

SERIE
CONTRIBUCIONES
TECNICAS

Geotermia

1



DEPARTAMENTO
DE GEOTERMIA



INSTITUTO DE
GEOLOGIA Y
RECURSOS
MINERALES

SEGEMAR
SERVICIO GEOLOGICO
MINERO ARGENTINO

Evaluación Geotérmica del Área del Cerro Domuyo (Neuquén)

*Síntesis de los resultados:
estratigráficos; volcanológicos;
estructurales; geoquímicos;
y modelo geotérmico.*

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD



Evaluación Geotérmica
Area del Cerro Domuyo
Provincia del Neuquén
República Argentina
Estudio de Prefactibilidad

Síntesis de los resultados Estratigráficos, Vulcanológicos, Estructurales
y Geoquímicos

Modelo Geotérmico

Recomendaciones y objetivos de las Fases siguientes

Grupo de Trabajo Vulcanología, noviembre 1983.

I N D I C E

1. <u>INTRODUCCION</u>	Pág. 1
1.1. Características y ubicación	" 1
1.2. Objetivos del Estudio	" 1
1.3. Relajación	" 4
2. <u>ESTUDIO ESTRATIGRAFICO</u>	" 5
2.1. Objetivos	" 5
2.2. Síntesis estratigráficas	" 5
2.3. Esquema geológico del área del Cerro Domo	" 9
2.4. Conclusiones	" 11
3. <u>ESTUDIO VULCANOLOGICO</u>	" 13
3.1. Objetivos	" 13
3.2. Síntesis Vulcanológica	" 13
3.3. Conclusiones	" 18
4. <u>ESTUDIO ESTRUCTURAL</u>	" 20
4.1. Objetivos	" 20
4.2. Síntesis estructural	" 20
4.2.1. Observaciones de campo	" 20
4.2.2. Análisis de la Estructura	" 25
4.3. Conclusiones	" 28
5. <u>ESTUDIO GEOQUIMICO</u>	" 31
5.1. Objetivos	" 31
5.2. Síntesis Geoquímica	" 31
5.3. Conclusiones	" 37
6. <u>MODELO GEOTERMICO PRELIMINAR</u>	" 39
a) Fuente de calor	" 39
b) Reservorio Geotérmico	" 40
c) Cubierta	" 41
d) Circulación de fluidos termales	" 41
7. <u>RECOMENDACIONES Y OBJETIVOS DE LA FASE SIGUIENTE</u>	" 43

Mapa Geológico Esc. 1:100.000
Mapa Vulcanológico Esc. 1:166.000
Mapa Vulcano-Tectónico Esc. 1:200.000

Plano n°1
Plano n°2
Plano n°3

1. INTRODUCCION

1.1. Características y ubicación

El presente informe reúne las conclusiones de los trabajos estratigráficos, vulcanológicos, estructurales, geoquímicos y el modelo geotérmico preliminar propuesto, que junto con las recomendaciones y objetivos de la fase siguiente constituyen la síntesis del estudio de prefactibilidad geotérmica del área del Cerro Domuyo.

El área investigada está ubicada en el noroeste del Neuquén. Estudios de carácter geológico regional permitieron delimitar el sector de la anomalía térmica y valorar en forma integral el episodio eruptivo.

Estos abarcaron una superficie calculada en alrededor de 4.700 Km², comprendida entre los paralelos de 36°30' y 37°00' de latitud sur, el meridiano de 70°00' y el límite internacional con Chile. En su interior ha sido estudiado en detalle el área del Cerro Domuyo que se encuentra a 35 Km de la localidad de Varvarco y a 154 Km de Chos Malal (Fig.1).

La superficie de los trabajos en detalle cubrieron áreas de aproximadamente 600 Km², comprendiendo al Cerro Domo y sus inmediaciones como punto central y objeto principal de estos estudios.

1.2. Objetivos del Estudio

La primera fase del estudio de prefactibilidad tuvo como objetivo el de esclarecer las características particulares del área, poder delinear un modelo geotérmico preliminar y establecer las pautas que tienen que ser alcanzadas en la fase siguiente (segunda fase de exploración; geofísica y perforación). Este objetivo se concretó en función de los estudios estratigráficos, vulcanológicos, estructurales y geoquímicos.

UBICACION

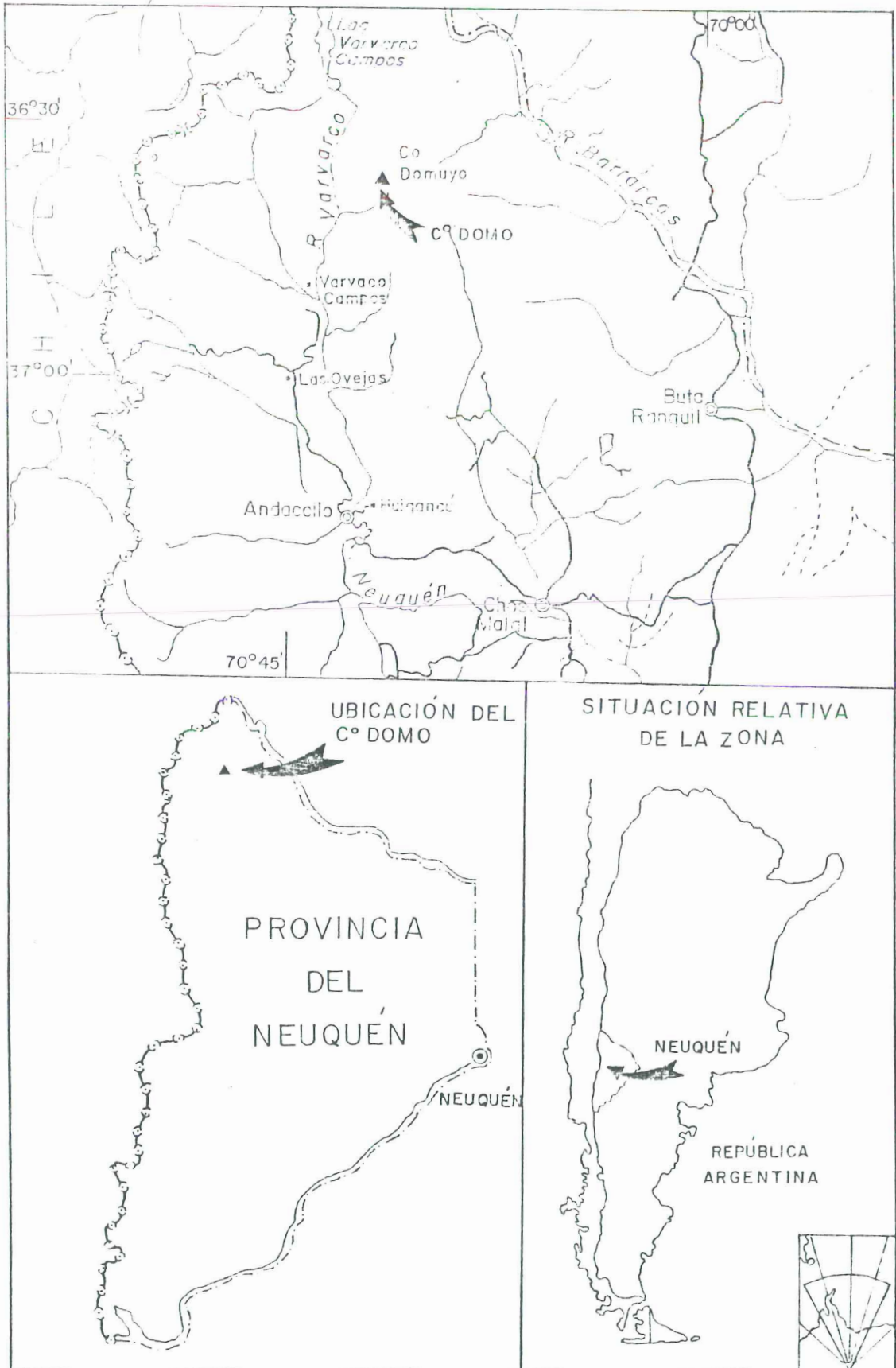


Figura 1

De los estudios geológicos regionales se delimitó el área del Cerro Domo, centro efusivo moderno, que por sus características confiere excelentes posibilidades para la extracción de un fluido de alta entalpía, que podría ser utilizado para el aprovechamiento energético.

Las características más salientes del área del Cerro Domo determinadas en los trabajos previos, fueron las siguientes:

- a) Una actividad volcánica reciente, representada por el Cerro Covunco, los Cerros de La Pampa y el Cerro Domo.
- b) Una posible vinculación de la actividad volcánica con la fuente de calor.
- c) La aparente presencia de productos finales diferenciados.
- d) Indicios de una actividad explosiva freatomagmática, que indica el ascenso a niveles muy superficiales de la cámara magmática.
- e) La posibilidad de existencia en la zona de acuífero (reservorio), manifestado por un basamento muy fracturado.
- f) Fuentes termales con alta temperatura de superficie (El Humazo, Los Tachos, La Olleta), géiseres y fumarolas (La Bramadora).
- g) La proximidad de una zona de recarga (glaciares y nieves perennes en el Cerro Domuyo).

El conjunto de estas evidencias señalaron un interés geotérmico primario para el área y permitieron orientar los estudios geo-vulcanológicos, estructurales y geoquímicos de la primera fase del estudio de prefactibilidades para cumplir con el principal objetivo de establecer un modelo geotérmico preliminar.

1.3. Realización

La evaluación geotérmica del área del Cerro Domuyo fue encauzada en el marco del Convenio de Cooperación Cultural, Científica y Técnica entre el Gobierno de la República Argentina y el Gobierno de la República de Francia, en el que se desarrolla el proyecto sobre "exploración y evaluación de regiones de vulcanismo reciente como fuentes generadoras de energía."

La visita del experto francés, profesor Dr. Roger Brousse durante la tercera semana del mes de febrero de 1981, al área del Domuyo, permitió programar las diferentes fases del cronograma de trabajo.

Las tareas de campo fueron ejecutadas en el período marzo-abril de 1981.

Los trabajos de laboratorio se llevaron a cabo entre los meses de noviembre de 1981 a junio de 1982, en el Laboratoire de Petrographie et Volcanologie de la Université de París Sud - Orsay.

El tratamiento de los análisis químicos de aguas estuvo a cargo del Dr. Santiago Tibaldi, responsable del Laboratorio Químico de la Subsecretaría de Minería.

En la realización gráfica del informe (mapas, dibujos, gráficos) colaboró el personal del Departamento Cartográfico del Servicio Geológico Nacional.

La interpretación, tratamiento y elaboración de los datos, redacción del informe y dactilografiado estuvo a cargo del Grupo de Trabajo Vulcanología del Servicio Geológico Nacional, dependiente de la Subsecretaría de Minería.

2. Estudio Estratigráfico

2.1. Objetivos del Estudio Estratigráfico

Los objetivos del estudio estratigráfico tendieron a esclarecer dos aspectos fundamentales, que son:

- a) Proporcionar un preciso cuadro estratigráfico, evidenciando formaciones con características aptas para reservorio y de cubierta impermeable.
- b) Ubicar en forma definitiva la edad del Cerro Domo.

2.2. Síntesis estratigráfica

A) Pre-Cenozoico

Está representado por diferentes unidades cuya edad varía desde el Pérmico superior hasta el Cretácico inferior. La unidad más antigua es el Grupo Choiyoi (Grober, 1974, nom. subst. Stipanovic, Rodrigo, Baulies y Martínez, 1968). Está representada por una espesa secuencia de 2000 m de potencia de vulcanitas lávicas e ignimbritas de composición generalmente ácidas. Sobre éste se apoya el Liásico integrado fundamentalmente por delgados bancos de piroclastitas silicificadas. En un nivel superior se encuentran los depósitos de la Cuenca Neuquina, integrados por: Formación La Manga (Groeber, 1951) constituida fundamentalmente por sedimentitas: areniscas grises, pelitas negras y margas oscuras; Formación Auquilco (Yeso Principal, Schiller, 1912; Weaver, 1931) constituida por yeso blanco grisáceo y areniscas con clastos de yeso; Formación Tordillo (Groeber, 1929): compuesta fundamentalmente por areniscas rojas bien estratificadas y bancos limolíticos de menor proporción y el Grupo Mendoza: integrado en su mayor parte por bancos de calizas

negras y pelitas calcáreas.

A este conjunto de unidades se los denominará "basamento", en el presente estudio y no se lo diferencia en los distintos mapas que es tá representado.

B) Cenozoico

I) Plutonitas Varvarco (Pesce, 1981).

Con este nombre se reconoció a un episodio plutónico de com posición calcoalcalina de considerable magnitud, constituido por diferentes fases magmáticas, que representan a rocas graníticas de complejos anulares subvolcánicos (Granito Palao, Llambías, C.A. et.al 1978, Cuerpos Huaraco y Butalón, Pesca, 1981) Se considera que el intrusivo del Cerro Domuyo probablemente pertenece a este episodio. Actualmente se interpreta a este plutonismo como de edad miocena inferior.

II) Piroclastitas ácidas

Se denomina de esta forma a una extensa y potente secuencia de piroclastitas, que se apoya sobre las Plutonitas Varvarco. Con anterioridad se incluyeron en la parte inferior de la Formación Cajón Negro (Pesce, 1981).

La actual separación obedece a que, probablemente, estén vin culadas con el plutonismo Varvarco.

Estas piroclastitas ácidas corresponden a unos extensos depósitos que se encuentran esparcidos en la región, constituidos por diferentes niveles de pumice-flow (Ross y Smith, 1961) , separados en algunos

casos por intercalaciones de piroclastitas redepositadas. Cada una de estas unidades está integrada por depósitos sin estratificación, con espesores que varían entre 10 a 15 metros. Hay un número variado de litoclastos y de gran cantidad de fragmentos pumíceros, estos últimos orientados en la dirección del flujo. El espesor de esta unidad, en la zona del Cerro Domo, se estima aproximadamente a 500 metros, valor que tendría que precisarse mediante estudios geofísicos y perforaciones preliminares.

III) Formación Cajón Negro: (Pesce, 1981)

La presente unidad estaría integrada solamente por el episodio, probablemente inicial, explosivo, que dio origen a los aglomerados volcánicos, que se apoyan sobre la pumice flow. Esta unidad que cubre una gran superficie está integrada por fenoclastos de variada litología, muy duros y con una estratificación goseña. Dos rocas extraídas de los afloramientos ubicados en la margen izquierda del A°Atreuco y analizadas en el INGEIS dieron edades de 10^{+1} y 14^{+2} m.a por lo que, el comienzo de este vulcanismo se sitúa en el Mioceno-Medio.

IV) Formación Quebrada Honda: (Pesce, 1981)

Está integrada por las diferentes coladas de andesitas básicas que se derramaron sobre los aglomerados volcánicos de la Formación Cajón Negro y que corresponden a la continuación de ese vulcanismo.

V) Formación Sierra de Flores

Se designa con este nombre formacional a lo que con anterioridad Pesce(1981) denominó "Centro efusivo Sierra de Flores". Esta unidad re

presenta a los distintos derrames lávicos que provienen del centro efusivo homónimo. Las coladas que son de 1,5 a 2 metros de potencia, presentan una marcada fluidalidad y cubren progresivamente a los bancos lávicos de la Formación Quebrada Honda. Están constituidas por andesitas básicas en su parte inferior y en sus términos superiores predominan las andesitas.

VI) Formación Atreuco (Llambías et.al, 1979)

Con este nombre se caracterizó a los bancos lávicos que se encuentran a lo largo del Arroyo Atreuco y a ambos lados del río Varvarco. Estos derrames no provendrían de "estratovolcanes situados al oeste del río Varvarco" como señala Llambías et.al., (Op.cit.) ni del centro efusivo Sierra de Flores como indicó Pesce (1981), sino que serían las manifestaciones iniciales del Magmatismo Shoshonítico. Su centro de emisión probablemente sería el "Cerro Domo" situado al este. Las diferentes coladas, cuyas rocas tienen una composición de banakitas y latitas, cubren a las lavas de la Formación Sierra de Flores y a otras unidades precedentes.

VII) Basalto Cerro Colorado (Pesce, 1981)

Esta denominación fue empleada para caracterizar un pequeño centro monogénico y sus derrames lávicos de basalto alumínico. Actualmente se extiende la denominación a un conjunto de manifestaciones existentes en la región, con idénticas características.

Una roca proveniente de la colada del C°Colorado fue analizada isotópicamente, obteniéndose una edad de $1,45 \pm 0,20$ millones de años.

VIII) Magmatismo Dómico:

Se utiliza provisoriamente esta denominación para definir el

último episodio del vulcanismo ácido shoshonítico existente en la región. Se considera que los cuerpos ácidos aflorantes en el flanco suroeste del Cerro Domuyo, son cuerpos dómicos que se emplazaron según los sistemas estructurales este-oeste y noroeste, que se comportaron como zonas de alivio tensional en ese sector y son coladas que están vinculadas con el intrusivo del Cerro Domuyo (facies intrusiva, Llambías et.al., 1979)

El Magmatismo-Dómico, que es la continuación hacia términos más diferenciados de la secuencia shoshonítica, está representado en su base por los depósitos freatomagmáticos. Este depósito está constituido por las rocas previamente consolidadas de composición liparítica, que provienen de la exploración resultante de la vaporización del agua que existía a ese nivel freático, por el aumento de temperatura que provocó el ascenso del magma. Es común encontrar gran cantidad de bloques de litoclastos de variados tamaños, destacándose entre ellos los provenientes del basamento.

Con posterioridad se emplazaron los cuerpos dómicos, a lo largos de los sistemas tensionales. Entre estos cuerpos se encuentran los domos de coladas múltiples "tortilla" (cerro Covunco ubicado al sur de las nacientes del arroyo homónimo) y los domo-coladas, con polaridad simple o doble (cerros de la Pampa y el "Cerro Domo").

2.3. Esquema geológico del área del Cerro Domo

Los estudios estratigráficos a nivel regional han permitido tener una idea clara de los diferentes acontecimientos ocurridos a lo largo del tiempo, en toda la región. De esta forma se pudo establecer un esque-

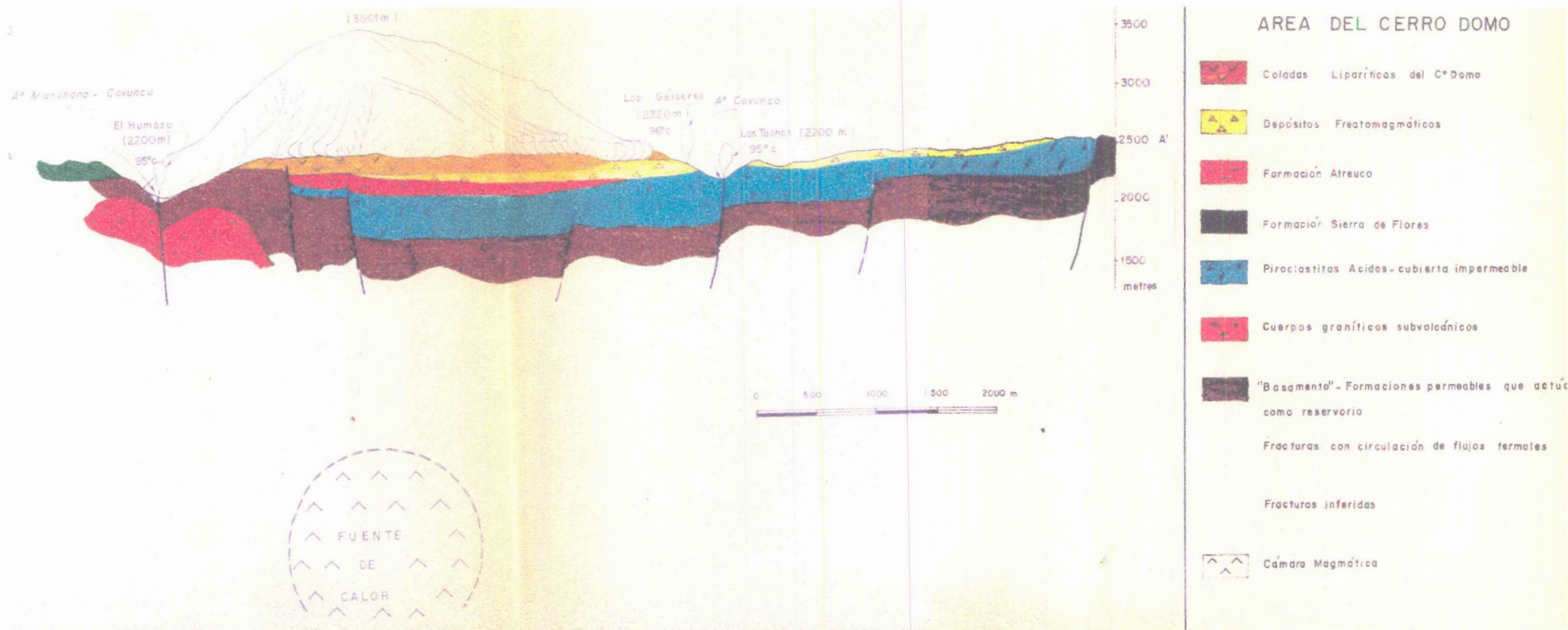


figura 2

ma evolutivo del área que geotérmicamente nos interesa, o sea la zona del Cerro Domo. (Figura 2)

El área del Cerro Domo está caracterizada por un vulcanismo cuartario, que se ha emplazado en un cruce de numerosas fracturas. Zona tectónicamente deprimida y dividida en bloques que ofrece condiciones favorables para el ascenso a niveles muy superficiales del magma.

El "basamento" integrado por las unidades Pre-Cenozoicas se encuentra hundido a poca profundidad y presenta marcadas características de permeabilidad. Estas unidades integradas fundamentalmente por sedimentitas de la cuenca neuquina, compuesta en su mayoría por areniscas, calizas y pelitas, tiene una marcada permeabilidad secundaria, producto de una intensa fracturación a que han sido sometidas. Este basamento que está aflorando al noroeste y este del Cerro Domo, se hunde hacia el oeste, emergiendo sólo pequeños y aislados bloques, como el que se encuentra en el A° Manchana-Covunco, en la zona del Humazo.

Las piroclastitas ácidas representadas por los diferentes niveles de pumice-flow están cubriendo a las unidades del basamento, constituyendo una excelente unidad impermeable, a causa de sus distintos niveles tobaceos, con abundantes cantidades de fragmentos pumiceos. Estas piroclastitas presentan un elevado grado de alteración secundaria, producto de la transformación de sus trizas vitreas a materiales arcillosos. A su vez se les debe agregar las delgadas intercalaciones de piroclastitas redepositadas, cuyos fragmentos tobaceos en los diferentes niveles expuestos presen-

tan una marcada alteración de materiales arcillosos. Otra característica interesante lo constituye la extensa faja hidrotermalizada donde predomina la silicificación que se encuentra a lo largo de la falla "Covunco", en la zona de Los Tachos y Los Géiseres, relacionado con una actividad hidrotermal fósil, que probablemente tenga una considerable extensión horizontal.

La edad de $0.72 \pm 0,1$ m.a. para las rocas del "Cerro Domo", están confirmando la existencia de un vulcanismo cuartario que está estrechamente vinculado a la anomalía térmica de ese área.

Las diferentes vertientes y emanaciones de vapor, con temperaturas de 95° y 96°C en superficie, la presencia de productos volcánicos diferenciados, la existencia de depósitos freatomagmáticos, la manifestación fumarólica actual de La Bramadora y la zona fumarolizada que atraviesa el flanco NE del Cerro Domo, ponen en evidencia la existencia de una fuente de calor en los niveles más superficiales de la corteza.

2.4. Conclusiones

Los resultados de los estudios estratigráficos que estuvieron orientados a resolver los problemas de interés geotérmico del área, se sintetizan a continuación:

- a) En el área del Cerro Domo se encuentra un "basamento" integrado por las unidades Pre-Cenozoica, hundido a poca profundidad, que presenta características aptas para actuar como reservorio.
- b) Sobre las unidades que actúan de reservorio, se encuentra una espesa secuencia, integrada por piroclastitas, con un elevado grado de alteración

a materiales arcillosos que están señalando su condición de rocas tapón.

Por lo tanto serían una importante cubierta impermeable que permiten aislar el sistema geotérmico.

- c) La anomalía térmica en el área del Cerro Domo está relacionada con la presencia de una cámara magnética que ha ascendido y se ha emplazado en niveles bastante superficiales.

3. ESTUDIO VULCANOLOGICO

3.1. OBJETIVOS

Los estudios vulcanológicos aportaron elementos sustanciales para establecer el modelo geotérmico preliminar, mediante el esclarecimiento de los siguientes objetivos:

- a) Dilucidar el problema vulcanológico mediante la diferenciación de asociaciones volcánicas.
- b) Establecer si el Cerro Domo es producto de una diferenciación proveniente de un fraccionamiento y si existen relaciones genéticas con otras rocas, con el objeto de conocer su evaluación.
- c) Aclarar el problema de la fuente de calor, o sea de la causa de la anomalía térmica, que atestiguará la presencia de una cámara magmática a niveles superficiales de la corteza.

3.2. Síntesis vulcanológica

Para el esclarecimiento de los objetivos previamente señalados se realizaron 230 cortes delgados. De su estudio petrográfico se seleccionaron 46 rocas correspondientes a diferentes niveles de cada una de las unidades geológicas establecidas, a las que se les realizaron análisis químico. Sobre la base de sus resultados se analizaron 19 rocas por microsonda electrónica con un total de 229 mediciones puntuales. De la representación y su clasificación en

los diagramas de variación K_2O/SiO_2 ; $alcalis/SiO_2$ y AFM se desprende la existencia de dos asociaciones magmáticas en la región (Plano 2). Una pertenece a la serie calcoalcalina y es la que tiene un amplio desarrollo. Está vinculada al inicio del vulcanismo en la región, sus características magmáticas habrían continuado hasta el Pleistoceno inferior, aunque corresponden en su conjunto a dos períodos de actividad volcánica. La otra asociación volcánica pertenece a la serie shoshonítica y está vinculada al vulcanismo que se desarrolló durante el Plio-holoceno.

La secuencia calcoalcalina (que fue activa en la región durante el Mioceno superior-Pleistoceno inferior) está integrada por: las pumice flow correspondientes a las Piroclastitas Ácidas; los aglomerados volcánicos de la Formación Cajón Negro; las coladas de andesitas básicas de la Formación Quebrada Honda; los derrames de andesitas de la Formación Sierra de Flores y los centros monogénicos de basalto.

El vulcanismo shoshonítico está representado por una secuencia que se ha diferenciado a términos ácidos. Comienza con banakitas y latitas de la Formación Atreuco, continúa con los depósitos freatomagmáticos liparíticos y finaliza con los cuerpos dómicos de composición liparíticos. Con el fin de establecer si el Cerro Domo es producto de una diferenciación proveniente de un fraccionamiento y si estas unidades están genéticamente vinculadas, se ha estudiado la variación de los elementos mayoritarios en función del índice de diferenciación (DI). Dado que el orden de aparición de los minerales en la serie y la variación de los elemen

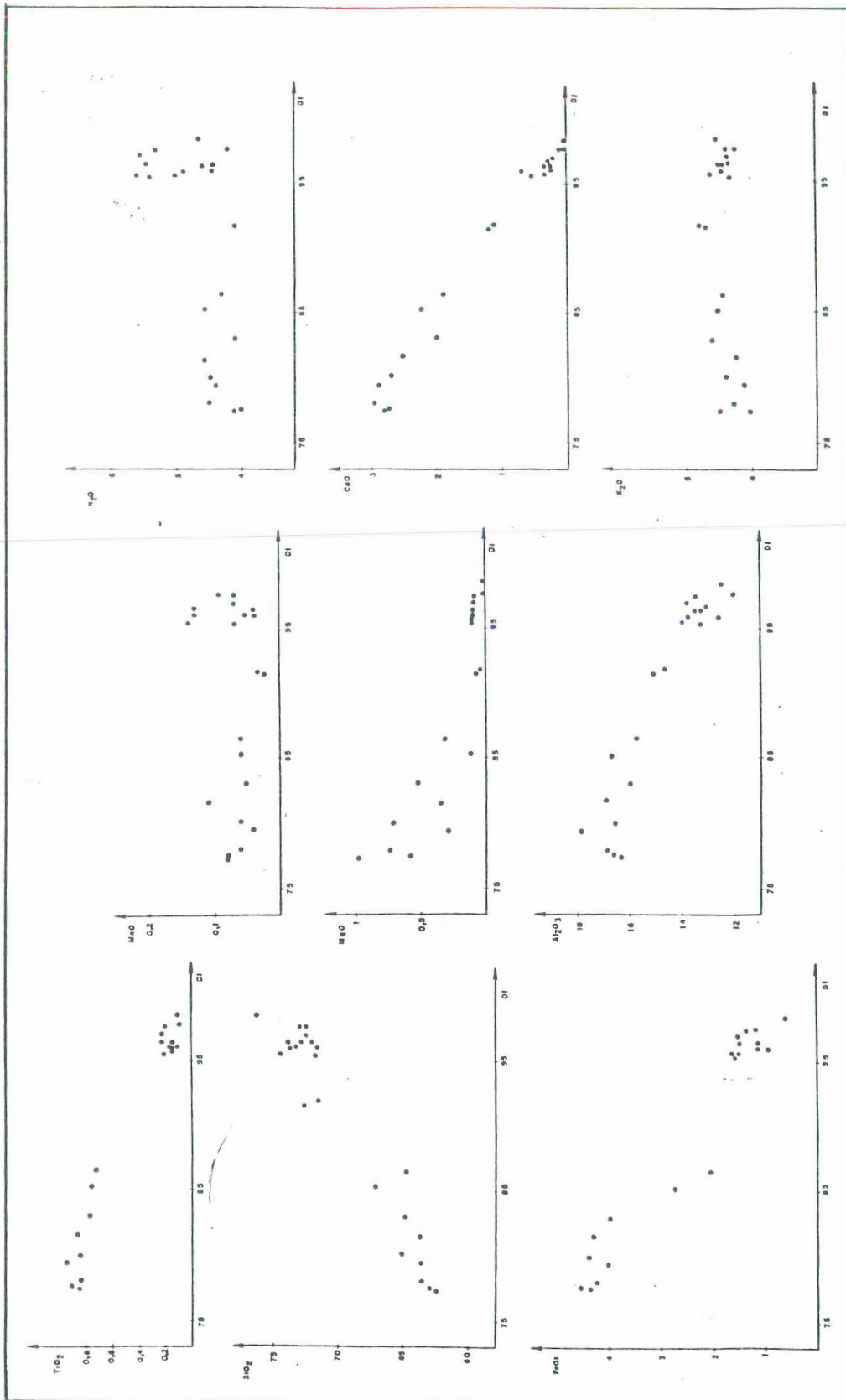


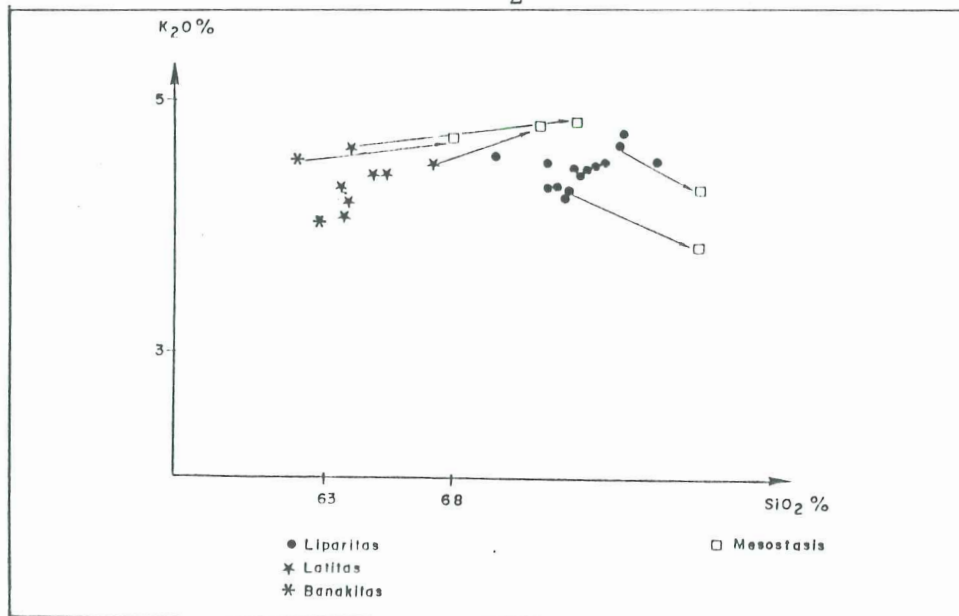
Fig. 3

tos químicos dentro del líquido residual, es un argumento muy favorable que indica una evolución de la serie por cristalización fraccionada (Fig. 3).

Del comportamiento de los elementos mayores en función del DI, se desprende que existe una marcada similitud entre las diferentes fases, es decir, entre las coladas de banakitas y latitas de la Formación Atreuco, los depósitos freatomagmáticos y los cuerpos dómicos con sus coladas liparíticas, constituyendo estos últimos los productos más diferenciados.

Con el fin de asegurar que las fases que controlan la diferenciación de la serie magmática shoshonítica son las determinadas, fue necesario verificar que la separación de cada fase da el nacimiento a los líquidos residuales de composición idéntica a la fase siguiente que se continúa formando en el magma. Analizando un cierto número de mesostasis vítreas de rocas de esta serie se ha constatado que las distintas mesostasis analizadas son de la misma composición que la roca precedente. (Fig.4)

La mesostasis de las banakitas tienen idéntica composición a las latitas, las mesostasis de las latitas presentan similar composición que los análisis químicos de las liparitas y las mesostasis de estas últimas tienen un enriquecimiento en SiO_2 como es de esperar.



De esta forma se ha podido verificar que la evolución química de los líquidos en el curso de la diferenciación es idéntica a la de las rocas del conjunto de la serie. Por lo tanto se considera que las coladas de banakitas y latitas, los depósitos freatomagmáticos y los cuerpos dómicos, están genéticamente ligados y son parte integrante de un mismo sistema magmático, producto de una diferenciación fraccionada.

Para aclarar el problema de la fuente de calor se realizaron los estudios de los equilibrios mineralógicos de las rocas constituyentes de las coladas de la Formación Atreuco, que permitieron estimar los parámetros físicos (temperatura, presión y profundidad) del emplazamiento de la cámara magmática.

Estos se obtuvieron sobre la base del geotermómetro magnetita-ilmenita donde se relacionan las temperaturas de cristalización de líquidos y minerales. La cámara magmática se habría emplazado inicialmente a 6 Km de la superficie con temperaturas que oscilan entre 898° y 880°C y una presión de 3 Kbars. Con posterioridad este magma ha ascendido a niveles superficiales de la corteza (se estima entre 2 a 3 Km) como lo prueban los depósitos freatomagmáticos y los xenolitos del basamento en donde se habría emplazado.

De esta forma se aclara en forma definitiva el problema de la fuente de calor, planteado entre los objetivos a dilucidar mediante el estudio vulcanológico y se pone en evidencia que el área del Cerro Domo está vinculada a una zona térmicamente anómala y relacionada con

la presencia de masas magmáticas emplazadas en los niveles superiores de la corteza.

3.3. CONCLUSIONES

- a) Se estableció la presencia de un vulcanismo de carácter shoshonítico que se desarrolló durante el Plioceno-holoceno al cual está vinculado el Cerro Domo.
- b) Existe una notable similitud entre las lavas de la Formación Atreuco, los depósitos freatomagmáticos y los cuerpos dómicos. En especial, el Cerro Domo, constituye la prolongación hacia términos más diferenciados. Están genéticamente ligados y pertenecen a un mismo sistema magmático.
- c) Las características petrográficas, la geoquímica de los elementos mayores, las relaciones lineales que presentan los elementos mayoritarios en función del DI y los estudios de las variaciones químicas de las diferentes mesostasis, atestiguan una cristalización fraccionada en el interior de una cámara magmática.
- d) La existencia de una anomalía térmica en el área del Cerro Domo está relacionada con la presencia de una cámara magmática. La presencia en superficie de productos evolucionados de edad reciente indican que una cantidad de magma se diferenció en la corteza terrestre. Este magma se instaló inicialmente a 6 Km de la superficie de la corteza antes de 1.45 m.a. con temperaturas de 898° a 880°C. A contar de 0,72 m.a.,

dicho magma ascendió a niveles superficiales y dio lugar a productos más diferenciados ácidos (liparitas), que constituyen el Cerro Domo, continuando el residuo de la cámara magmática a funcionar como fente de calor generadora de los fluídos geotermales.

4. ESTUDIO ESTRUCTURAL

4.1. OBJETIVOS

Los objetivos principales del estudio estructural fueron:

- a) Definir los caracteres estructurales de importancia regional, con particular referencia: al estilo estructural, a la geometría de los sistemas de fracturas más importantes y a las relaciones entre la tectónica y el vulcanismo.
- b) Identificar y mapear los sistemas locales de fracturas con indicación de la edad relativa y de su densidad.

4.2. Síntesis Estructural

4.2.1. Observación de campo

De las diferentes mediciones y observaciones realizadas en el área, se ha distinguido un conjunto de características estructurales. Estas reflejan el comportamiento que tuvo este sector de la corteza en respuesta a los esfuerzos compresivos que constantemente es sometida la zona, por la convergencia de la Placa de Nazca. De estas observaciones que se realizaron sobre una superficie de aproximadamente 4.655 Km², se destaca por su importancia regional tres grandes direcciones generales de rumbos: norte-sur; noroeste y este-oeste.

Con un menor grado de desarrollo areal en la zona del Cerro Domo se ha reconocido otros conjuntos de direcciones locales que denotan un área con un alto grado de fracturación, que están subordinadas a las grandes direcciones de fracturación regional ya señaladas.

El fracturamiento regional Norte-Sur, responde a sistemas de fallas inversas compresivas que se manifiestan fundamentalmente en los terrenos más antiguos. Es así como se observa la gran fractura (falla Butalón) que ha dislocado a las rocas del Grupo Choiyoi en la Cordillera del Viento (Plano 3). Esta fractura de rumbo norte-sur se manifiesta a lo largo de los tramos superiores de los arroyos Butalón y Atreuco. Hacia el norte es enmascarada por los derrames lávicos cuaternarios de la secuencia shoshonítica, para reflejarse nuevamente a lo largo del Cajón de Los Burros. Esta línea estructural presenta una serie de desplazamientos hacia el este, por efectos de planos de dilocación tangencial de rumbo noroeste.

Otro sector de la región en donde se puede observar estas estructuras con claras evidencias de un fallamiento inverso compresivo es a lo largo del río Neuquén, donde su tramo medio-superior presenta un marcado rumbo N-S, aunque a todo su largo se encuentran evidencias de un desplazamiento posterior. Estas estructuras se habrían reactivado con anterioridad a la depositación de los derrames lávicos de la Formación Atreuco (integrante basal de la secuencia shoshonítica), dado que sus bancos se encuentran en forma horizontal sobre un sustrato que se ha dislocado con evidencias de efectos compresivos.

Idénticas características estructurales se ha podido observar en las cabeceras del A° Molulco, en donde los esfuerzos compresivos han elevado el bloque que constituye el flanco oriental de la Cordillera del Viento.

De lo observado surge el neto predominio que ha tenido la



MAPA VULCANO - TECTÓNICO

REFERENCIAS

- Falla y lineamiento principal
- Compresivo
- Distorsión
- Distorsivo
- Lineamiento inferido
- Fallo de desplazamiento de rumbo interpretado
- Fallo
- Rumbo e inclinación
- Anticlinal
- Dirección de derrama lavica
- Centro efusivo calcoalcitrino
- Centro efusivo snowonitico
- Cráter de explosión
- Manifestaciones termales
- Óvalos

figura 3

tectónica compresiva en la región, fundamentalmente sobre los terrenos más antiguos (Grupo Choiyoi y sedimentitas de la Cuenca Neuquina) constituyendo estos el alto estructural de la Cordillera del Viento (Bracaccini, 1970) elemento positivo más antiguo. Surge como esquema estructural para las rocas del "basamento" un sistema de fallas inversas de alto ángulo que han dislocado y apilado a las rocas rígidas inferiores y plegado a las sedimentitas que la subyacen.

El fracturamiento estructural Noroeste presenta marcadas características en la región, aunque con dispar comportamiento a ambos lados del "basamento" aflorante. Mientras que en el sector occidental las fracturas se comportan como planos de dislocación tangencial, en el sector oriental lo hacen como planos de alivio tensional.

El lineamiento Quebrada Honda (en el sector occidental) se interpreta como un extenso plano de dislocación de rumbo N 45°O que afectó a todas las unidades infrayacentes a la Formación Atreuco, segmentando y desplazando a los bloques de la "falla Neuquén" (N-S).

En el sector occidental, las evidencias de las grandes estructuras están en parte enmascaradas por la cubierta volcánica Pliocena?. No obstante, la alineación de los diferentes centros volcánicos, unidos a locales evidencias de fallas nos permite interpretar estructuras con direcciones noroeste que se comportaron como zonas de alivio tensional. Una evidencia es el "Lineamiento Buta-Co", que se pone de manifiesto, por una línea estructural de rumbo N 50°O, que se ha comportado como una falla directa y ha dislocado al centro efusivo Cerro Negro, a lo largo de la cual se ob-

servan depósitos de brechas de falla y fuentes termales de bajo grado.

La fracturación regional este-oeste responde en su mayoría a un fallamiento directo, que asociadas a evidencias vulcanológicas indicarían que también se corresponden a zonas de alivio tensional. Este lineamiento adquiere importancia en la región centro-norte, por haber formado una estructura de graven que ha dislocado la parte norte del alto estructural de la Cordillera del Viento donde se ha emplazado el vulcanismo shoshonítico y los cuerpos monogénicos de basalto primario.

Un rasgo de este tipo lo constituye la falla Covunco que con leves desplazamientos tangenciales, presenta un rumbo general que varía de N 80°E a N 85°E. Paralelo a esta falla se encuentra un conjunto de centro de emisión de edad Holocena, de composición shoshonítica. Otra línea de fracturación de dirección general este-oeste, es la falla Manchana-Covunco, que también ha sufrido leves desplazamientos tangenciales.

Se interpreta que este lineamiento estructural, se ha mantenido en permanente actividad a lo largo del Plioceno-Holoceno dado que permitió el emplazamiento de cuerpos volcánicos de esa edad y posteriormente dislocó a sus derrames lávicos.

En la zona del Cerro Domo se han medido una cierta cantidad de lineamientos, diques y pequeñas fracturas que están subordinadas a las grandes direcciones de fracturación regional ya señaladas (Fig.5) Del conjunto de estas mediciones se diferenciaron dos sistemas que son N 25°E y N 60°O, con sus respectivas conjugadas debilmente esbozadas de

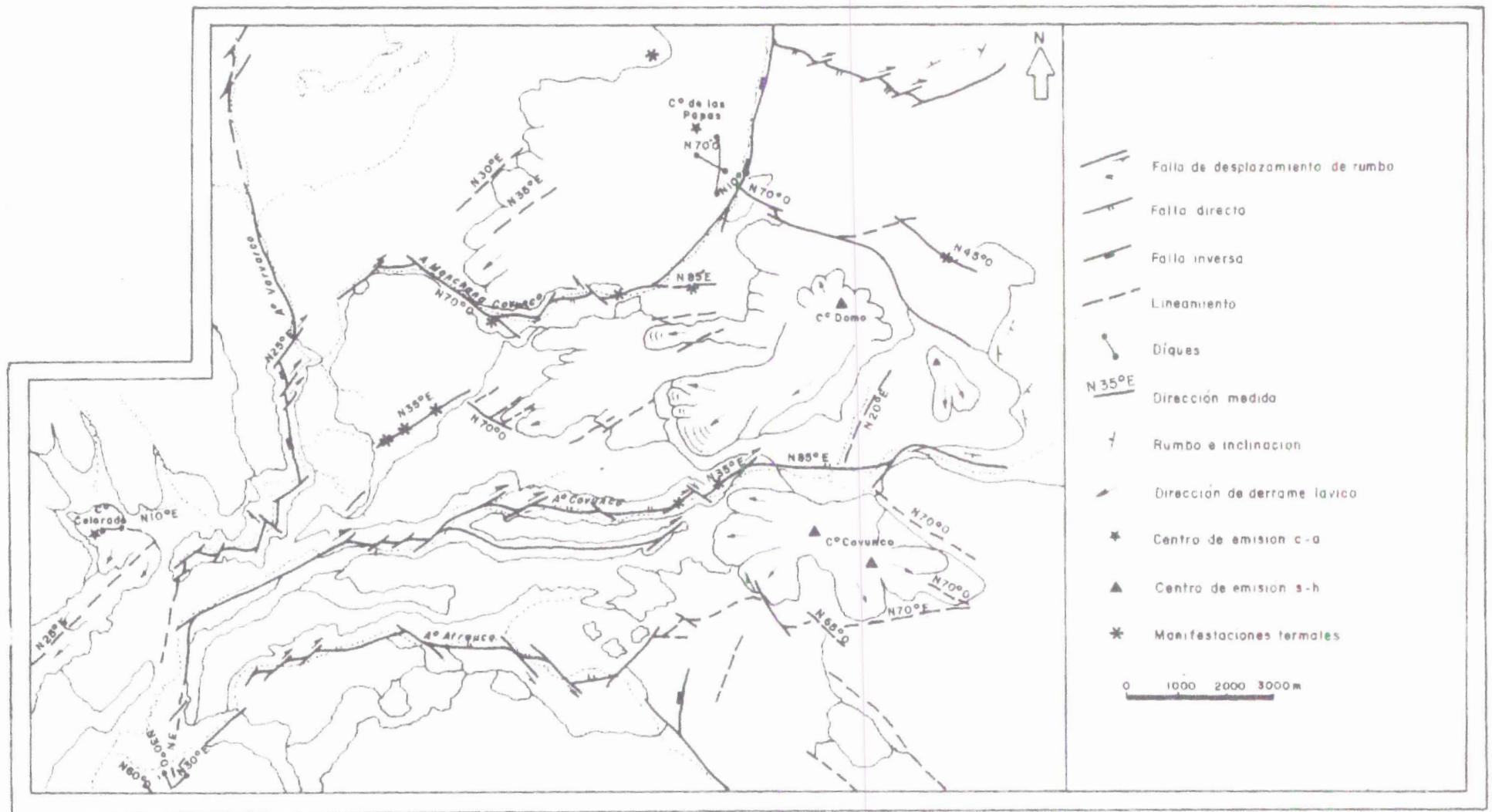


figura 5

N 30° y NS. La dirección N 25°E presenta una sensible variación a N 35°E en el tiempo y paralelamente la dirección N 60°O pasa a N 70°O. Estas direcciones estructurales han dislocado y desplazado a las fallas tensionales de rumbo este-oeste.

Sistema N 25°E a N 35°E: Hacia el este, sobre el granito Varvarco prevalece el sistema N 25°E, que se manifiesta en los afloramientos del "Granito Varvarco" y en los derrames lávicos del Cerro Colorado, cuyas coladas tienen un marcado rumbo N 25°E. En base a esta última evidencia se interpretó que la dirección N 25°E está definida en la zona antes del Pleistoceno inferior. En la región comprendida entre el A°Atreuco y el A°Manchana-Covuncò, en donde se encuentran los derrames del C°Domo, se observa un predominio de las direcciones N 30°E y N 35°E.

La dirección N 35°E ha dislocado y desplegado a la "falla Covunco" (Este-Oeste, tensional) y es en este cruce de fracturas donde se encuentran las emanaciones gaseosas de Los Géiseres y Los Tachos, alineados a lo largo de las fallas dislocantes (N 35°E). Con igual dirección (N 35°E) se encuentran orientadas las vertientes en la zona de Las Aguas Calientes.

Sistema N 60°O a N 70°O: La dirección N 70°O es la que presenta una mayor representatividad. En el Cerro Covunco y Cerro Domo se han medido fracturas y direcciones de coladas con estos rumbos, y diques con igual dirección se han emplazado en el centro efusivo Las Papas.

Las manifestaciones termales de La Olleta se encuentran localizadas en el cruce de la falla Manchana-Covunco (este-oeste tensional)

con una falla de dislocación (N 70°O), que ha desplazado a la anterior.

Se interpreta que estos sistemas que se manifiestan en el sector del Cerro Domo, corresponden a los planos de dislocación secundarios, resultantes de las variaciones de empuje locales que se han desarrollado como respuesta a los esfuerzos regionales.

A su vez, se considera, que habría existido un aumento de la deformación, desde el Plioceno inferior hasta el Holoceno, la que está manifestada por un aumento de la intensidad de la cupla que fue produciendo un paulatino cambio en los planos de dislocación.

4.2.2. Análisis de la Estructura

Teniendo en cuenta los diferentes rasgos estructurales que se han observado en la secuencia estratigráfica, se pueden agrupar a estas unidades en relación al estilo tectónico dominante en las mismas.

Las unidades integrantes del "basamento" fueron afectadas inicialmente por esfuerzos compresivos que originaron fallas inversas de alto ángulo, en su base rígida (Grupo Choyoi) y un conspicuo plegamiento en las secuencias piroclásticas sedimentarias suprayacentes con rumbo general norte-sur.

Este rasgo compresivo (Falla Butalón, Falla Neuquén, Falla Molulco, que es una característica dominante de los terrenos más antiguos se extiende hasta las unidades del Mioceno superior?. Estos tipos de fracturas son los que aparecen en los primeros estadios de la deformación por cupla (Coira et al, 1975) con un mayor desarrollo relativo.

En el conjunto de las unidades del Terciario-Cuartario predomina un comportamiento estructural diferente. Presentan grandes fracturas con direcciones noroeste y este-oeste, en donde prevalecen los planos de dislocación y los planos de tensión que han regulado y condicionado en gran medida la implantación de los centros efusivos cenozoicos, a los que debe agregarse ciertos cambios de dirección en los esfuerzos talgenciales por ajustes locales.

Con el objeto de establecer el comportamiento estructural de la cubierta volcánica, se han diferenciado tres áreas (Fig. 6) que presentan distintas respuestas a los esfuerzos compresivos, que se han originado en los primeros estadios de la deformación.

Area I:

En el área tiene un amplio predominio el sistema N 45°0, que se ha comportado como falla de desplazamiento de rumbo, producida por un ajuste en sentido levógiro de las fracturas. Es evidenciado por la marcada dislocación horizontal que ha producido en las distintas unidades del Terciario Superior y por la segmentación y desplazamiento de los bloques del "basamento" que afloran a lo largo del río Neuquén, en el sector de Invernada Vieja.

Area II:

El Area II es la que presenta una mayor complejidad en su sistema evolutivo. El empuje regional, como se ha señalado, ha generado en las rocas del "basamento" fallas compresivas de rumbo Norte-Sur (N 10°0)



figura -6

(como lo atestigua la "falla Butalón" que se continúa a lo largo del Cajón del Burro).

El sistema compresivo ha originado un área de alivio tensional de dirección N 80°E a N 85°E, que ha controlado el emplazamiento del vulcanismo Plioholoceno. Estas estructuras que fueron afectadas por fallas de dislocación tangencial, habrían originado un gran gaven en donde se emplazó el vulcanismo shoshonítico. La combinación de estructuras tensionales y de desplazamiento de rumbo, se ha mantenido activa durante el cuartario y es la que habría condicionado la implantación de las fuentes termales.

Las fallas de dislocación tangencial (N 25°E, a N 35°E) responden a un sistema de cupla que tiene un sentido de rotación dextrógiras. Este sistema es el que se ha mantenido más activo, por lo menos desde el Plioceno (dirección N 25°E de derrame lávico del C°Colorado), con un sistema conjugado N 30°O, mientras que las direcciones N 60°O a N 70°O se han comportado como fracturas de cizallas secundarias. La intensidad de los esfuerzos ha ido aumentando e incrementando la deformación por cupla, dado que las fracturas de dislocación transversal que originan las manifestaciones termales actuales presentan un rumbo de N 35°E (zona de Los Géiseres, Los Tachos y Los Baños) y las fracturas de cizalla secundaria un rumbo de N 70°O (Zona de La Olleta).

Area III:

En esta región no cabe duda que el sistema N 45°O ha sido reactivado durante el terciario superior-cuartario en forma tensional, ori-

ginando una gran concentración de centros efusivos alienados en esta dirección. La dirección N 10°E se ha comportado en forma de planos de dislocación, produciéndose un ajuste en sentido levógiro para la región. El Lineamiento Butra-Co es el comportamiento más conspicuo de las estructuras tensionales. En la zona del C° Negro existe una brecha tectónica alineada con el mencionado lineamiento y manifestaciones de aguas termales que probablemente han ascendido favorecidas por esta estructura. El Lineamiento Buta-Co, probablemente se continúe en su dirección noroeste hasta el Cerro Domo, dado que en flanco NE de éste, se encuentran evidencias de estructuras con la citada dirección. Están representadas por una extensa zona de alteración fumarólica con rumbo N 45°O y la falla de igual rumbo (N 45°O) que ha originado la manifestación fumarólica actual de la Bramadora.

4.3 CONCLUSIONES

Del conjunto de las mediciones y observaciones realizadas en la zona se puede establecer que:

- a) El rasgo estructural dominante lo constituye el alto estructural de la Cordillera del Viento (Bracaccini, 1970) elemento que ha condicionado en gran medida el cuadro de esfuerzos locales en la región. Se interpreta que está definido por estructuras compresivas de rumbo general nort-sur, desarrolladas en los primeros estadios de la deformación por cupla.
- b) Desde el Mioceno los sistemas de fracturas noroeste tuvieron un dispar comportamiento a ambos lados de la Cordillera del Viento, mientras en el sector occidental se comportan como fallas de dislocación tangencial, seg

mentando y desplazando a las estructuras compresivas, en el sector oriental lo hicieron como zonas de alivio tensional.

- c) La fase Quechua marca el inicio de un nuevo período de actividad volcánica que se desarrolla desde el Plioceno inferior? hasta la actualidad. Se reactivan las fracturas de dislocación tangencial (N 45°O) en el sector occidental, las fracturas tensionales de dirección noroeste (N 45°O a N 50°O) en el sector oriental y las fracturas tensionales este-oeste (N 85°E) en el centro norte de la región, dando origen al comienzo del vulcanismo shoshonítico y a la implantación de cuerpos monogénicos basáltico, de origen profundo.
- d) En la región del Cerro Domo (centro norte del área) ha prevalecido el sistema este-oeste (N 80°a 85°E) componente tensional de los esfuerzos.

Los sistemas N 25°a 35°E y N 60°a 70°O (N 30° O y NS sistemas conjugados) se comportan como planos de dislocación secundarios y son resultantes de las variaciones de empujes locales que se han manifestado en este sector. Estas estructuras que habían comenzado a manifestar, por lo menos desde el Plioceno, con un movimiento dextrógiro, han cortado a los planos de alivio tensional que dieron lugar al vulcanismo en el sector. Esta combinación de estructuras es la que controla actualmente las manifestaciones termales.

En el flanco NE del Cerro Domo y al sur del Cerro Domuyo, existen numerosas evidencias de estructuras tensionales de rumbo noroes

te, que se continúan hacia el sector oriental. Este cruce de estructuras tensionales profundas sistema E-O (N 80°a 85°E) y NE (N 45°a 50°E) evidenciado por el emplazamiento de un vulcanismo shoshonítico y los cuerpos monogénicos de basaltos primarios de origen profundo, habrían establecido las condiciones favorables que permitieron el ascenso a niveles muy superficiales de la cámara magmática que engendró la implantación de los diferenciados ácidos del Cerro Domo. Actuando en la actualidad como fuente de calor, generadora del fluido geotermal.

A su vez es de destacar el alto grado de fracturación que presenta el área del Cerro Domo, característica que facilita la circulación de los fluídos, incrementando el grado de permeabilidad, permitiendo inferir la validez de un reservorio apropiado.

5. ESTUDIO GEOQUIMICO

5.1. OBJETIVOS

- a) Caracterizar y clasificar los distintos tipos de aguas termales definiendo sus características y relaciones entre ellas.
- b) Establecer las temperaturas de origen de los fluidos termales.
- c) Reconstruir el esquema de circulación hídrica subterránea del sistema termal.

5.2. SINTESIS GEOQUIMICA

El estudio de las diferentes vertientes de las aguas termales ha puesto también en evidencia una interesante perspectiva en relación a las posibilidades geotérmicas del sector sur-oeste del Cerro Domo. Los estudios geoquímicos se realizaron sobre la base de cuarenta y cuatro muestras extraídas de cada una de las vertientes que existen en diferentes sectores del área.

Ellas están localizadas en: Los Géiseres, Los Tachos, El Humazo, La Olleta, Aguas Calientes, Los Baños, Las Papas y La Bramadora. Su distribución está representada en la figura 7 y su clasificación química y características superficiales en el Cuadro 1

La clasificación de las aguas termales existente en la región ha permitido reconocer tres tipos químicos, que se corresponden con sectores cuyas características estratigráficas, vulcanológicas y estructurales son diferentes; ellos son:

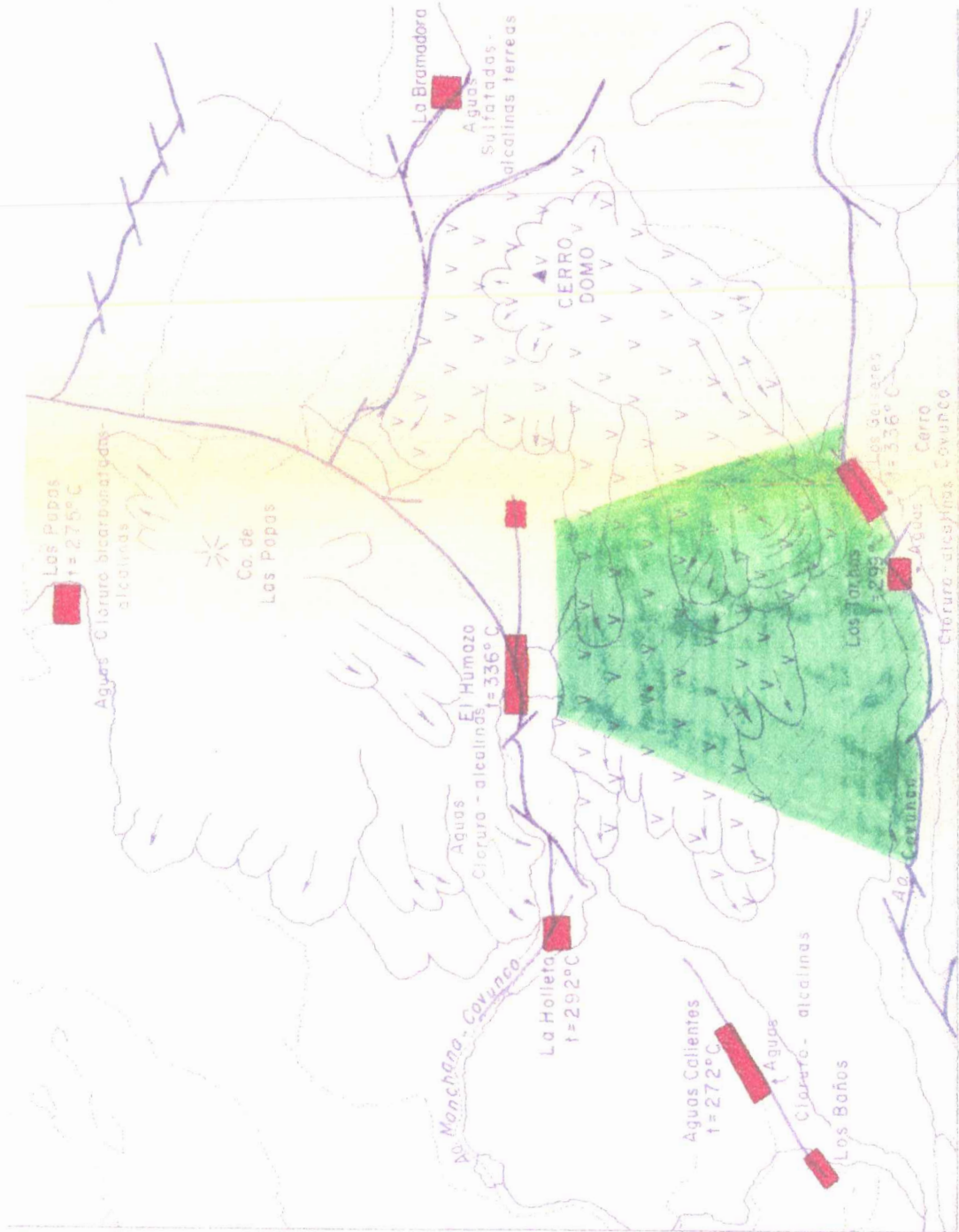
- a - Aguas cloruro bicarbonatadas-alcalinas
- b - Aguas sulfatadas-alcalino térreas
- c - Aguas cloruradas - alcalinas

<i>Manifestaciones Termales</i>	<i>Número de Vertientes</i>	<i>Resistividad $\mu \Omega / \text{cm}$ *</i>	<i>Temperatura</i>		<i>Contenido de gas en % *</i>	<i>PH *</i>	<i>Tipos Químicos de aguas</i>
			<i>Máxima</i>	<i>Promedio</i>			
<i>La Olleta</i>	11	$0,586 \times 10^4$	95,2	88,7	15,5	8	<i>Cloruradas—alcalinas</i>
<i>Las Papas</i>	3	$0,513 \times 10^4$	48	41,6	15	7	<i>Cloruro Bicarbonatadas—alcalinas</i>
<i>Los Tachos</i>	4	$0,627 \times 10^4$	95	93,1	8,5	8	<i>Cloruradas—alcalinas</i>
<i>Los Géiseres</i>	4	—	96	78	—		<i>Cloruradas—alcalinas</i>
<i>La Bramadora</i>	4	$0,65 \times 10^4$	91	76,5	15	6,2	<i>Sulfatadas—alcalino térrea</i>
<i>El Humazo</i>	8	$0,676 \times 10^4$	95	92,8	12,5	8,2	<i>Cloruro—alcalinas</i>
<i>Aguas Calientes</i>	11	$0,35 \times 10^4$	84	69,5	10,5	7	<i>Cloruradas—alcalinas</i>
<i>Los Baños</i>	2	$0,23 \times 10^4$	46	46	7,5	6,5	<i>Cloruradas—alcalinas</i>

* Promedio

Quadro 1

MAPA DE DISTRIBUCION DE LAS MANIFESTACIONES TERMALES EN RELACION AL CERRO DOMO



Áreas con manifestaciones termales

Sector de mayor interés geotérmico

Cerro Domo y coladas lávicas

Dirección de derrame lávico

Centros de emisión volcánicos

T = 29.9 °C Temperaturas del reservorio en profundidad

Esc: 1:50.000



Fig. 7

figura - 7

Las aguas cloruro bicarbonatadas-alcálinas se encuentran en el sector de Las Papas, al noroeste del Cerro Domo. El conjunto de los manantiales de agua caliente que llevan el nombre de ese sector, probablemente se correspondan a dos tipos químicos. Este fenómeno de mezcla es factible que se desarrolle, dado que en esa región no existiría una cubierta impermeable importante que permita separar las aguas termales de las frías superficiales.

Las aguas sulfatadas-alcálinas térreas, se encuentran localizadas al noreste del Cerro Domo, en la zona de la emanación fumarólica de La Bramadora. Esta importante manifestación estaría condicionando a los numerosos manantiales. Las vertientes están localizadas a lo largo de una zona de falla de rumbo N 45°O, que ha puesto en contacto a las rocas del "basamento" con andesitas de probable edad Mioceno superior. Jurio (1978) ha interpretado que estas aguas se originaron por la condensación de vapores ascendentes y relaciona su baja concentración de cloruros, en atención a la baja volatilidad y solubilidad de los cloruros metálicos en vapores a moderadas presiones y temperaturas.

Las aguas cloruradas-alcálinas corresponden a la región comprendida entre el A°Manchana-Covunco y el A°Covunco, donde se emplazaron los derrames lávicos liparíticos del Cerro Domo favorecidos por la estructura de graven originado por las fallas de alivio tensional este-oeste. En este sector se encuentran las manifestaciones termales de Los Géiseres, Los Tachos, El Humazo, La Olleta, Aguas Calientes y Los Baños. Su carácter químico seña-

la la no existencia de un fenómeno de mezcla, confirmando la presencia de una cobertura impermeable, representada seguramente por las "Piroclastitas Acidas", cuyos bancos de pumice flow fuertemente alterados a materiales arcillosos y en parte silicificados, sellan el sistema.

Los estudios geotermométricos han confirmado la existencia de elevadas temperaturas en profundidad e indican también la presencia de una roca impermeable que permite la acumulación de vapor o de agua a temperaturas por encima de su punto de ebullición dentro del reservorio. En los análisis geotermométricos, se ha evaluado el tenor de los diferentes cationes disueltos en el agua, el que está en función de las temperaturas del reservorio. Utilizando los geotermómetros de Na - K - Ca, Na - K y Na-Li, se han obtenido temperaturas de cada una de las diferentes vertientes, cuyos promedios y temperaturas mínimas se expresa en el cuadro n° 2.

Como era previsible, en el sector del Cerro Domo las máximas temperaturas se obtuvieron en las manifestaciones de Los Géiseres y El Humazo (336°C, Fig 7), lugares por donde emergen los fluidos de la alta entalpía que se encuentran más próximos a la fuente de calor. Los geotermómetros calculados en las manifestaciones más distales de la anomalía térmica indican un gradual descenso en las temperaturas del reservorio (Los Tachos, 299°C; La Olleta, 292°C y Aguas Calientes, 272°C). Tales cálculos apoyan la idea del sentido de circulación hídrica subterránea de dirección OSO, inferida también por la tectónica de dislocación (N 35°E) y tensional (N 85°E).

En el esquema de circulación subterránea de la figura se ha marcado el límite de la principal área de recarga. Comprende a todo el flanco SO del Cerro Domuyo, en donde se encuentran las cabeceras de los A°

ESQUEMA DE CIRCULACION HIDRICA SUBTERRANEA



figura - 8

Sector	Manifestaciones	Números de Vertientes	Geo termómetros (t C)						Promedio de Mínimas
			Na/K		Na/Li		Na - K - Ca		
			Mínima	Promedio	Mínima	Promedio	Mínima	Promedio	
Las Papas	Las Papas	3	251	284	261	267	315	332	275
La Bramadora	La Bramadora	4	235 *	-	-	-	200 *	270 *	-
Cerro Domo	La Olleta	11	240	246	321	328	315	323	292
	Los Tachos	4	243	248	326	337	328	330	299
	Los Géiseres	2	319	325	341	343	350	360 *	336
	El Humazo	8	328	337	326	337	355	394 *	336
	Aguas Calientes	9	218	244	294	306	305	316	272
	Los Baños	1	265	265	312	312	328 *	328 *	-

* No fiables

Cuadro 2

Manchana Covunco y Covunco, que constituiría el área en donde se infiltran las aguas provenientes fundamentalmente de las intensas precipitaciones nivales.

En esta zona, donde afloran las rocas del "basamento", se infiltran las aguas que alimentan el reservorio existente al SO del Cerro Domo, favorecidas por el intenso tectonismo que afectó a las unidades. Es probable que exista una infiltración no muy profunda de las aguas que tienen un sentido general de circulación O S O, aunque podría existir una barrera a la circulación hídrica a causa de la faja de alteración fumarólica que existe en el NE del Cerro Domo. Al atravesar los fluídos la zona de la anomalía térmica, los estratos impermeables de las "piroclastitas ácidas" actuarían como "sello" originando la acumulación de vapor debajo de ésta.

En el Bloque diagrama esquemático de circulación del sistema termal de la Fig.9, se muestra la existencia (al SO del Cerro Domo) de un reservorio que presenta un elevado fracturamiento constituido por las rocas del "basamento" que permite la circulación de las aguas subterráneas y de una cubierta impermeable que aísla el sistema.

Las aguas que se infiltran en las cabeceras de los A°Manchana-Covunco y Covunco, donde afloran las rocas del "basamento", presentarían, como se ha señalado, un sentido de circulación general OSO.

La fuente de calor situada debajo del Cerro Domo produce una fuerte concentración de flujos térmicos. La combinación de las estructuras tensionales profundas y los planos de dislocación secundarios, que afectaron a las rocas del cuartario, han originado las vías de escape de los fluídos termales., que ascienden a través de los planos de falla.

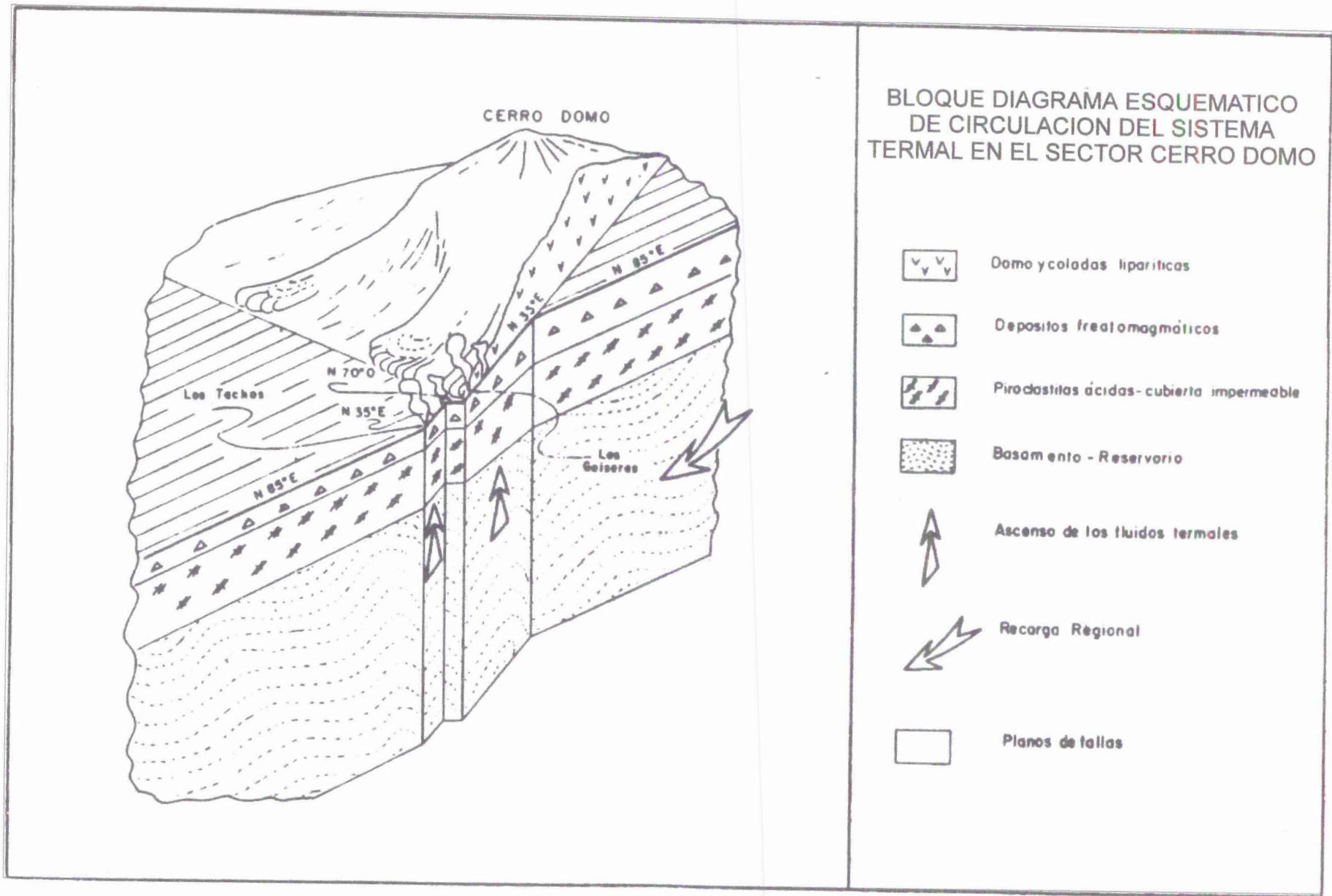


figura - 9

Sobre la base de lo expresado se ha delimitado en el sector SO. del Cerro Domo (Fig. 7) un área que presenta un mayor interés geotérmico, en donde se deberían profundizar los estudios para esclarecer las características del reservorio en profundidad.

5.4. CONCLUSIONES

- a) Se reconocieron tres tipos químicos de aguas, que se corresponden con sectores cuyas características geo-vulcanológicas y estructurales son diferentes; ellos son:
- Aguas cloruro bicarbonatadas-alcálinas, en el sector de Las Papas, que probablemente se correspondan a dos tipos químicos, dado que no existiría una cubierta impermeable en ese sector que permita separar las aguas termales profundas de las frías superficiales.
 - Aguas sulfatadas-alcálinas térreas, en el sector de La Bramadora, que emergen probablemente favorecidas por una estructura tensional profunda que ha originado la emanación fumarólica existente y condiciona el carácter químico de las vertientes.
 - Aguas cloruradas-alcálinas en el sector SO del Cerro Domo, que señalan la no existencia de un fenómeno de mezcla y confirman la presencia de una cubierta impermeable.
- b) Se estableció la presencia de elevadas temperaturas en profundidad que oscilan entre 336°C y 272°C, que indican también la presencia de una roca impermeable que permite la acumulación de vapor dentro del reservorio.
- c) Se delineó un esquema de circulación hídrica subterránea en donde se des-

taca la existencia de un reservorio con un alto grado de fracturamiento que favorece la circulación de las aguas por debajo de los bancos de piroclastitas que actúan como cubierta impermeable. Las vías de escape de los fluídos se realiza a través de los planos de falla que han dislocado a la cubierta cuartaria, constituyendo en conjunto un sistema que ofrece marcadas posibilidades geotérmicas por la presencia de un reservorio con fluídos de elevada temperatura.

6.- Modelo Geotérmico Preliminar

Sobre la base de las conclusiones estratigráficas, vulcanológicas estructurales y geoquímicas se ha establecido un modelo geotérmico preliminar del área del Cerro Domo, que presenta un interés geotérmico primario (Fig. 10).

Las sucesivas fases de estudios, tendrán como objetivo el de precisar y definir el modelo propuesto.

Sus varios elementos tales como fuente de calor, reservorio, cobertura y circulación de los fluidos termales, que caracterizan dicho modelo, son ampliamente descriptas en los párrafos precedentes, no obstante se sintetizan a continuación:

a) Fuente de calor

Se ha establecido que la anomalía térmica existente en el Cerro Domo está relacionada con la presencia de una cámara magmática.

La existencia en superficie de una gran cantidad de productos evolucionados, indican la importante magnitud del magma que se implantó y se diferenció en niveles superiores de la corteza terrestre.

El magma se instaló inicialmente a 6 Km de la superficie de la corteza antes de 1,45 m.a. con temperaturas de 898°C a 880°C, dando lugar a las coladas de la F. Atreuco de composición banakítica y latítica.

Con posterioridad (0,72 m.a.) habría sufrido un proceso de ascenso donde el magma se habría almacenado a niveles muy superficiales

favorecido por el cruce de estructuras tensionales profundas (sistemas noroeste y este-oeste), como lo prueba la existencia de una actividad explosiva freatomagmática.

Finalmente tuvo lugar la implantación de los cuerpos dó micos con productos muy diferenciados (liparitas) que originaron, entre otros, el Cerro Domo. La cámara magmática residual continuó irradiando calor, fenómeno que se continúa, actuando como fuente generadora de fluídos geotermales.

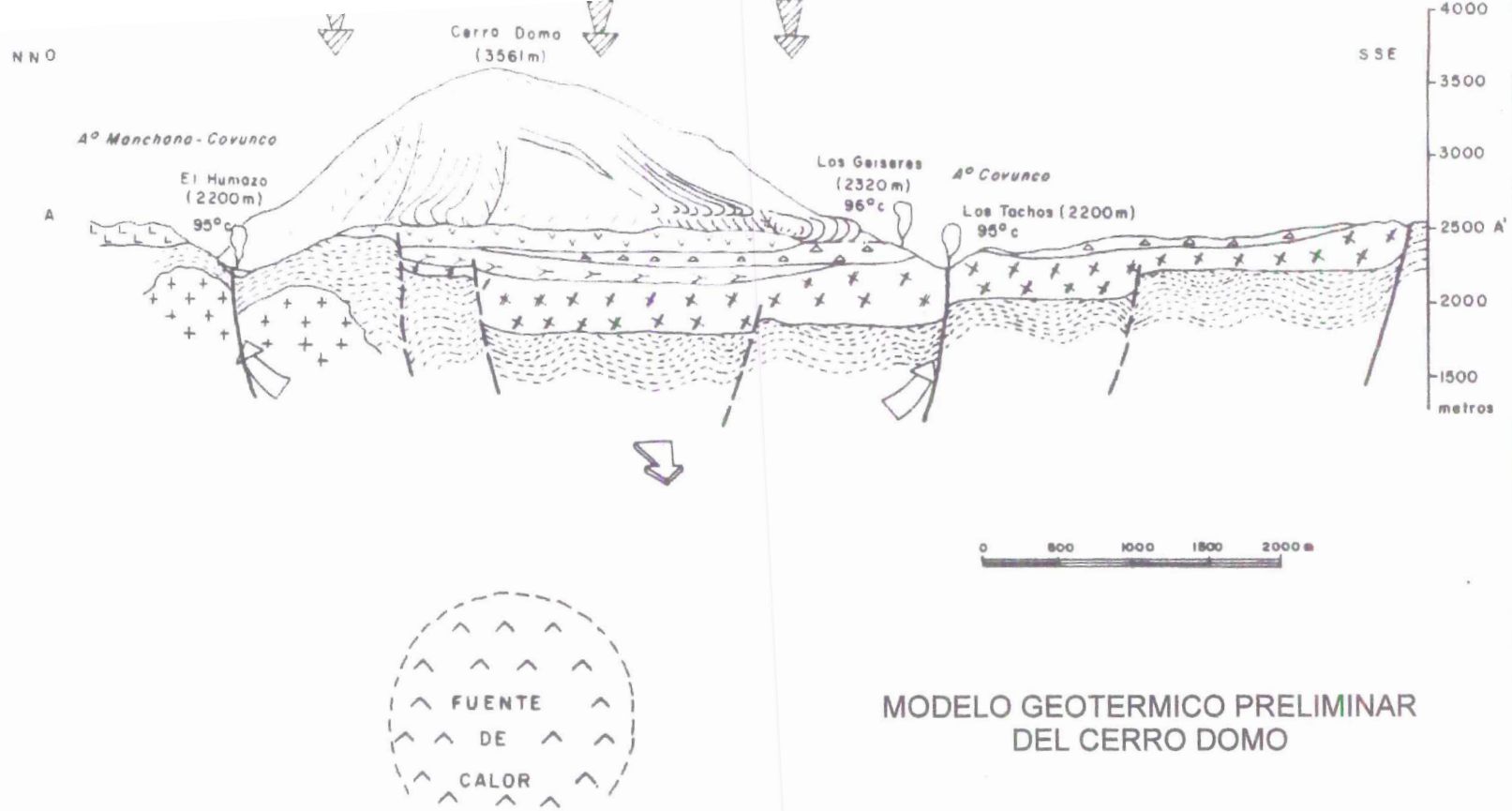
b) Reservorio Geotérmico

En el área del Cerro Domo, el sistema compresivo ha generado en su etapa evolutiva un área de alivio tensional de dirección general este-oeste, que junto a fallas de desplazamiento de rumbo han dislocado la parte norte de la Cordillera del Viento.

Estos esfuerzos dieron origen a una estructura de graven en donde las unidades del "basamento" se encontrarían hundidas a poca profundidad, sobre las que se emplazó el vulcanismo Terciario-Cuartario.

Se interpreta que la falla "Manchana-Covunco" en su extremo norte y la falla "Covunco" por el sur delimitan el sector más profundo del graven, por donde se encauzan los fluídos.

El alto grado de fracturación que presentan las unidades del basamento, incrementado por la reactivación de las estructuras tensionales y de dislocación, favorecería la circulación de los fluídos permitiendo inferir la validez de un reservorio apropiado.



MODELO GEOTERMICO PRELIMINAR DEL CERRO DOMO

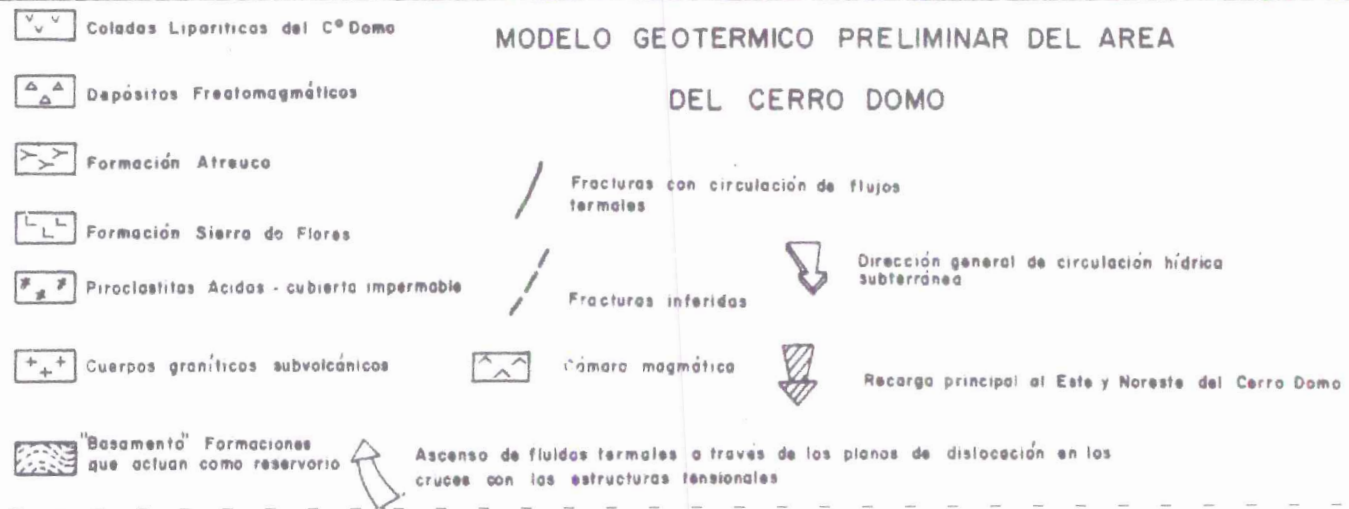


figura - 10

c) Cubierta

Sobre las rocas del "basamento" que constituye el reservorio, en el graben existente al sur-oeste del Cerro Domo, se apoya una espesa secuencia integrada por diferentes niveles de pumice-flow, con reducidas intercalaciones de fragmentos piroclásticos redepositados.

Esta unidad presenta en su conjunto un elevado grado de alteración a materiales arcillosos, característica que señala su condición de formación impermeable, que permite la acumulación de vapor o de agua sobrecalentada dentro del reservorio.

El espesor de este sector se estima que podría ser de aproximadamente 500 metros, (el doble de lo que se lo señaló en una primera interpretación), valor que tendría que precisarse mediante estudios geofísicos y perforaciones preliminares.

A lo largo de la falla "Coyunco", entre las manifestaciones termales de Los Géiseres y Los Tachos (sector sur del área de "mayor interés geotérmico"), se encuentra una zona hidrotermalizada (con silificación) que de continuar hacia niveles inferiores podría actuar como barrera de circulación hídrica lateral, circunscribiendo el sistema geotermal y favoreciendo la concentración de los fluidos a elevadas temperaturas.

d) Circulación de fluidos termales

La estructura de graben existente en el centro norte de la región, fue modificada en parte por la intrusión del cuerpo subvolcáni-

co que constituye el Cerro Domuyo.

El emplazamiento forzado de éste ha originado en el extremo este del graben, una región elevada, permitiendo aflorar a las rocas del "basamento".

De esta forma el reservorio tendría su área de recarga en las cabeceras de los arroyos Manchana-Covunco y Covunco (flanco SO del Cerro Domuyo) y sus aguas un sentido general de circulación OSO.

En la zona de la anomalía térmica los fluidos confinados a elevadas temperaturas saldrían a la superficie a través de las vías de escape que originaron los planos de dislocación horizontal al cortar y desplazar las estructuras tensionales profundas, en la cubierta impermeable.

7. Recomendaciones y objetivos para la fase siguiente

El conjunto de los estudios realizados ha permitido evaluar en forma integral las características de la zona y establecer un modelo geotérmico preliminar (Figura 10) que, como se ha señalado, deberá ser precisado mediante el desarrollo de la segunda fase de exploración (geofísica y perforaciones) del estudio de prefactibilidad.

La misma deberá estar preferentemente concentrada en el sector del Cerro Domo que ha sido delimitado y que se considera de mayor interés geotérmico (Fig. 7), por cuanto se estima que ofrecerá las mayores alternativas para la extracción de un fluido de alta entalpía.

Los objetivos a tener en cuenta mediante la prospección geofísica deberán definir el modelo antes delineado y a su vez tender a esclarecer los siguientes aspectos:

- El control de las estructuras en profundidad en las que se deberá:
 - a) Delimitar en su extensión (ancho y largo) la estructura de graven formada por las fallas tensionales este-oeste. Al respecto se deberá precisar su límite norte, dado que su límite sur estaría dado por la falla Covunco (en donde se desarrolla la zona de silicificación) . Con relación a su longitud, se deberá precisar su extensión hacia el oeste, ya que su límite este está definido. Lo constituye el umbral que debería existir en profundidad por efecto de

la falla compresiva Butalón (Plano N° 3). Estos esfuerzos compresivos, que han actuado sobre las rocas del basamento, han originado una elevación del bloque este, que define el límite oriental del reservorio. Este rasgo no se observa en superficie debido a que la estructura, en este sector, está enmascarada por el vulcanismo cuartario.

b) Constatar y precisar la disposición geométrica de los sistemas de cizallas compresivas que actúan como fallas de desplazamiento de rumbo, (cuyas direcciones generales son N 35°E y N 70°O, con sus sistemas conjugados de N 30°O y NS respectivamente) que serían unas de las principales vías de circulación de los fluidos termales.

- Determinar las características geométricas, espesores y profundidad de las unidades que actúan de cubierta impermeable y de reservorio.

Los estudios geofísicos deberán precisar el espesor total de las piroclastitas ácidas en el área que se delimitó como de mayor interés geotérmico y a su vez verificar su condición de roca tapón.

Es estimado que en este lugar las piroclastitas tendrían un espesor de 500 a 600 metros. A su vez se debe considerar que sobre esta unidad se encontrará a la formación Atreuco con espesores que se calculan entre 50 y 70 metros. Los depósitos freatomagmáticos, cuya potencia oscilaría entre 80 y 100 metros y a las coladas liparíticas del Cerro Domo, que presen-

tan un espesor máximo (en la planicie desarrollada sobre las coladas recientes, sector marcado por un círculo, Fig. 7) de aproximadamente 150 metros.

De lo expresado, surge que el techo del reservorio se encontraría entre los 780 y 900 metros.

En síntesis, los objetivos principales de la prospección geofísica se pueden expresar de la siguiente manera:

- a) Individualización de las fallas regionales que afectan el basamento.
- b) Individualización de la unidad o unidades en profundidad de cubierta impermeable.
- c) Reconstrucción estructural del basamento, cuyas profundidades máximas pueden estar entre los 750 y 900 metros y de su estructura interna.
- d) Individualización en profundidad de zonas hidrotermalizadas y análisis del comportamiento en profundidad del área silicificada ubicada a lo largo de la falla Covunco, en la zona de Los Géiseres y Los Tachos.
- e) Estudio de las características químicas e hidrotermales de los fluidos del subsuelo, en especial los fluidos profundos que ascienden por zonas de fracturas.

La metodología geofísica más adecuada para alcanzar los objetivos antes mencionados es la propuesta por el Grupo JICA (Agencia

Internacional de Cooperación del Japón), en el estudio que está realizando paralelamente en la región del Domuyo, en forma conjunta con la Secretaría del COPADE del Neuquén y el asesoramiento técnico del Grupo de Trabajo Vulcanología.

En el programa de exploración geofísica han previsto desarrollar, en el lugar de mayores alternativas, los siguientes estudios:

- 1.- Relevamiento de la resistividad
- 2.- Relevamiento sísmico
- 3.- Registro geofísico y análisis de testigo mediante la perforación de 20 pozos de gradientes termales de 100 metros de profundidad y la realización de otro a 400 metros con extracción de testigo para su estudio petrográfico.

Se interpreta que el mencionado programa debería desarrollarse dentro del área que fue delimitada como de mayor interés geotérmico (Fig.7), colocando la ejecución de alguno de los pozos en los límites externos, especialmente el occidental, en función de los gradientes termales que se obtengan. A su vez, el pozo que alcanzaría los 400 metros se debería ubicar en la planicie desarrollada sobre las coladas recientes (sector marcado con un círculo, Fig. 7)


Lic. ABEL H. PESCE
Jefe
Grupo de Trabajo Vulcanología

