

Proyecto Geotérmico Chiles Cerro Negro

EDINSON LOZANO *

LUIS CRUZ *

Geólogos. Univ. Nacional de Colombia, Bogotá

RESUMEN

En el área del proyecto geotérmico Chiles-Cerro Negro afloran rocas metamórficas paleozoicas, metasedimentarias cretácicas y vulcanitas pliocenas y pleistocenas.

Las rocas volcánicas pliocenas, por sus características de fragilidad y permeabilidad secundaria, constituyen el reservorio geotérmico en los sistemas Chiles-Cerro Negro y Cumbal y los niveles superiores de las rocas metasedimentarias forman el límite inferior del mismo.

La variación composicional en las vulcanitas pleistocenas desde dacitas hasta andesitas olivínicas, nos sugieren la presencia de una cámara magmática somera que se comportaría como una fuente de calor.

En el sistema Chiles-Cerro Negro la cobertura impermeable es de tipo autosellamiento.

En el sistema Cumbal han ocurrido colapsos caldéricos a partir del Pleistoceno Inferior y sus componentes eruptivos más recientes han contribuido a definir su cobertura impermeable.

* Instituto Colombiano de Energía Eléctrica. Carrera 13 No. 27-00 Piso 3°. Bogotá. Colombia.

INTRODUCCION

El Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, conjuntamente con la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, desarrollaron en 1981, un estudio de reconocimiento geotérmico a nivel nacional, como consecuencia del cual se definieron tres áreas prioritarias en las que se recomendó adelantar estudios a nivel de prefactibilidad. Dentro de estas se incluyó la de Chiles-Cerro Negro, localizada en el departamento de Nariño y en la frontera con el Ecuador.

En vista de los atractivos ofrecidos por esta área, los gobiernos de Colombia y Ecuador firmaron un convenio en 1982, para estudiarla conjuntamente, con lo cual surgió el proyecto geotérmico binacional Chiles-Cerro Negro-Tufiño.

En 1983, dentro del marco del Convenio de Cooperación con Ecuador, el ICEL a través de la División de Fuentes Alternas de Energía, desarrolló la fase I de la etapa de prefactibilidad en la parte colombiana del área de estudio, la cual incluyó investigaciones geovulcanológicas, geoquímicas e hidrogeológicas.

Area de estudio

El área de estudio del proyecto geotérmico binacional Chiles-Cerro Negro-Tufiño, es de 1800 Km² e incluye territorios de Colombia y Ecuador. La parte colombiana cubre unos 900 Km², tiene una forma aproximadamente rectangular, faltando incluir su esquina NW debido a la inexistencia de bases topográficas y fotografías aéreas de ese sector (ver Figura 1). El estudio vulcanológico presentado en este trabajo cubre los 900 Km² del área colombiana, (proyecto geotérmico Chiles-Cerro Negro) incluyendo también un sector ecuatoriano fronterizo perteneciente al proyecto binacional, lo cual contribuye a la mayor comprensión tanto de la parte vulcanológica como de los aspectos geotérmicos asociados.

Además de los volcanes Chiles y Cerro Negro, se ha incluido también el volcán Cumbal que en la etapa de reconocimiento mostró atractivos geotérmicos destacados y el estudio del cual puede aportar grandes conocimientos para el entendimiento vulcano estructural, hidrogeológico y en general geotérmico del proyecto geotérmico binacional.

Búsqueda de fluidos geotérmicos de alta entalpía en regiones volcánicas

Esta búsqueda se orienta específicamente a la determinación de los elementos fundamentales de un campo geotérmico de alta entalpía en regiones volcáni-



cas como se establece en el alcance de la metodología de OLADE (Documento No. 1, 1978). Estos elementos fundamentales son:

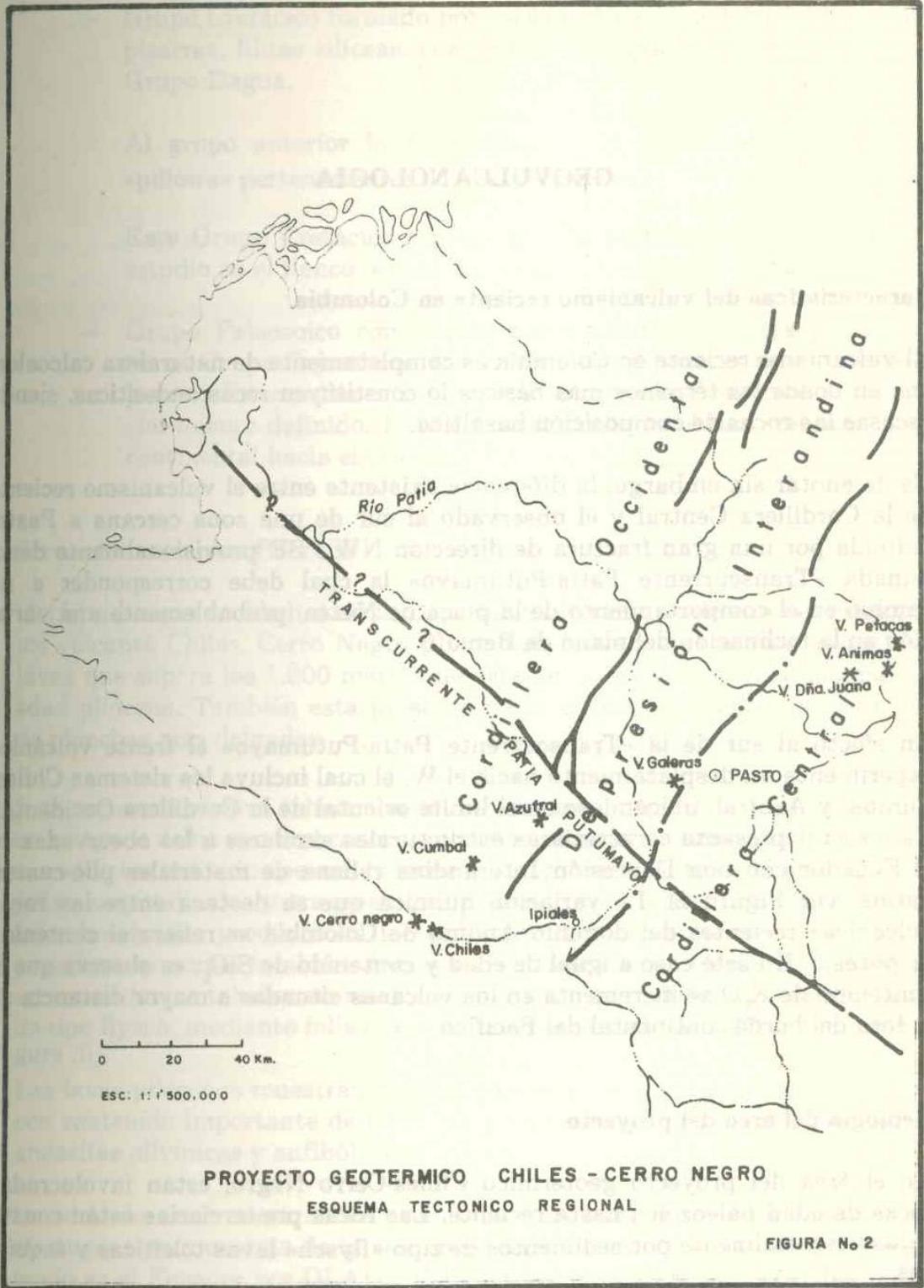
- Una fuente de calor localizada en los niveles someros de la corteza terrestre con capacidad térmica suficiente como para calentar un volumen importante de rocas dispuestas en sus cercanías
- Un acuífero térmico o reservorio que permita la circulación de fluidos geotérmicos a poca profundidad de la superficie para ser alcanzados por perforaciones de profundidad moderada.
- Un área de recarga que permita la percolación de agua meteórica con calentamiento progresivo durante su descenso hacia el reservorio.
- Una sobrecapa impermeable lo suficientemente potente para impedir la disipación del calor por convección y del escape de los fluidos hacia la superficie.

La fuente de calor se relaciona con una masa de magma de alta temperatura ubicada en el interior de la corteza terrestre en intrusiones en curso de enfriamiento o «cámaras magmáticas» de alimentación de un volcán.

La formación de cámaras magmáticas con suficiente capacidad térmica para calentar un gran volumen de rocas encajantes, requiere de condiciones tectónicas favorables, como el cruce de fallas o el basculamiento de bloques fallados que formen trampas tectónicas apropiadas, donde el magma en ascenso reposa y produce diferenciación. En este sentido es importante investigar las relaciones entre estructuras volcánicas y lineamientos tectónicos con el objeto de reconocer a poca profundidad la presencia de cuerpos magmáticos calientes. La persistencia de la actividad volcánica a través del tiempo y la presencia de productos volcánicos fuertemente diferenciados son elementos favorables para estimar su presencia en un largo período de tiempo. En muchos casos las cámaras magmáticas alimentan grandes volcanes centrales que son estructuras volcánicas alrededor de una chimenea central, formados por productos de diferente composición que se conectan genéticamente a través de cristalización fraccionada.

El reservorio lo constituyen rocas de una alta permeabilidad ya sean porosas o intensamente fracturadas. Para que muestre sus atractivos económicos debe estar formado por un volumen considerable de rocas y localizado dentro de un sistema hidrogeológico capaz de permitir una recarga suficiente de agua.

La identificación de un reservorio geotérmico es uno de los objetivos más difíciles en las etapas de exploración ya que frecuentemente aparecen cubiertas



volcánicas superficiales que enmascaran las capas potencialmente atractivas para almacenar grandes cantidades de fluidos.

GEOVULCANOLOGIA

Características del vulcanismo reciente en Colombia

El vulcanismo reciente en Colombia es completamente de naturaleza calcoalcalina en donde los términos más básicos lo constituyen rocas andesíticas, siendo escasas las rocas de composición basáltica.

Es de anotar sin embargo, la diferencia existente entre el vulcanismo reciente de la Cordillera Central y el observado al sur de una zona cercana a Pasto, definida por una gran fractura de dirección NW - SE provisionalmente denominada «Transcurrente Patía-Putumayo» la cual debe corresponder a un cambio en el comportamiento de la placa de Nazca (probablemente una variación en la inclinación del plano de Benioff).

En efecto al sur de la «Transcurrente Patía-Putumayo» el frente volcánico experimenta un desplazamiento hacia el W, el cual incluye los sistemas Chiles, Cumbal y Azufral, ubicándose en el límite oriental de la Cordillera Occidental. Este sector presenta características estructurales similares a las observadas en el Ecuador con una Depresión Interandina rellena de materiales plio-cuaternarios (ver Figura 2). La variación química que se destaca entre las rocas volcánicas recientes del dominio Andino de Colombia se refiere al contenido de potasio. En este caso a igual de edad y contenido de SiO_2 , se observa que el contenido de K_2O se incrementa en los volcanes situados a mayor distancia de la fosa del borde continental del Pacífico.

Geología del área del proyecto

En el área del proyecto geotérmico Chiles-Cerro Negro, están involucradas rocas de edad paleozoica hasta reciente. Las rocas pre-terciarias están constituidas esencialmente por sedimentos de tipo «flysch» lavas toleíticas y esquistos.

Las rocas terciarias incluyen unidades volcánicas de predominio lávico.

Basamento pre-Terciario

- Grupo Cretácico formado por rocas metasedimentarias que incluyen pizarras, filitas silíceas, cuarcitas y metagrawacas pertenecientes al Grupo Dagua.

Al grupo anterior lo acompañan lavas toleíticas con niveles de «pillows» pertenecientes al Grupo Diabásico.

Este Grupo Cretácico aflora hacia la parte occidental del área de estudio en el flanco occidental de la Cordillera Occidental.

- Grupo Paleozoico constituido por esquistos y neises pertenecientes al Grupo Cajamarca, los cuales afloran hacia el oriente de la Depresión Interandina y cuyo contacto con el Grupo Cretácico no está claramente definido. Este contacto definiría el paso de una corteza continental hacia el oriente.

Secuencia volcánica Pliocena

Hacia el bloque occidental de la Depresión Interandina debajo del dominio de los volcanes Chiles, Cerro Negro y Cumbal, aparece una espesa secuencia de lavas que supera los 1.000 metros de espesor, a la cual se le ha asignado una edad pliocena. También está presente hacia el bloque oriental pero en forma de planchas más delgadas.

Esta secuencia efusiva tabular ha sido erosionada y aplanada a partir de lo que en su época debió ser una cadena volcánica compleja, constituida por numerosos edificios individuales emplazados muy probablemente en la intersección de fallas longitudinales y transversales donde es muy común encontrar horizontales brechoides producto de los esfuerzos tectónicos ejercidos en las rocas preexistente como también depósitos aglomeráticos. Hacia el occidente la secuencia lávica tabular eventualmente se pone en contacto fallado con la serie de tipo flysch, mediante fallas de orientación aproximada NNE ó NE. (ver Figura 3).

Las lavas pliocenas muestran predominantemente una composición andesítica con contenido importante de piroxeno y en menor cantidad aparecen también andesitas olivínicas y anfibólicas.

La edad de estas rocas se ha establecido mediante dataciones radiométricas efectuadas en muestras de la secuencia lávica, durante el reconocimiento efectuado en el Ecuador por OLADE-INECEL en 1980. Para una localidad ubicada al SW del volcán Chiles, en el área del proyecto, fue de 4.78 ± 0.5 M.A. (Navarro, *et al.*, 1982).

No ha sido identificados con exactitud los equivalentes piroclásticos de la actividad eruptiva pliocena, por lo cual se presume que la actividad glacial los pudo convertir en depósitos morrénicos y lahares ubicados en partes alejadas de los centros de erupción.

Actividad Volcánica Cuaternaria

la actividad volcánica cuaternaria ha dado lugar al desarrollo de edificios que muestran diferentes grados de evolución, incluyendo estratovolcanes de evolución simple donde predominan las andesitas piroxénicas y/o olivínicas, como aparatos de evolución compleja cuyos componentes alcanzan a incluir niveles de composición riolítica.

La falta de dataciones radiométricas hace difícil asignar con precisión una edad definida para las diferentes unidades efusivas observadas.

Como punto de partida asumimos que el límite inferior de los sistemas volcánicos cuaternarios lo constituyen una superficie erosiva discordante en los depósitos lávicos pliocenos la cual adicionalmente pudo sufrir un leve basculamiento hacia el E como consecuencia de los fenómenos distensivos que generaron el Graben Interandino cuaternario y propició la actividad eruptiva en esta misma época geológica.

Se consideran edificios de edad Pleistoceno Inferior los que han perdido completamente su forma cónica original, donde su centro de emisión puede ser inferido por la presencia de formas circulares ensanchadas por actividad glacial y rodeados por productos efusivos con disposición periclinal.

Los aparatos volcánicos del Pleistoceno Medio se encuentran geomorfológicamente mejor conservados que los del piso precedente, mostrando valles glaciales con disposición radial que nos señalan con claridad su centro de emisión.

Los edificios volcánicos del Pleistoceno Superior-Holoceno tienen su morfología original bien preservada y los productos eruptivos se adaptan al relieve actual.

Sistema volcánico Chiles-Cerro Negro

Localizado en el bloque occidental de la Depresión Interandina (Cordillera Occidental) y está constituido por los volcanes Chiles y Cerro Negro con 4.768 y 4.470 mts/n.m. respectivamente, ambos tienen una forma cónica y la línea fronteriza Colombo-Ecuatoriana pasa por sus cumbres.

SUCESION ESTRATIGRAFICA

	Depositos aluviales y lagunares
	Depositos morrénicos (cualquier período)
	Panecillo de Tuffo (daciondésitas)
	Lavas de composición "básica" (andesitas, piroxénicas) acompañadas de lavas de composición "intermedia" (andesitas anfitebálicas)
	Lavas de composición "ácida" dacitas y daciondésitas a las cuales se asocian flujos piroclásticos de campo tipo dacítico
	Lavas iniciales de composición "intermedia" (andesitas anfitebálicas) que se asocian a lavas finales de composición básica (andesitas piroxénicas)
	DISCORDANCIA EROSIVA LIBERA
	Domo de Colimbo
	Andesitas piroxénicas (lavas predominantes)
	Andesitas piroxénicas (lavas predominantes)
	Andesitas piroxénicas y olivínicas (lavas predo- minantes)
	Andesitas piroxénicas y olivínicas (lavas predo- minantes)
	DISCORDANCIA EROSIVA SUAVE
	Predominio de lavas andesíticas con aglomerados asociados
	Flujos laharricos del Volcan Cumbal
	Predominio de lavas andesíticas con aglomerados asociados
	Predominio de lavas andesíticas con aglomerados asociados
	DISCORDANCIA ANGULAR FUERTE
	Filitas grawacas, etc

SEDIMENTOS CUATERNARIOS

DOMO EDAD INCIERTA

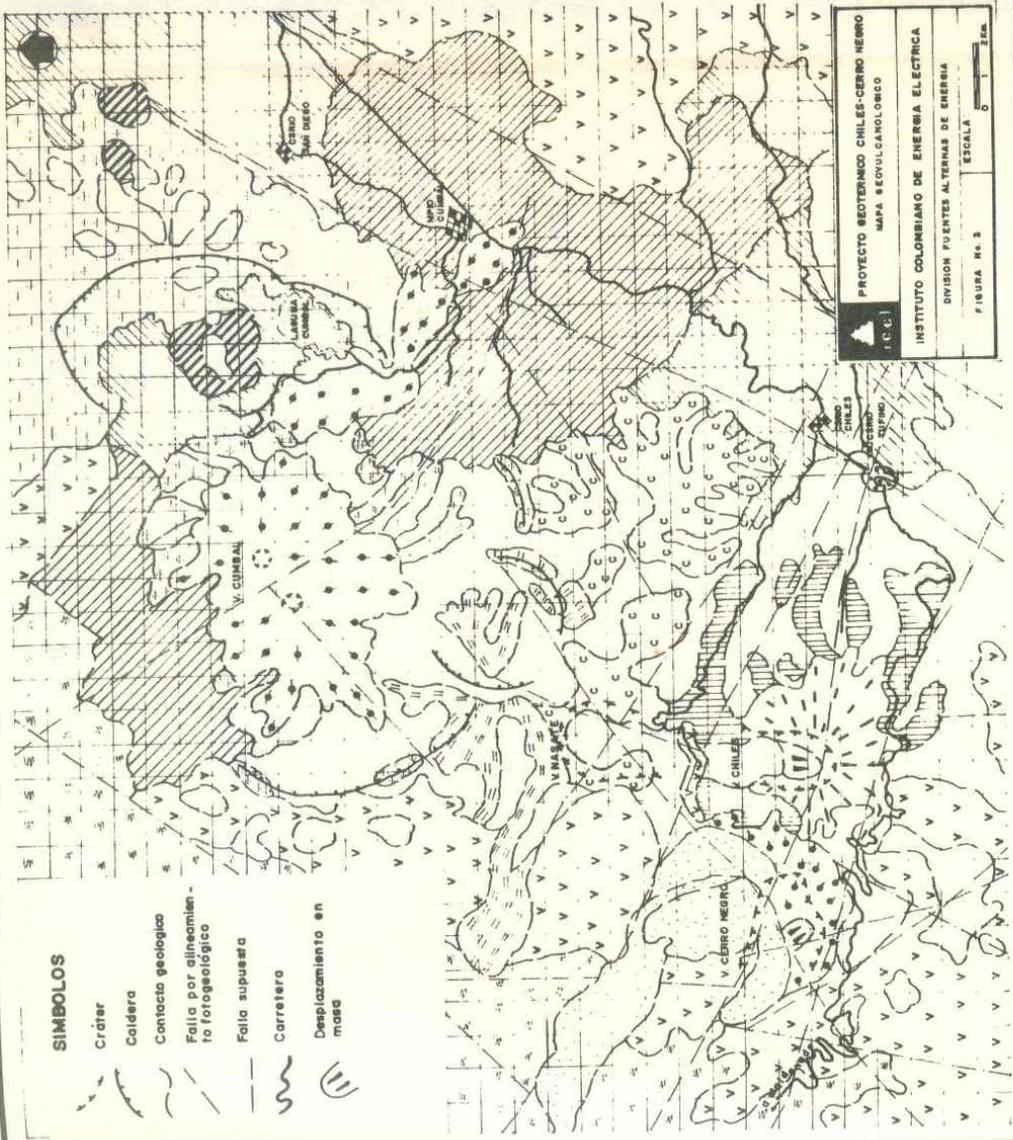
REACTIVACION DEL
PLEISTOCENO SUP.

ESTRATOVOLCANES
PLEISTOCENO MEDIO

ESTRATOVOLCANES
PLEISTOCENO INF.

VULCANITAS PLIOCENAS

BASAMENTO MESOZOICO



SIMBOLOS

- Cráter
- Caldera
- Contacto geológico
- Falla por alineamiento fotogeológico
- Falla supuesta
- Carretera
- Desplazamiento en masa

PROYECTO GEOTERMICO CHILES-CERRO NEGRO
 MAPA GEOLOGICO
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 DIVISION FUERTES ALTERNAS DE ENERGIA
 FIGURA No. 3
 ESCALA 1:50,000

Una fractura de orientación WNW-ESE pone en comunicación a los aparatos volcánicos lo que nos sugiere su comunicación con una cámara magmática única que alimentaría a ambos volcanes lo cual se refuerza por la similitud de los productos emitidos por ellos.

Sus aberturas eruptivas están constituidas por cráteres somitales con profundas depresiones en los cuales es notoria la intensa alteración hidrotermal en los bordes, producto de la actividad fumarólica.

Por otra parte, la actividad glacial ha desempeñado un importante papel en el transporte de los productos piroclásticos los cuales son escasos en cercanías de los edificios volcánicos, pero se presume su existencia por la abundante presencia de depósitos morrénicos y lahares dispuestos en su periferia.

Chiles I Cerro Negro I

Se pueden observar hacia los bordes de los edificios volcánicos, tanto en la carretera ecuatoriana que pasa por la parte sur de los mismos edificios como en la carretera colombiana que cruza por el pie del flanco norte del volcán Chiles. Estas planchas lávicas se encuentran disectadas por la actividad glacial en donde es común que los valles glaciales coincidan con zonas de fractura por donde ascienden las manifestaciones termales o se relacionan con zonas de alteración hidrotermal y fenómenos de explosión freáticos, particularmente cuando las fracturas se cruzan y afectan esta unidad litológica.

Los productos efusivos pertenecientes a estos niveles vulcanológicos corresponden a lavas que tienen poca variación composición e incluyen solamente andesitas piroxénicas.

Para el caso del Cerro Negro I, los productos lávicos son mucho menores que los del Chiles I.

Estos depósitos lávicos descansan directamente sobre la secuencia lávica pliocena a través de una discordancia erosiva muy fuerte.

Chiles II

El edificio volcánico de Chiles II está constituido exclusivamente por lavas procedentes de un centro de emisión situado en el circo somital. Los productos emitidos muestran la siguiente secuencia:

- Lavas iniciales de composición dacítica con estructura fluidal bien definida, extendidas hacia el E y NE.

- Lavas subsiguientes de composición dacíandesítica con anfíbol y con presencia también de estructuras fluidales indicándonos su gran viscosidad.
- Manifestaciones del carácter básico de las vulcanitas mediante el derrame de lavas piroxénicas por los flancos SW, S y SE las cuales alcanzaron mayor distancia por su mayor fluidez, cubriendo los productos anteriores.
- La efusión concluyó con la emisión de lavas finales de composición andesítica volumétricamente poco importantes.

La secuencia lávica descrita más arriba nos sugiere una diferenciación magmática continua donde los productos emitidos inicialmente se muestran menos densos que los dispuestos tardíamente, sugiriéndonos fenómenos de estratificación en una cámara magmática somera. Los productos piroclásticos de este período no se conocen a pesar de la fuerte viscosidad y el contenido de volátiles muy alto en las lavas iniciales sin embargo esto se explica por las condiciones subglaciales de la deposición lo cual dio lugar a la formación de lahares y morrenas a partir de los depósitos piroclásticos iniciales.

Cerro Negro II

Los depósitos lávicos de este período se encuentran orientados hacia el norte y noreste descansando directamente sobre la secuencia lávica pliocena, alcanzando los materiales muy fluidos, el basamento Mesozoico.

Los productos piroclásticos no están presentes en cercanías del edificio volcánico de Cerro Negro II por razones de la actividad glacial pero depósitos de «ash flow» son observables hacia el flanco occidental de la cordillera en la carretera ecuatoriana que va a Maldonado. El depósito es de naturaleza dacítica y aparentemente corresponde a los primeros productos emitidos. Lavas de composición dacítica o dacíandesítica con anfíbol se encuentran localizados encima del depósito de «ash flow» sugiriendo un margen de variación composicional ligeramente menor que el del Chiles II.

Relación entre ambos episodios

Como la composición de los productos de ambos episodios volcánicos revelan un grado semejante de diferenciación, es muy probable que la cámara magmática de alimentación de ambos volcanes sea única. En el episodio Cerro Negro II la erupción se interrumpió con el desalojo de los materiales más diferenciados. Para el caso de Chiles II la evacuación incluyó los niveles más profundos en la cámara magmática.

En este sentido el Cerro Negro II, tuvo como productos iniciales y finales dacitas y daciandesitas respectivamente, mientras que el Chiles II incluyó en sus productos finales andesitas piroxénicas y olivínicas.

Como se observa en el mapa geovolcanológico adjunto (Figur 3), los volcanes Chiles y Cerro Negro están localizados en una falla transversal de orientación ESE, lo mismo que el Panecillo de Tufiño que es de composición andesítica ácida. La intersección de estas fallas transversales con fallas longitudinales ha permitido la manifestación en superficie de estos centros de emisión.

Sistema volcánico Cumbal

Es el que ofrece mayor persistencia en su actividad eruptiva a través del tiempo, estimándose su iniciación a partir del Pleistoceno Inferior hasta épocas subactuales.

En este sentido se han establecido tres eventos eruptivos que hemos denominado Cumbal I, II y III.

Aunque no existen medidas radiométricas para rocas dentro del dominio del Cumbal, sus edades se han estimado a partir del estado de conservación geomorfológica observable en los diferentes edificios volcánicos.

Cumbal I

Es el evento eruptivo más antiguo perteneciente al Sistema Cumbal el cual aparentemente debió iniciarse en el Pleistoceno Inferior con la emisión de grandes cantidades de productos lávicos y piroclásticos a juzgar por las dimensiones del colapso caldérico producido con posterioridad a este evento eruptivo, el cual tiene una sección ligeramente elíptica elongada hacia el NE con 17 kms de diámetro mayor por 12 kms de diámetro menor (ver Figura 3). Los productos lávicos emitidos por este evento, presentes dentro del dominio areal del colapso caldérico aparecen predominantemente como afloramientos angostos y bastantes alargados, con aristas muy destacadas y dispuestas de manera subradial alrededor del edificio actual del Cumbal III.

Productos piroclásticos no son observables como tales en el dominio del volcán Cumbal, la mayoría de los cuales fueron convertidos en morrenas y lahares.

Las muestras analizadas de productos efusivos de esta unidad indican la predominancia de andesitas piroxénicas.

Cumbal II

Este evento eruptivo ocurrió probablemente en el Pleistoceno Medio, como consecuencia del cual se desarrolló un estratovolcán relativamente pequeño hacia la intersección del borde caldérico del Cumbal I, con la falla que une los volcanes Cerro Negro y Nasate. Esta falla tiene una orientación NE-SW.

El estratovolcán desarrollado en este período sufrió también colapso caldérico siendo actualmente visible una depresión circular de 4 km de diámetro.

Los productos lávicos se muestran poco evolucionados con la presencia de andesitas piroxénicas.

Cumbal III

En el Pleistoceno Superior se reactivó el fenómeno eruptivo dando lugar al edificio volcánico actual del Cumbal el cual constituye un estratovolcán de forma cónica alcanzando los 4.764 mts de altura y con sección ligeramente elíptica orientada en dirección NE-SW. Posee al menos una dos bocas eruptivas orientadas probablemente a lo largo de una fractura también NE-SW.

Inicialmente hubo emisión de lavas bastante fluídas que incluyeron principalmente andesitas piroxénicas las cuales alcanzaron grandes distancias a partir de su centro de erupción. Estas lavas cubren parcialmente y de manera discordante los productos eruptivos del Cumbal I.

Luego de las andesitas piroxénicas fueron emitidas lavas más viscosas de composición andesítica con anfíol las cuales alcanzaron distancias menores a partir de su centro de emisión.

La variación composicional de los productos emitidos desde andesitas con piroxeno a andesitas con anfíol se interpreta como un ascenso inicial del magma desde las partes más profundas de la corteza lo cual dio lugar a la emisión de andesitas piroxénicas con mayor fluidez. Posteriormente el material fundido se ubicó en una cámara magmática somera donde inició su proceso de diferenciación emitiendo lavas menos fluídas de composición andesítica con anfíol.

Volcán Nasate

De su edificio volcánico (Pleistoceno Inferior) solamente quedan los restos efusivos fuertemente erodados por la actividad glacial y dispuestos periclinamente alrededor de un cráter de hundimiento indetectable por la persistente alteración hidrotermal que lo bordea y contribuye a identificar su abertura central orientada hacia el sur. Sus productos incluyen andesitas piroxénicas y olivínicas sugiriendo su naturaleza poco evolucionada.

Es notorio que la actividad glacial ha convertido los productos efusivos en una plancha lávica en donde se destaca la alta relación de la anchura sobre la altura.

Tectónica

La zona de estudio se localiza dentro del dominio andino donde las tres cordilleras colombianas no aparecen todavía bien definidas.

La característica tectónica más destacada es la presencia de la Depresión Interandina (Figura 2), que la constituye un graben relativamente estrecho con una orientación aproximada NNE y que es la prolongación hacia el sur de la Depresión Cauca-Patía.

La Depresión Interandina separa las cordilleras Occidental y Central las cuales empiezan claramente a definirse al norte a partir de la denominada «Transcurrenente Patía-Putumayo» que es una gran zona de fractura de orientación NW-SE.

El fallamiento es uno de los aspectos tectónicos más importantes en el área aunque positivamente en el estudio geotérmico.

Sistemas de fallas

El área de estudio puede considerarse que está enmarcada dentro de dos sistemas de fallamiento importantes y casi perpendiculares entre sí.

El primer sistema tiene una orientación NNE-SSW en el cual se incluye entre otras la falla que une los volcanes Chiles-Cumbal y la que constituye el límite occidental del graben y pasa cerca de la población de Tufiño. Una variante de este sistema lo representa la falla que une los volcanes Cerro Negro y Cumbal con una orientación NE-SW (ver Figura 3).

El segundo sistema de orientación WNW-ESE está identificado por las fallas que unen los volcanes Chiles-Cerro Negro y las que pasan respectivamente por el flanco norte y sur del edificio volcánico del Chiles. Una variante de orientación NW-SE está representada por la falla que separa dos bocas eruptivas en el edificio volcánico del Cumbal III.

Es importante destacar que las bocas emisivas se asocian a fallas longitudinales cortadas por fallas transversales las cuales eventualmente producen desplazamientos laterales en las primeras.

Este esquema tectónico de fallas longitudinales cortadas por transversales da lugar a un sistema de fallamiento en bloque el cual muestra muchos atractivos para la prospección geotérmica de áreas volcánicas.

ASPECTOS GEOTERMICOS

Sistema Chiles-Cerro Negro

Fuente de Calor:

El carácter evolucionado del episodio II de ambos volcanes nos indica su conexión con una cámara magmática somera y probablemente única.

Este evento eruptivo no culminó con un colapso caldérico sugiriendo que el líquido desalojado durante la erupción fue desplazado por magma procedente de los niveles profundos de la corteza.

La presencia de una cámara magmática somera probablemente de amplias dimensiones nos sugiere a su vez, la existencia de una fuente de calor muy significativa.

Reservorio

La secuencia lávica pliocena sobre la cual se apoyan los productos eruptivos del Chiles y Cerro Negro tiene un espesor superior a los 1.000 metros y con características de fragilidad y permeabilidad secundaria muy acentuadas para que se comporte como un reservorio geotérmico económicamente atractivo.

En este sentido, la situación tectónica observable en el área de estudio favorece el desarrollo de una permeabilidad secundaria por fracturamiento en donde se destaca el fallamiento en bloques producido por la intersección de las fallas longitudinales de orientación aproximada NNE-SSW con las transversales WNW-ESE lo cual acentúa la fisuración en las zonas de cruce y facilita la recarga del sistema hidrogeológico.

Capa Sello:

La alteración hidrotermal en superficie es frecuente en las rocas eruptivas presentes en cercanías de los edificios volcánicos Chiles y Cerro Negro particularmente en las zonas de cruce de fallas afectando a todos los niveles estratigráficos pero particularmente a la secuencia lávica pliocena y desarrollando un típico fenómeno de selfsealing (autosellamiento) el cual confinaría el sistema geotérmico.

Area de Recarga:

El agua se infiltra por las cumbres de la cordillera formándose dos direcciones de flujo dirigidas hacia los flancos de la misma (hacia el este y hacia el oeste). La mayor parte de las aguas tendrían que circular por el interior de la serie lávica que forma el substrato inmediato de los volcanes, contribuyendo a la recarga del acuífero térmico (reservorio) dentro de la secuencia de volcanitas pliocenas.

Sistema Cumbal

Fuente de calor:

Las variaciones composicionales de los productos emitidos por el Cumbal III (Pleistoceno Superior) sugieren una evolución magmática en el tiempo como para suponer actualmente la presencia de una cámara magmática somera lo suficientemente voluminosa la cual se comportaría como una fuente de calor capaz de producir una gran anomalía térmica.

Reservorio:

La secuencia lávica pliocena con sus características de continuidad lateral, fragilidad y permeabilidad constituye una unidad litológica ideal como reservorio geotérmico.

Particularmente en el área del Cumbal el elemento permeabilidad debe ser muy destacado debido al gran fracturamiento que pudieron inducir en las rocas pliocenas los colapsos caldéricos del Pleistoceno Inferior y Medio respectivamente. El colapso caldérico del Pleistoceno Inferior indudablemente afectó grandes volúmenes de roca a juzgar por su cubrimiento areal (150 km²) y su desplazamiento vertical.

Capa Sello:

El gran volumen de material emitido durante el evento eruptivo del Cumbal I y dispuesto encima de la secuencia lávica pliocena constituye tanto por su continuidad lateral como por su considerable espesor y comparativamente baja permeabilidad una cobertura impermeable bastante efectiva. Similar comportamiento experimentan los productos eruptivos del Cumbal II localizados hacia el borde sur del colapso caldérico del Cumbal I pero con menor cubrimiento areal.

Complementariamente, los depósitos laháricos, periféricos al edificio volcánico actual, constituyen una secuencia impermeable de gran espesor que contribuye al confinamiento del sistema geotérmico.

Area de Recarga:

Las consideraciones hidrogeológicas de recarga consideradas para el Sistema Chiles-Cerro Negro siguen siendo válidas para el Sistema Cumbal.

Parte de la recarga se efectuaría por las áreas más elevadas de la cordillera, es decir por las cumbres del sistema volcánico. La fracturación de estos sitios es bastante acentuada lo que acompañado de las precipitaciones de agua meteórica contribuye a crear un ambiente propicio para la infiltración de la misma agua en el subsuelo.

La Laguna Cumbal podría contribuir a la recarga, en este sentido su substrato de material de depósito glacial se comportaría como un acuitardo regulando la infiltración del agua por el borde caldérico hasta alcanzar las partes más profundas de las secuencias lávicas.

ABSTRACT

In the area of Chiles-Cerro Negro geothermal project outcrop Paleozoic metamorphic, Cretaceous metasedimentary and Pliocene and Pleistocene volcanic rocks.

The Pliocene volcanic rocks have secondary permeability and constitute the reservoir at the Chiles-Cerro Negro and at the Cumbal systems. The upper levels of metasedimentary rocks determine the lower limit of the reservoir.

Compositional variations in the Pleistocene volcanics from dacites to olivine andesites suggest the presence of a shallow magma chamber which behaves as a heat source.

At the Chiles-Cerro Negro system the impervious cap is of self sealing type. At the Cumbal system, caldera collapses have occurred starting up in the Early Pleistocene and the more recent eruptive products contributed to define its impervious cap.

BIBLIOGRAFIA

- BECERRA, E.; LOZANO, E.A.; CRUZ, L.E.; VICTORIA, L.H., 1983. Proyecto Geotérmico Chiles-Cerro Negro. Fase I Etapa de Prefactibilidad. Informe Preliminar. ICEL.
- LOZANO, E.A., 1981. Surface alteration at the Waiotapu Geothermal Field, New Zealand. Project for Diploma in Energy Technology (Geothermal) Report. Project Report No. GEOTHERM 81.10 New Zealand.
- NAVARRO, J.M.; ALMEIDA, E.; AYALA, J., 1982. Geovolcanología del Norte del Ecuador y en particular del Area de Tufiño. OLADE-INCEL.
- OLADE, ICEL, 1982. Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Colombia. Informe Volcanológico.
- YAMASAKI, T., 1981. Geothermics of some Geothermal Field Associated with the Quaternary volcanic zone. Research Institute of Industrial Science. Kyushu University. Japón.