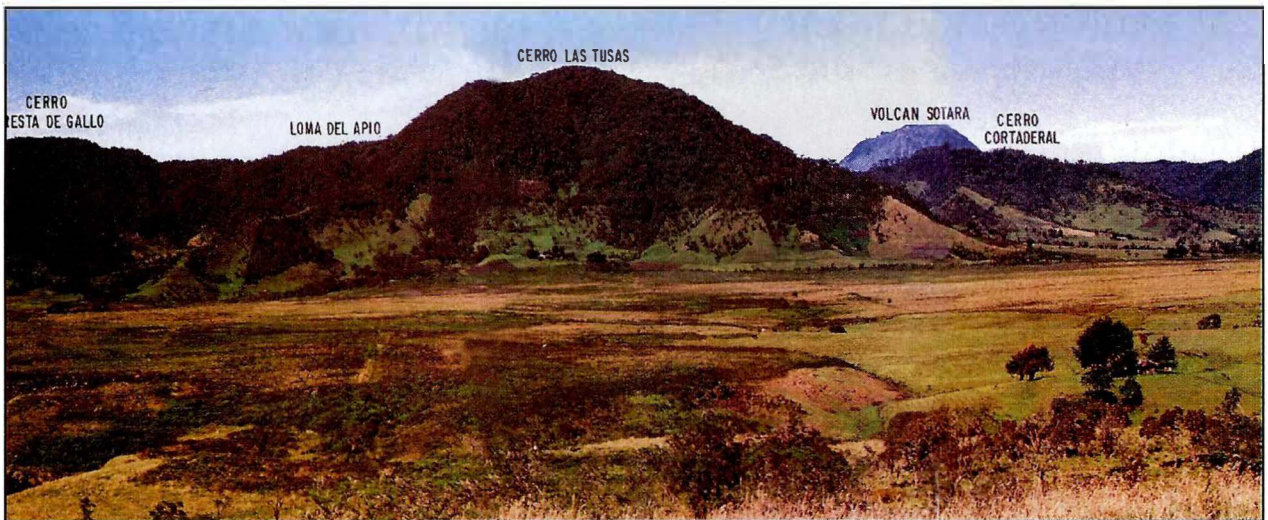


FIGURA 5.
Borde caldérico en el Valle de Paletará: colinas levantadas tectónicamente. Obsérvese el volcán Sotará, detrás del cerro Cortaderal.

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.

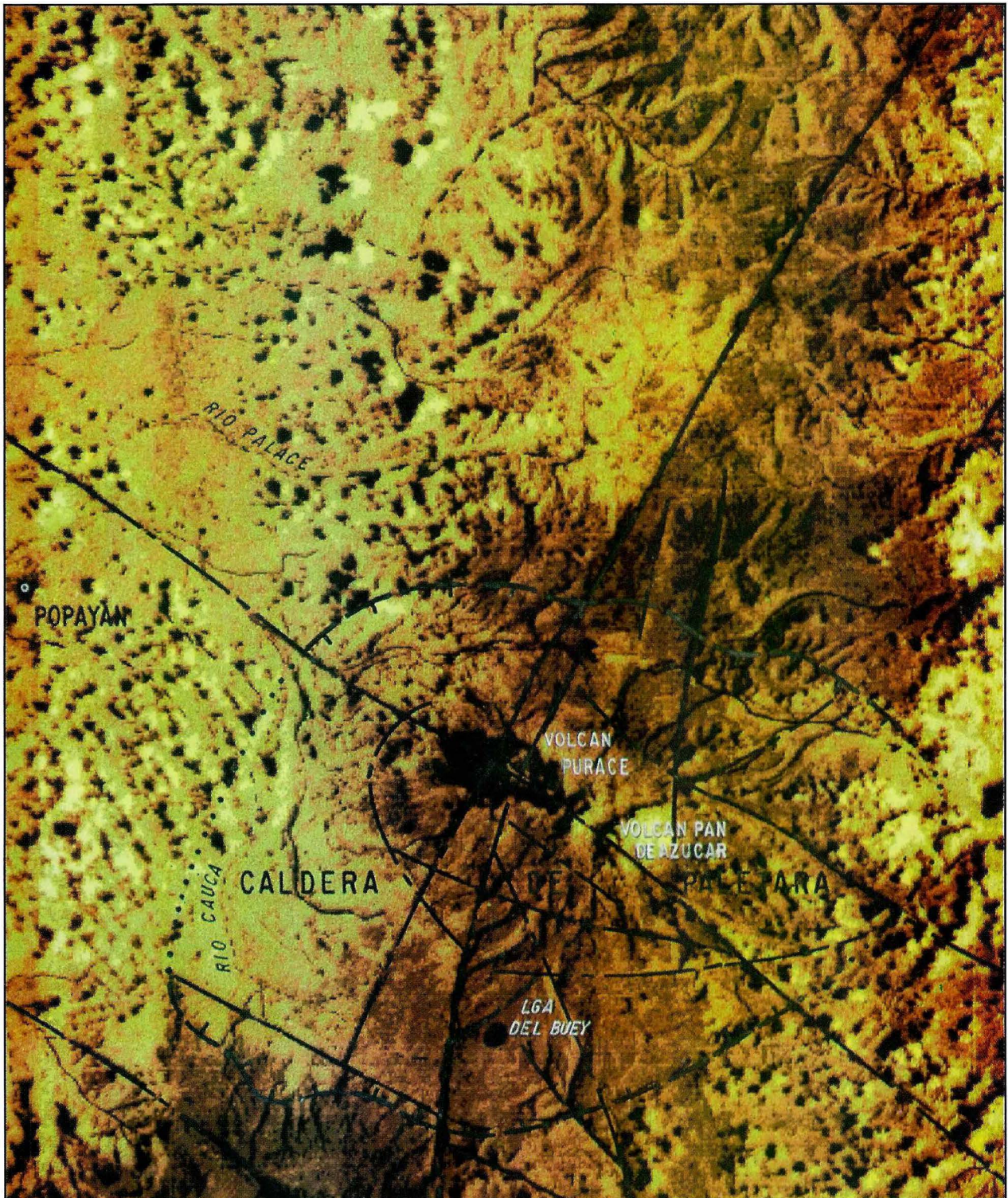


FIGURA 6.
Interpretación de la imagen de Satélite Landsat TM, banda 7

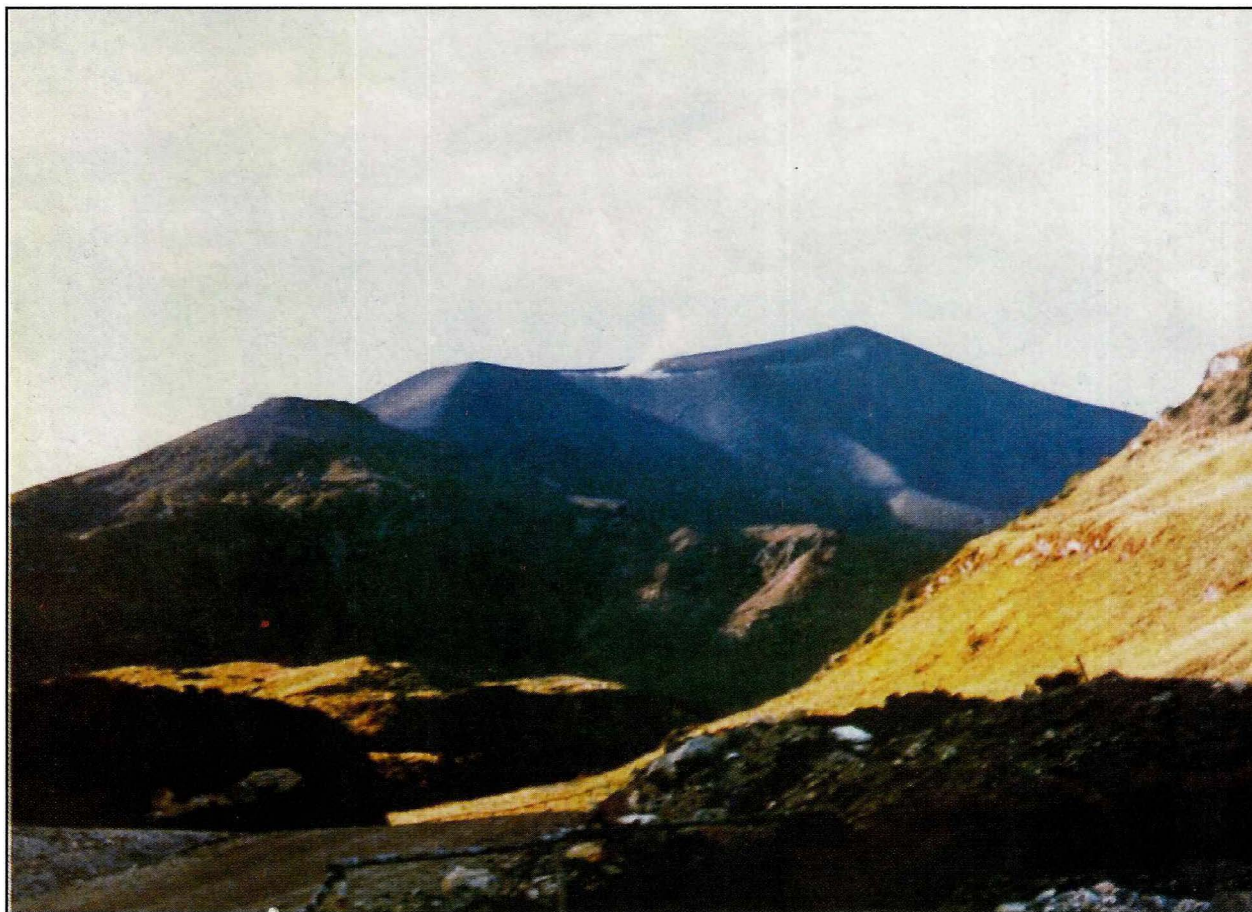


FIGURA 7.
Actividad fumarólica del Volcán Puracé (fumarola externa)

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 Landsat 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 caldéica 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 caldéica.

cálculo del volumen real de las ignimbritas, al reconocimiento de otros productos asociados a la megaestructura, a definir con mayor exactitud los límites caldéicos y para conocer más detalladamente la relación del vulcanismo moderno con la megaestructura caldéica. 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 süd-kolumbien*. 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.