

REPUBLICA ARGENTINA
INFORME INTERMEDIO DE AVANSE
SOBRE
PROYECTO DE DESARROLLO GEOTERMICO
EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DEL NEUQUEN
(PRIMERA SEGUNDA ETAPA)

NOVIEMBRE 1983

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

M.P.N.

83-118

REPUBLICA ARGENTINA
INFORME INTERMEDIO DE AVANSE
SOBRE
PROYECTO DE DESARROLLO GEOTERMICO
EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DEL NEUQUEN

(PRIMERA•SEGUNDA ETAPA)

NOVIEMBRE 1983

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

国際協力事業団	
受入 月日 '84.11.16	701
	643
登録No. 10848	MPN

マイク
7.1.1.5

INDICE

Introducción	I
Síntesis	III
1. Sumario	1 - 1
1.1 Objetivos y metodologías de trabajo	1 - 1
1.2 Resumen de los estudios correspondientes a la Primera Etapa	1 - 1
1.3 Resumen de los estudios correspondientes a la Segunda Etapa	1 - 1
1.4 Integrantes de los equipos de trabajo y cronograma	1 - 4
1.5 Tareas específicas realizadas	1 - 5
2. Análisis e interpretación del modelo geotermico	2 - 1
2.1 Geología	2 - 1
2.1.1 Geología regional	2 - 1
2.1.2 Geología del área estudiada	2 - 1
2.1.3 Características de las rocas constituyentes	2 - 2
2.2 Estructura geologica	2 - 3
2.2.1 Estructura regional	2 - 3
2.2.2 Estructura del área estudiada	2 - 3
2.3 Modelo térmico	2 - 5
2.3.1 Modelo térmico regional	2 - 5
2.3.2 Modelo térmico del área de estudio	2 - 5
2.4 Modelo de los flúidos geotérmicos	2 - 6
2.4.1 Esquema de la circulación de flúidos geotérmicos	2 - 6
2.4.2 Modelo del reservorio	2 - 7
3. Sumario del desarrollo geotérmico	3 - 1
3.1 Posibilidades de desarrollo y sector más promisorio	3 - 1
3.2 Contenido del futuro desarrollo geotérmico y planes para las tareas de la Tercera Etapa	3 - 1
3.2.1 Contenido de los estudios para la Tercera Etapa	3 - 1
3.2.2 Plan de tareas a realizar en la Tercera Etapa	3 - 2

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS ADJUNTOS

Figuras

- Figura 1-1 Mapa de ubicación del área de estudio
- 2-1 Esquema geológico regional del norte de Neuquén (según interpretación de imágenes satelitarias)
- 2-2 Colúmena geológica general
- 2-3 Mapa geológico
- 2-4 Perfiles geológicos
- 2-5 Mapa de la anomalía regional de Bouguer
- 2-6 Zonación de la distribución de la anomalía de Bouguer
- 2-7 Interpretación del perfil gravimétrico (A-A')
- 2-8 Mapa de interpretación gravimétrica
- 2-9 Mapa de interpretación geológico estructural integral
- 2-10 Interpretación integral de anomalías de temperatura y valores geoquímicos
- 2-11 Gráfico de relaciones iónicas de las aguas termales comparadas con aguas marinas
- 2-12 Zonación según tipos de fuentes y temperaturas
- 2-13 Interpretación integral del modelo térmico
- 2-14 Modelo del reservorio de fluidos geotérmicos (1)
- 2-15 Modelo del reservorio de fluidos geotérmicos (2)
- 3-1 Proyecto de las tareas a realizarse en la Tercera Etapa

Cuadros

- Cuadro 1-1 Esquema de flujo y contenido de las 3 etapas de estudio
- 1-2 Esquema operativo de las tareas de las 3 etapas
- 1-3 Tareas específicas realizadas
- 2-1 Resultados de las mediciones de las propiedades físicas de las rocas
- 2-2 Resultados de los estudios de las áreas de alteración
- 2-3 Composición química de las aguas termales y condensadas
- 2-4 Composición química de los vapores

INTRODUCCION

El presente informe constituye la síntesis de los puntos sobresalientes del Informe de avance integral elaborado al momento de la finalización de los estudios de la Segunda Etapa correspondiente al "PROYECTO DE DESARROLLO GEOTERMICO EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DEL NEUQUEN, REPUBLICA ARGENTINA".

SINTESIS

1. Este estudio tuvo sus comienzos en febrero de 1982, abarcando una superficie de 15.000 Km² en la región septentrional de la provincia del Neuquén (República Argentina), y teniendo como objeto la evaluación de su potencial geotérmico. Por intermedio de la ejecución de sucesivas investigaciones, divididas en 3 etapas, desde las más expeditivas y regionales hasta las de mayor detalle, se procura ir disminuyendo los blancos, para finalmente seleccionar el área más promisoría para la ubicación del reservorio geotérmico. El objetivo final es dilucidar, conocer y evaluar ese modelo de reservorio, y a la vez proponer la orientación y el proyecto necesarios para la exploración subsiguiente, incluyendo también la perforación de pozos de exploración.
2. Las tareas regionales correspondientes a la primera etapa se realizaron en los meses de febrero-marzo de 1982, y consistieron en la interpretación satelitaria, de fotografías aéreas y de corroboración de campo en un área de 15.000 Km² que incluye a los sectores con manifestaciones termales como los del cerro Domuyo, volcán Tromen y cerro Carrere. Una vez conocidas la geología y estructura regionales y las características de las manifestaciones termales, se seleccionó como área más promisoría para llevar a cabo las tareas de la Segunda Etapa, el sector de las manifestaciones del Domuyo, ubicado hacia el oeste del cerro homónimo, y que comprende 200 Km².
3. Las tareas de campo correspondientes a la Segunda Etapa fueron realizadas durante los meses de noviembre de 1982 a marzo de 1983, llevándose a cabo estudios geológicos, geoquímicos, hidrológicos y gravimétricos en un área de 200 Km² en los alrededores del cerro Domuyo. Como resultado, se confirmó la buena posibilidad del área y la necesidad de la realización de las tareas de la Tercera Etapa, seleccionándose para ello el sector más promisorio de 40 Km².
4. Dentro del área de Domuyo se ubican numerosas fuentes termales de altas temperaturas, con emisiones de aguas termales, vapores y gases, y se obtuvieron los siguientes conocimientos:
 - (1) Estructura geológica, basada en la estratigrafía, anomalías gravimétricas, y sistemas de fallas y fracturas.
 - (2) Modelo térmico y esquema de los fluidos geotérmicos basados en datos geoquímicos de suelo, aguas termales, vapores y gases, así como en datos hidrológicos y de temperaturas de suelo.
 - (3) Modelo del reservorio geotérmico, de acuerdo al análisis integral de los puntos precedentes.

5. Los estudios necesarios en la Tercera Etapa dentro del sector seleccionado de 40 Km² tendrán como objetivo el obtener información en profundidad para esclarecer con mayor detalle la estructura subterránea y el esquema de los flúidos geotérmicos. Para ello serán necesarios.

(1) Estudio en detalle de la estratigrafía, estructura del Basamento y de sistemas de fracturas, por medio de la sismica de reflexión.

(2) Estudio de las zonas de alteración y de baja resistividad en profundidad por medio de sondeos eléctricos verticales.

(3) Estudio de flujos calóricos subterráneos por medio de pozos de gradiente.

Del análisis e interpretación integral y final de sus resultados y de los de las etapas anteriores se esclarecerá nel modelo del reservorio geotérmico en este sector y se evaluará su potencial.

1. SUMARIO

1. SUMARIO

1.1 OBJETIVOS Y METODOLOGIAS DE TRABAJO

El presente estudio se inició en el Esquema de Trabajo que, de común acuerdo entre los Gobiernos de la República Argentina y del Japón, fue firmado el 25 de febrero de 1982 por las siguientes entidades:

Parte argentina: Presidencia de la Nación, Secretaría de Planeamiento,
Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Secretaría de Energía,
Subsecretaría de Combustibles.
Gobierno de la provincia del Neuquén.

Parte japonesa: Agencia de Cooperación Internacional del Japón.

Comenzando con el estudio regional de sus recursos geotérmicos en una superficie de 15.000 Km² en la región norte de la provincia del Neuquén, y culminando con estudios de detalle en áreas sucesivamente más pequeñas, en un programa de 3 etapas, los objetivos del estudio son la selección del área más promisoría para la localización del reservorio, el esclarecimiento y la evaluación del modelo de reservorio y la formulación de la orientación y el programa necesarios para la prospección futura, incluyendo perforaciones de pozos de exploración.

En la figura 1-1, cuadro 1-1 y cuadro 1-2 se esquematizan respectivamente la ubicación del área de estudio, esquema de flujo y esquema operativo de las tres etapas.

1.2 RESUMEN DE LOS ESTUDIOS CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA

Sus tareas fueron realizadas durante los meses de febrero y marzo de 1982. Sobre la base de interpretaciones satelitarias de 15.000 Km² en la región septentrional de la provincia del Neuquén, interpretaciones de fotografías aéreas de 5.000 Km², reconocimientos de campo, y los datos obtenidos en la bibliografía colectada, fue seleccionada el área de mayor interés de 200 Km² para ejecutar las tareas de la Segunda Etapa.

1.3 RESUMEN DE LOS ESTUDIOS CORRESPONDIENTES A LA SEGUNDA ETAPA

Con anterioridad a las tareas de campo se llevó a cabo la restitución topográfica del área de estudio (200 Km²), para realizar durante los meses de noviembre de 1982 a marzo de 1983 los siguientes estudios: relevamiento geológico, petrográfico y determinaciones de propiedades físicas, relevamiento gravimétrico, estudio de áreas de alteración, mediciones de temperaturas en suelo a 1 m de profundidad, relevamiento geoquímico, hidrológico, estudio de aguas termales y emanaciones de gases. Como resultado de la interpretación integral de sus resultados, se esclarecieron la sucesión geológica del área, su estructura, el modelo térmico, de la circulación de los fluidos y del reservorio. La singular importancia del conocimiento logrado en esta etapa permitió avalar la necesidad de ejecución de la Tercera Etapa, seleccionándose a tal efecto el sector más promisorio de 40 Km², y programándose las tareas concretas a realizar.

Cuadro 1-1. Esquema de flujo y contenido de las 3 etapas de estudio

Etapas	Área relevada	Metodología	Contenido de la investigación	Datos que se esperan
Primera Etapa	Primera Parte 15.000 Km ²	<p>Compilación y análisis bibliográfico Interpretación de imágenes satelitarias</p> <p style="text-align: center;">Selección 5.000 Km²</p>	<p>Geología, estructura, volcanes, distribución de manifestaciones geotérmicas, sistemas de fracturas, zonas de ciza, cuencas hídricas, grado de porosidades relativas, usos de terrenos, características de las manifestaciones, accesibilidad, topografía.</p>	<p>Background de la actividad magmática y geotérmica. Balance hídrico, modelo de reservorio, manifestaciones termales y volcanes Área más promisoría y adecuada para el desarrollo geotérmico Estimación del sistema geotérmico.</p>
Segunda Etapa	Segunda Parte 5.000 Km ²	<p>Interpretación fotogeológica Reconocimiento geológico (Reconocimiento del terreno y de las manifestaciones)</p> <p style="text-align: center;">Selección 200 Km²</p>	<p>Constitución geológica, estratigrafía, estructura, sistemas de fracturas, caudales hídricos superficiales, caudales de surgentes, estimación de infiltración y su esquema, distribución, tipos y extensión de zonas de alteración. Textura, composición, densidad, porosidad, alteración, edad, relación con temperatura, Hg, CO₂. Distribución de fuentes y fumarolas tendencias, caudales, composición, temperatura, pH, conductiv. eléctrica. Gravedad, estructura subterránea.</p>	<p>Extensión de los estratos, relaciones estratigráficas, espesores, estructuras macroscópicas de las rocas. Balance hídrico, esquema de suministro del agua como conductor geotérmico. Actividad geotérmica y magmática (fuente de calor) en el tiempo absoluto, historia térmica, sistema geotérmico, magnitud del reservorio, esquema de ascenso de los fluidos hidrotermales. Estructura del subsuelo profundo. Modelo del reservorio.</p>
Tercera Etapa	200 Km ²	<p>Restitución topográfica Relevamiento geológico, petrográfico, hidrográfico, de áreas de alteración. Estudio de rocas (densidad, porosidad, susceptibilidad magnética, microscopía, Rayos X, datación absoluta). Relevamiento geoquímico (temperatura a 1m prof., Hg en suelo, CO₂ gaseoso, agua termal, gases). Relevamiento gravimétrico</p> <p style="text-align: center;">Selección 40 Km²</p>	<p>Resistividad eléctrica, estructura profunda. Velocidad de propagación de ondas elásticas (ondas P) Gradiente térmico, distribución de temperaturas, resistividad eléctrica, potencial espontáneo. Distribución y variación espacial de densidad de rocas, porosidad, resistividad, susceptibilidad magnética, alteración, conductividad térmica, velocidades de propagación.</p>	<p>Zonas de baja resistividad eléctrica, extensión, profundidad, forma, estructura geotérmica. Estructura del subsuelo, capas de baja velocidad de propagación, su extensión, profundidad, forma, temperatura de fuentes calóricas, estimación de la dispersión calórica, temperaturas subterráneas, distribución y gradiente, sistema geotérmico, variación de texturas de las rocas. Modelo del reservorio (punto de vista de la ingeniería).</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>Evaluación del potencial geotérmico Proposición del programa de perforación depozos de exploración</p> </div>

Cuadro 1-2. Esquema operativo de las tareas de las 3 etapas

Etapa	Contenido	1982												1983												1984																																																																																																																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																												
	Año fiscal japonés	1981																																				1982																																				1983																																				1984																																			
	Tareas de campo (posible)	[Gantt chart showing task bars for field tasks across the years 1981-1984]																																																																																																																																															
Primera Etapa 15.000 Km ² Finalizado	Preparación previa Interpretac. satelitaria Fotointerpretación Compilación bibliográfica Reconocimiento geológico	[Gantt chart showing task bars for the first stage across the years 1981-1984]																																																																																																																																															
Segunda Etapa 200 Km ² Finalizado	Restitución topográfico Relevamiento geológico Estudios de rocas Relevamiento hidrológico Relevamiento geoquímico Relevamiento termas, fumarolas Relevamiento gravimétrico Elaboración Informe	[Gantt chart showing task bars for the second stage across the years 1981-1984]																																																																																																																																															
Tercera Etapa 40 Km ²	Relevamiento geoelectrico Relevamiento sísmico Pozos 100 m Sondeo de pozos 100 m Análisis testigos Elaboración Informe	[Gantt chart showing task bars for the third stage across the years 1981-1984]																																																																																																																																															
	Preparación previa Elevación Informe Discusión Informe de avance Discusión Informe Final Elevación Informe (JICA)	[Gantt chart showing task bars for final reporting across the years 1981-1984]																																																																																																																																															

1.4 INTEGRANTES DE LOS EQUIPOS DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

A continuación se mencionan los equipos de trabajo, de las partes argentina y japonesa, y el cronograma de las tareas realizadas.

(1) Primera Etapa

Parte Argentina			Parte Japonesa		
Tarea-Especialidad	Nombre	Organismo a que pertenece	Tarea-Especialidad	Nombre	Organismo a que pertenece
Responsable	Ing Alfredo Esteves	COPADE, prov. del Neuquén	Jefe de la Misión	Sr. Kaneo Kakegawa	JICA
Ingeniería química	Ing José L. Sierra	"	Geología	Sr. Fukio Kayukawa	"
			Sensore remotos, geología	Sr. Tokichiro Tani	"

Período de estadía de la Misión Japonesa en la Argentina:

25 de febrero de 1982 ~ 31 de marzo de 1982

Tareas de campo

8 de marzo de 1982 ~ 20 de marzo de 1982

(2) Segunda Etapa

Parte Argentina			Parte Japonesa		
Tarea-Especialidad	Nombre	Organismo a que pertenece	Tarea-Especialidad	Nombre	Organismo a que pertenece
Responsable	Ing. Alfredo Esteves	COPADE, prov. del Neuquén	Jefe de la Misión	Sr. Kaneo Kakegawa	JICA
Ingeniería química	Ing José L. Sierra	"	Geología Petrografía	Sr. Fukio Kayukawa	"
Geología	Lic. Mario Gings	Dir. Minería Prov del Neuquén	"	Sr. Osamu Miyaishi	"
"	Lic. Luis C. Mas	Adm. Gral. Aguas, prov. Neuquén	Geoquímica	Sr. Hisanao Koizumi	"
Geoquímica	Lic. Miriam Loewy	"	"	Sr. Kazuyasu Sugawara	"
Topografía	Sr. Juan Albornoz	Dir. Gral. Catastro, Neuquén	Gravimetría	Sr. Kenichi Nomura	"
"	Sr. Carlos Fernández	"	"	Sr. Shigeo Moribayashi	"
			"	Sr. Ikuo Takahashi	"

Período de estadía de la Misión Japonesa en la Argentina:

15 de noviembre de 1982 ~ 31 de marzo de 1983

Tareas de campo:

9 de diciembre de 1982 ~ 28 de febrero de 1983

Tareas de gabinete:

1 de abril de 1983 ~ 10 de agosto de 1983

1.5 TAREAS ESPECIFICAS REALIZADAS

En el cuadro 1-3 se sintetizan las tareas realizadas hasta el presente, en las Etapas Primera y Segunda.

Cuadro 1-3. Tareas específicas realizadas

Etapas	Contenido		Cantidad trabajo		
Primera Etapa	Interpretación imágenes satelitarias (escala 1:250.000)		15.000 Km ² (2 imágenes)		
	Interpretación geológica fotos aéreas (escala 1:50.000)		1.200 Km ² (150 fotos)		
	Reconocimiento Geológico	Reconoc. regional	Longitud relevada	500 Km	
Area Domuyo		Longitud relevada	150 Km		
Segunda Etapa	Confección mapa topográfico (escala 1:25.000)		200 Km ²		
	Relevamiento Geológico	Superficie relevada		200 Km ²	
		Longitud relevada		315 Km	
		Cantidad de muestras	Para cortes petrográficos		106 muestras
			Para datación radimétrica		8 "
			Para determinac. Rayos X		130 "
			Para medición propieds. físicas		60 "
	Medición de caudales		28 puntos		
	Relevamiento Geoquímico	Temperaturas lm profundidad	regional	460 "	
		Determ. CO ₂ gaseoso	de detalle	57 "	
		Determ. Hg en suelo	total	517 "	
		Muestras de aguas termales		18 muestras	
		Muestras de gases		9 "	
		Muestras de agua condensada		9 "	
	Relevamiento Gravimétrico	Topografía	Medición a nivel	85 puntos	
Distanciómetro y teodolito			137 "		
Altímetro			94 "		
Total			316 "		
Mediciones de gravedad		316 "			
Relevamiento regional	Mediciones efectuadas	31 "			
	Longitud relevada	1.050 Km			

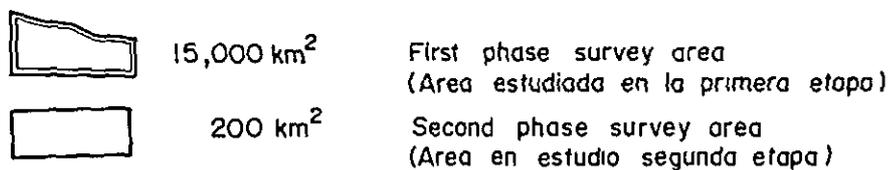
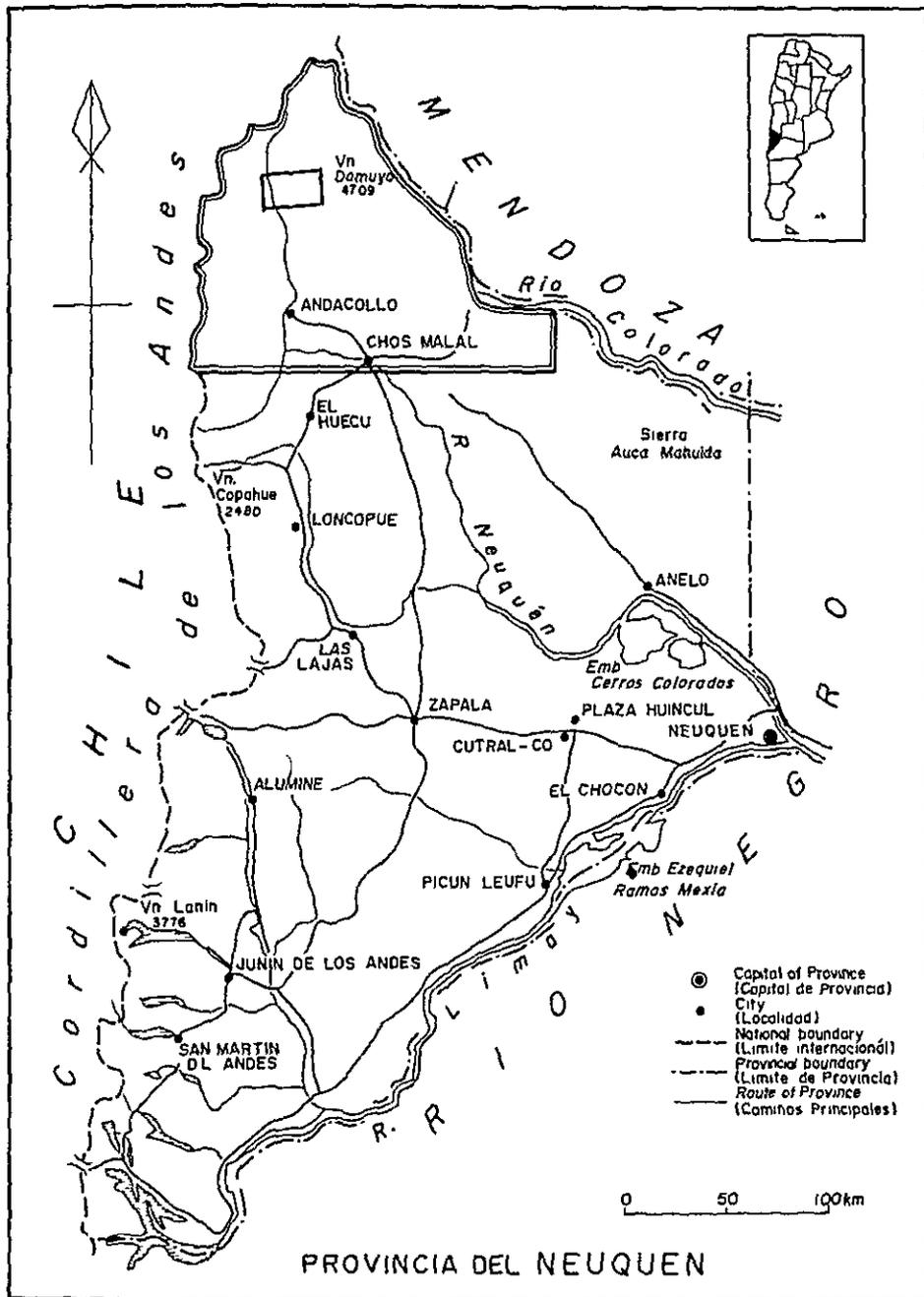


Fig.1-1 Location map of the survey areas

2. ANALISIS E INTERPRETACION DEL MODELO GEOTERMICO

2. ANALISIS E INTERPRETACION DEL MODELO GEOTERMICO

2.1 GEOLOGIA

2.1.1 Geología regional (Ver figura 2-1)

(1) Rocas del Basamento

Se constituyen de estratos del Grupo Choiyoi considerado permotriásico, atravesados por rocas plutónicas. Los componentes principales del Grupo Choiyoi son pelitas, con alternancia de areniscas, calizas, rocas volcánicas y piroclásticas, los cuales sufrieron el efecto de un metamorfismo regional y de metamorfismo de contacto en los alrededores de las plutonitas.

(2) Sucesión Mesozoica

Son rocas del Jurásico medio a superior que cubren en discordancia a los estratos del Grupo Choiyoi. Desde la base, se compone de vulcanitas, pelitas y areniscas de la Formación Chacay Melehue, calizas, areniscas y estratos yesíferos de la Formación Auquilco, rocas principalmente psamíticas de la Formación Tordillo, y rocas principalmente pelíticas de la Formación Mendoza.

(3) Sistema Terciario

Se halla integrado por andesitas, pórfiros andesíticos, dioritas y dioritas cuarcíferas de la Formación Pelán, vulcanitas y rocas piroclásticas andesíticas de la Formación Charilehue y el stock intrusivo del Granito Palao, todos del Mioceno.

El complejo Volcánico Domuyo se considera que se originó durante el Mioceno medio a Plioceno inferior. Sus facies extrusivas están compuestas por lavas riolíticas-dacíticas y tobas riolíticas, mientras la facies intrusiva la constituye el stock de pórfiro riolítico a granodiorítico ubicado en el centro del cerro Domuyo.

(4) Rocas volcánicas modernas

El vulcanismo moderno, desarrollado entre el Terciario alto y el Cuaternario constituye las Formaciones Sierra de Flores, Atruco, Ponchehue y Olletas, y consisten en lavas y rocas volcanoclásticas de composición basandesítica a dacítica. La actividad más reciente se halla representada por rocas ácidas riolíticas y dacíticas del Cerro Domo.

2.1.2 Geología del área estudiada (Ver figuras 2-2 y 2-3)

(1) Rocas del Basamento

El Basamento del área estudiada se halla constituido por las rocas metamorizadas del Grupo Choiyoi, y las Plutonitas Varvarco que las intruyen. Las rocas metamorizadas son esquistos cristalinos de origen psamo-pelíticos, con pequeños sectores hornfelizados de sedimentitas tobáceas, arenosas o pelíticas. Si bien las granodioritas anfibólico-biotíticas de

grano medio a grueso son las facies principales de las Plutonitas Varvarco, también existen granitos aplíticos.

(2) Sucesión Mesozoica

Cubre en discordancia a las rocas del Basamento, aflorando en la mitad occidental del área las formaciones Chacay Melehue, Auquilco y Tordillo. La Formación Chacay Melehue se constituye de lavas y sedimentitas volcánicas basálticas en la base y andesíticas hacia el techo, con 2 estratos de pelitas negras que portan ammonites indicadores del Bajociano. La Formación Auquilco es fundamentalmente yesífera, con estratos arenosos, pelíticos y calcáreos. La Formación Tordillo se compone de areniscas, lutitas, limonitas, tobas y calizas.

(3) Neógeno

Se compone de una sucesión mio-pliocena que cubre en discordancia a los elementos jurásicos, y se trata de lavas andesíticas y brechas tobáceas de la misma composición. Existen pequeños afloramientos de rocas intrusivas, y pórfiros granodioríticos de textura porfírica y holocristalina, que se consideran parte de los intrusivos ácidos del Complejo Volcánico Domuyo.

(4) Rocas volcánicas modernas

El vulcanismo moderno, desarrollado entre el Terciario alto y Cuartario, comprende básicamente a vulcanitas andesíticas en su parte inferior y a vulcanitas dacítico-riolíticas en su parte superior. Las primeras se distribuyen en el sector noroccidental y se distinguen en ellas tobas escoriáceas, tobas pumicíticas, brechas tobáceas, tobas soldadas y lavas. Las últimas afloran en el cerro Domo y sus alrededores, y son brechas tobáceas y lavas dacíticas y lavas riolíticas.

(5) Sedimento glacial y sedimentos Holocenos

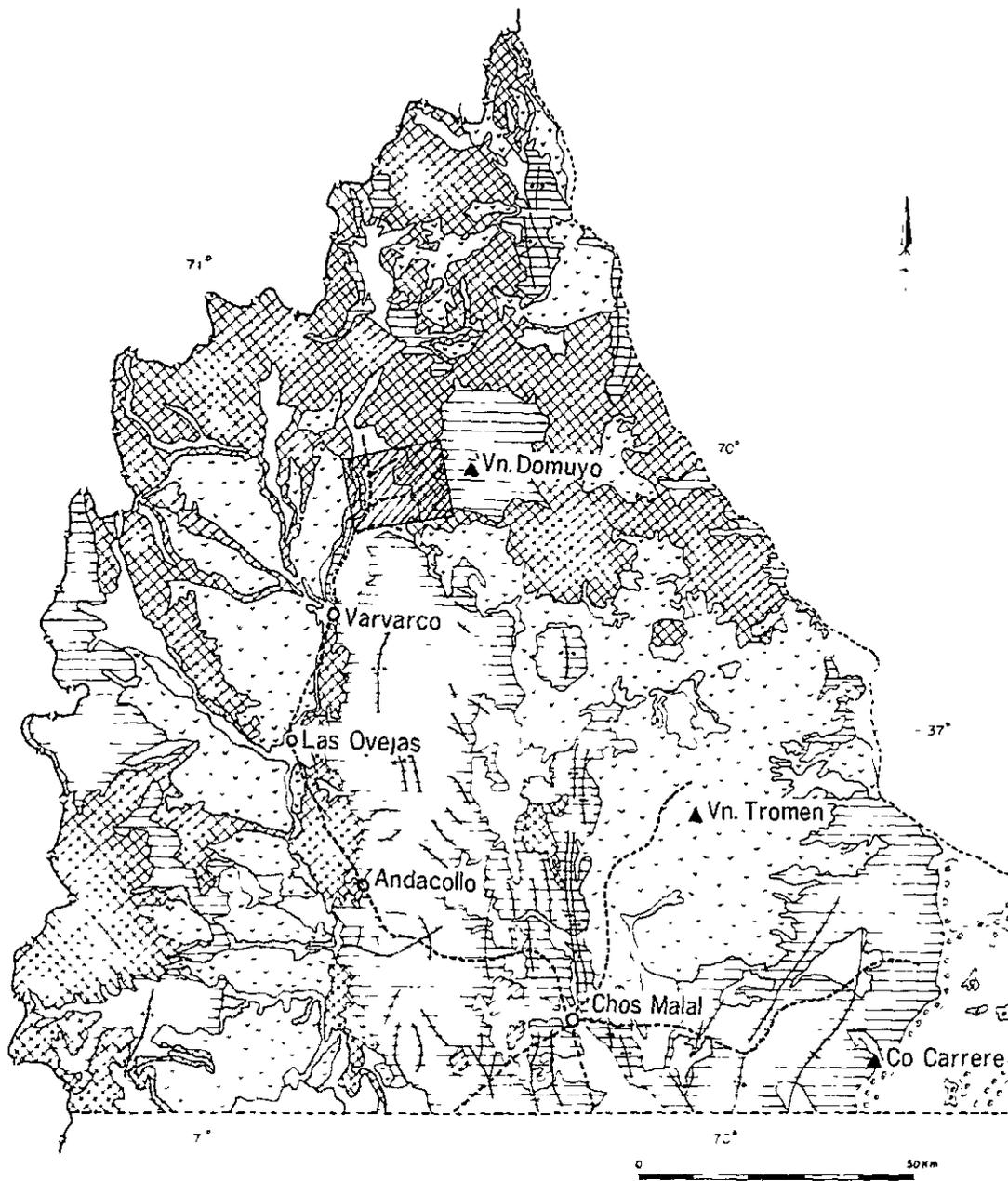
El sector sudoccidental del área estudiada presenta pequeños desarrollos de sedimentos glaciares, y a lo largo de los principales ríos hay acumulaciones fluviales.

2.1.3 Características de las rocas constituyentes

(1) Características de las rocas holocristalinas

Las granodioritas de las Plutonitas Varvarco, que configuran el Basamento del área estudiada, son anfibólico-biotíticas y presentan similar relación modal $Q - F.K. - Pl$, con valores de edades absolutas según K-Ar de 259 ± 13 m.a. (Pérmico superior) y 227 ± 16 m.a. (Triásico superior). Las otras rocas holocristalinas que afloran en el área, los pórfiros granodioríticos que se consideran correlacionables con la facies intrusiva del Complejo Volcánico Domuyo, presenta mayor variación modal $Q - F.K. - Pl$.

(2) Características de las rocas volcánicas modernas



REGEND

Quaternary		Alluvium		Folding axes
		Andesite, Basalt		Road
		Andesite, Basalt, Rhyolite		Selected area 200 km ²
Tertiary		Andesite (volcanics, pyroclastics)		Village
		Andesite, Dacite		
Pre-Tertiary		Basement		

Fig.2-1 Geological interpretation map of Landsat image

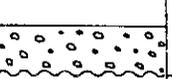
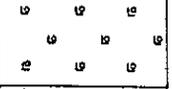
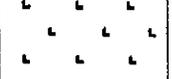
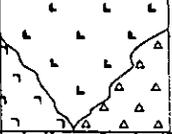
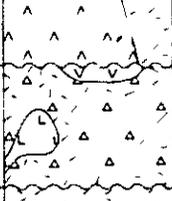
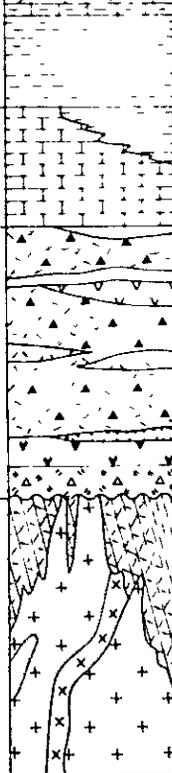
Age	Formation	Geological Column	Thickness	Lithology	Remarks
Quaternary				Sand, Gravel (Terrace) Glacial deposits	
			200 m 1200 m+	Rhyolite lava, Partially pumiceous Decite lava (including Perlitic layers) Dacitic tuff breccia	FT Age { 0.11 ± 0.02 0.29 ± 0.07 0.55 ± 0.10 Distribution Southern half of the survey area
Tertiary - Quaternary			200 m	Pumiceous tuff Andesitic volcanic breccia	FT Age 0.11 ± 0.03 Distribution
			1000 m	Andesite (dike) Welded tuff Andesitic tuff breccia (Scoria tuff) Andesite lava	Northern half of the survey area
Tertiary			100 m 500 m	Andesite lava Granodiorite - porphy (intrusive) Andesitic tuff breccia	Locality Co Domo and Los Tachos
Jurassic			100 m 450 m	Dacitic tuff, Sandy tuff (thin deds) Limestone, Calcareous siltstone Red ~ green sandstone, shale	Locality La Bramadora
			100 m 500 m	White mudstone, green sandstone Limestone Gypsum beds	Locality La Bramadora
			550 m 1000m+	Black mudstone Andesitic tuff breccia Black mudstone Andesite lava Andesitic lapilli tuff Red sandstone (thickness ~2cm) Basalt lava Basaltic lapilli tuff ~ andesitic tuff	Locality El Humazo La Bramadora Rincón de Las Papas
	Basement			Pelitic hornfels, Psammitic hornfels Basic hornfels (Partially sandy) Pelitic schist, Psammitic schist Granite, aplite Granodiorite (including xenoliths of silicified rock) Basalt (dyke)	K-Ar Age { 227 ± 16 259 ± 13 Locality El Humazo Rincón de Las Papas Locality Rio Varvorco A° Atreuco, A° Covunco A° Manchana Covunco

Fig.2-2 Geological columnar section of the survey area

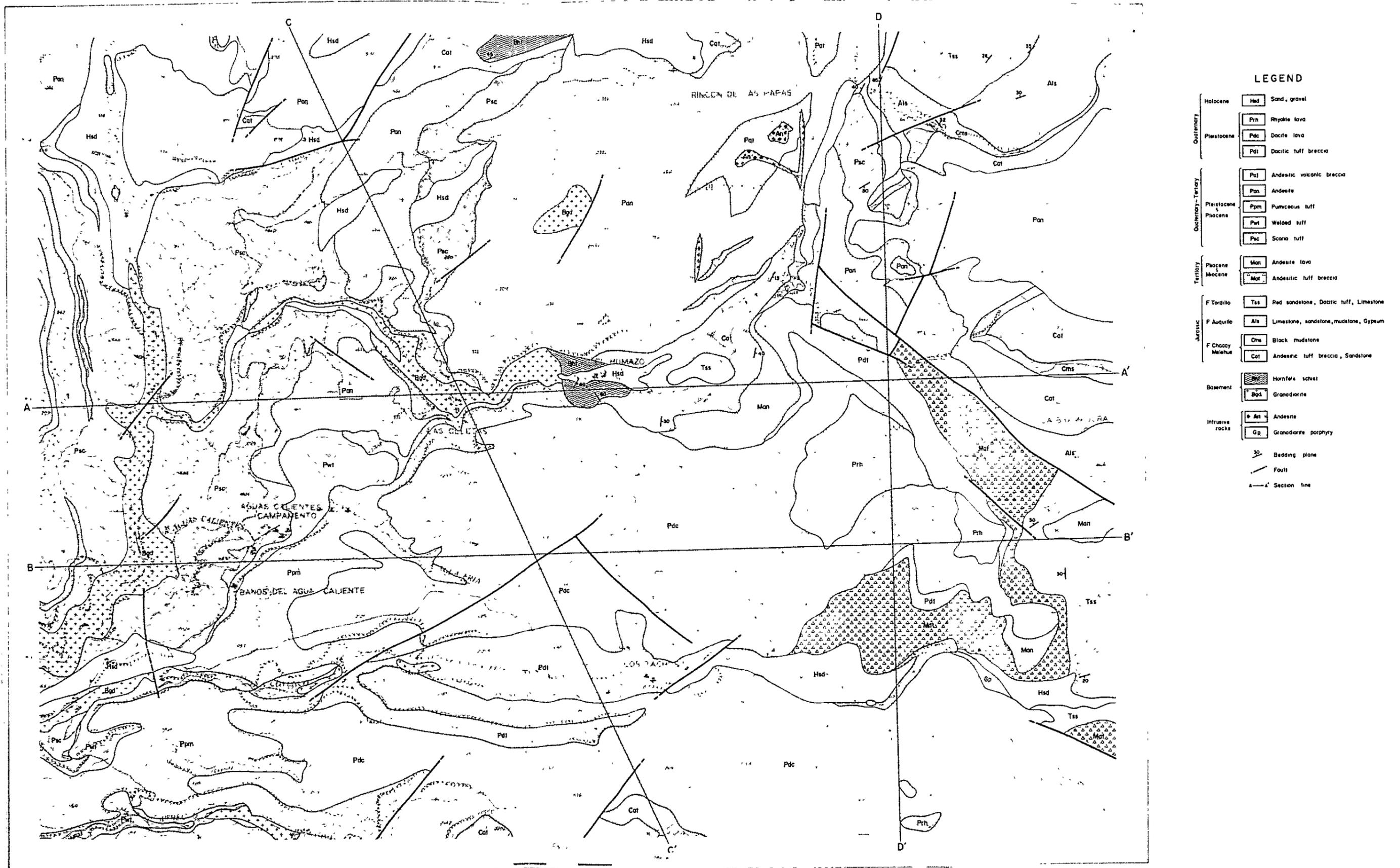


Fig.2-3 Geological map of the survey area

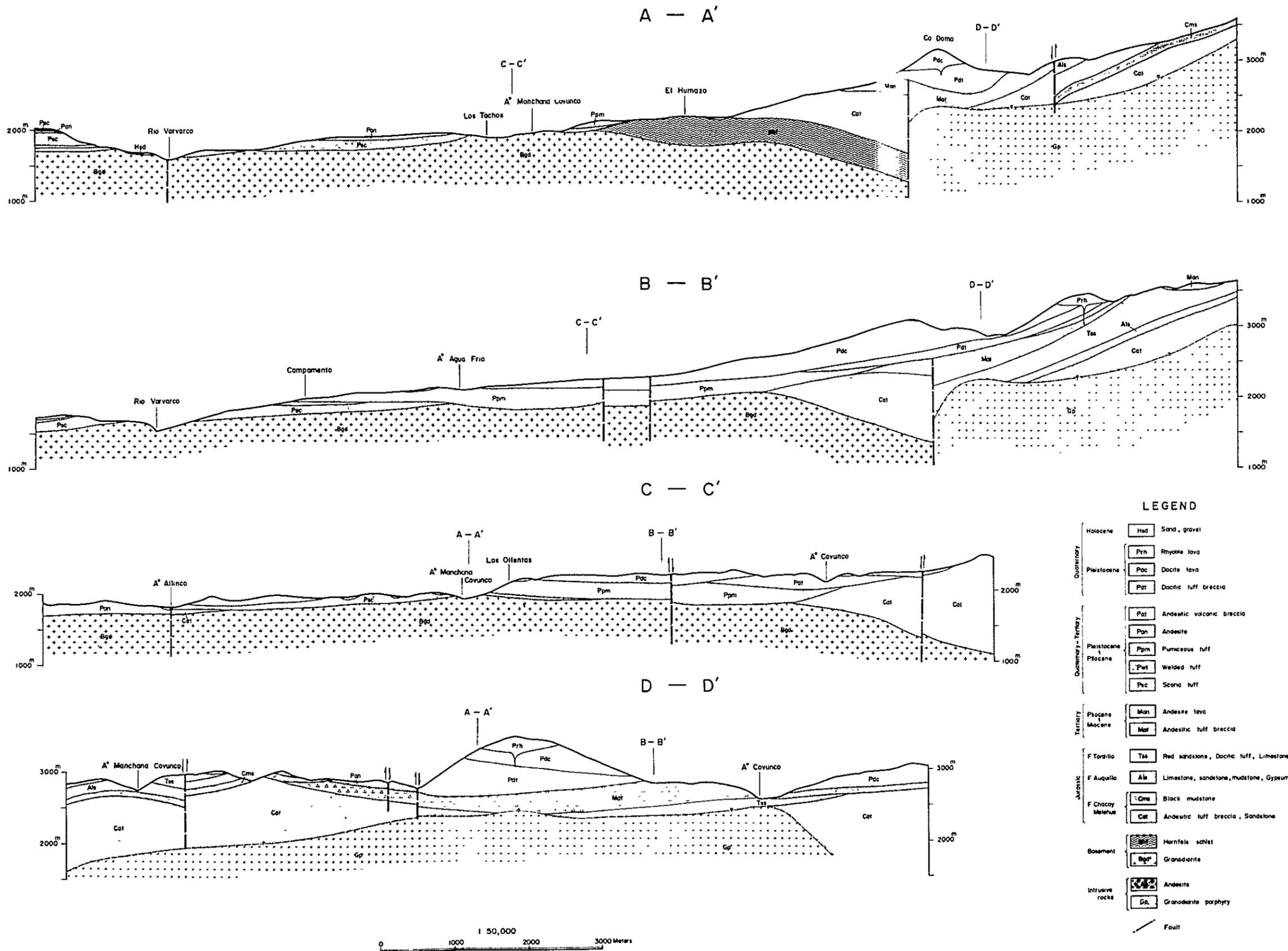


Fig.2-4 Geological cross-sections

Estas rocas constituyen una serie calcoalcalina de composición mesosilícica a ácida. La datación por fission track dio valores entre $0,55 \pm 10$ m.a. y $0,11 \pm 0,02$ m.a.; esto sumado al valor de $0,72 \pm 0,10$ m.a. obtenido en trabajos anteriores, confirma la edad Pleistocena inferior media a superior alta de esta actividad.

(3) Propiedades físicas de las rocas constituyentes

De acuerdo a las mediciones realizadas (ver cuadro 2-1 Resultados de las mediciones de propiedades físicas de las rocas), la densidad disminuye con la edad, desde las rocas del Basamento hasta las vulcanitas cuartarias, siendo las que arrojaron los valores menores las tobas escoriáceas o tobas pumicíticas. La porosidad efectiva muestra un comportamiento inverso al de la densidad, dando valores bajos las rocas del Basamento y del Mesozoico, mientras es alta en el caso de los materiales volcanoclásticos cuartarios. Los valores de susceptibilidad magnética y la resistividad muestran en general correspondencia con los tipos de rocas. En el caso de la conductividad térmica, si bien los estratos o cuerpos más inferiores son los que presentan mayor valor, para los estratos de la base de la Sucesión Mesozoica y el Basamento se obtuvieron valores bastante más altos que lo normal.

2.2 ESTRUCTURA GEOLOGICA

2.2.1 Estructura regional

(1) Anomalía regional de Bouguer y estructura regional

La estructura regional se caracteriza por un plegamiento de rumbo aproximado N-S, que hunde hacia el norte. De acuerdo al relevamiento gravimétrico regional, las anomalías positivas de Bouguer coinciden con los anticlinales donde afloran el Basamento y la Sucesión Mesozoica, mientras las anomalías negativas lo hacen con las estructuras sinclinales donde se distribuyen las rocas volcánicas cenozoicas, demostrando una tendencia a valores bajos hacia el norte (ver figura 2-5.).

(2) Estructura del área del Cerro Domuyo

En el área del Cerro Domuyo se desarrolla una estructura dómica, que conforma un anticlinal, cuyo eje es N-S. El Grupo Choiyoi y las formaciones mesozoicas constituyen el núcleo ascendido, y en su centro se hallan implantadas las rocas intrusivas del Complejo Volcánico Domuyo.

(3) Fallamientos

Son notables los del sistema N-S, paralelos a los plegamientos, y otros del sistema E-O, los cuales se hallan acompañados por otros menores de rumbos N-S y NE-SO

2.2.2 Estructura del área estudiada

(1) Estructura según la distribución geológica y propiedades físicas de las rocas

Los caracteres geológicos y las propiedades físicas de las rocas permiten dividir al

área estudiada en 2 sectores. En la mitad occidental el Basamento se halla a una profundidad relativamente escasa, con una extensa cubierta de vulcanitas cenozoicas, y se caracteriza por una distribución estratiforme de valores altos de densidad y bajos de porosidad efectiva en la parte inferior, y valores bajos de densidad y altos de porosidad efectiva en la superior.

Por otro lado, la mitad oriental se constituye de rocas mesozoicas y terciarias, con vulcanitas modernas que las cubren. Las propiedades físicas se distribuyen conformando un estrato inferior de densidad y porosidad efectiva medianas, y un estrato superior de baja densidad y alta porosidad efectiva, considerándose que el Basamento estaría ubicado a gran profundidad.

(2) Estructura según la anomalía de Bouguer

De acuerdo a la gravimetría, el área de estudio puede dividirse en 3 sectores: 1) el sector A, que ocupa la parte occidental y la anomalía de Bouguer presenta valores altos, 2) el sector C, que ocupa la parte oriental, y es de valores bajos, y 3) el sector B, transicional entre los 2 anteriores, con una configuración alargada en sentido N-S (figura 2-6.).

En el sector occidental se observa una buena correspondencia entre los valores altos de la gravedad y la estructura geológica en la que las rocas de Basamento de alta densidad se hallan a poca profundidad. Tampoco son contradictorios los valores transicionales de la anomalía de Bouguer del sector B con la distribución de los estratos mesozoicos de densidades medianas. En el sector C de gravedad baja, hacia el este del fallamiento que se infiere del lineamiento gravimétrico, no hay correspondencia en superficie entre los bajos valores de gravedad con la geología aflorante, debiendo pensarse en la existencia de un cuerpo o estratos de baja densidad con buena distribución tridimensional en el subsuelo. Se infiere que el elemento constituyente de esta anomalía negativa podría corresponder a la distribución de los pórfiros ácidos de densidad algo menor, de las facies intrusivas del Complejo Volcánico Domuyo, por debajo de los estratos mesozoicos.

(3) Configuración del Basamento según análisis gravimétrico

Siguiendo el análisis del perfil (ver figura 2-7 Interpretación del perfil gravimétrico A-A'), el Basamento presenta en el sector occidental A un techo plano, cuya profundidad se considera que no supera los 700 m; en cambio en el sector oriental C muestra una profundización abrupta, la cual al calcularse con una variación de densidad $\Delta\rho = 0,2 \text{ g/cm}^3$, llegaría a más de 6.000 m desde la superficie.

(4) Sistemas de fallamientos y fracturación

Dentro de los sistemas de fracturación del área estudiada, es característico el sistema N-S dado por fallamientos y lineamientos gravimétricos, sumándose a esto el sistema E-O que afecta a los cuerpos y estratos de posición inferior.

Aparte, se constataron los sistemas de fallamientos y lineamientos gravimétricos de rumbo NO-SE y NE-SO, o bien estructuras gravimétricas anticlinales y sinclinales de igual dirección, que tendrían sus orígenes en la topografía del Basamento (ver figura 2-8).

Cuadro 2-1 Resultados de las mediciones de las propiedades físicas

Rock facies	Geological unit		Density (g/cm ³)						Porosity (%)	
			Natural condition		Water saturated		Oven dry			
			R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u
Rhyolite	V	V-2	1.78	2.19	1.88	2.26	1.77	2.16	7.79	8.0
Dacite			2.25		2.01		2.21		7.42	
Dacitic tuff breccia (1)			2.09		2.02		2.04		16.58	
Dacitic tuff breccia (2)			2.17		2.05		2.19		7.58	
Pumiceous tuff		V-1	1.40	2.22	1.75	2.32	1.38	2.18	32.18	
Welded tuff			2.54		2.35		2.53		3.10	
Andesitic tuff breccia			2.00		2.17		1.92		25.07	
Scoriaceous tuff			1.91		2.05		1.86		21.24	
Andesite			2.48		2.31		2.48		5.86	
Andesite			2.47		2.35		2.39		2.41	
Andesitic tuff breccia	2.13	2.20	2.07	16.04						
Sandstone, Mudstone	J	J-3	2.54	2.42	2.56	2.15	2.53	1.99	3.03	7.32
Tuff			1.68		2.03		1.67		1.63	
Sandstone		J-2	2.41		2.47	2.40	2.51	6.84		
Limestone			2.62		2.52	2.62		2.22		
Sandstone, Mudstone (Basalt)		J-1	2.64		2.65	2.63	2.51	1.98		
Andesite, Basalt			2.52		2.54	2.56		2.51	5.46	
Pyroclastic rocks			2.51		2.54	2.45		4.91		
Granodiorite		B	2.66		2.66	2.67	2.67	2.66	2.66	
Metamorphosed rocks	2.69		2.70	2.69		0.63				
Aplite	2.61		2.61	2.60		1.19				
Andesite dyke	D	2.46	2.52	2.49	2.54	2.44	2.52	5.72	3	
Basalt dyke		2.66		2.67		2.66		1.27		
Granodiorite porphyry		2.46		2.43		2.45		3.21		

V: Quaternary-Tertiary

V-2: Pleistocene, Volcanics of Co. Demo

V-1: Pleistocene-Pliocene,
Acidic Pyroclastics
Sierra de Flores Formation
Atreuce Formation

T: Tertiary, Pliocene-Miocene,

J: Jurassic, Dogger-Malm,

J-3: Tordillo Formation

J-2: Aquilco Formation

J-1: Chacay Melehue Formation

Cuadro 2-1 Resultados de las mediciones de las propiedades físicas de las rocas

Rock facies	Geological unit		Density (g/cm ³)						Porosity		Susceptibility		Resistivity				Thermal conductivity	
			Natural condition		Water saturated		Oven dry		%		(emu/cm ³) x 10 ⁻⁶		FE (%)		ρ (Ω-m)		(cal/cm.sec.°C) x 10 ⁻³	
			R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u
Rhyolite	V	V-2	1.78	2.19	1.85	2.26	1.77	2.16	7.79	8.00	184	298	1.6	1.9	2854	1861	1.687	2.708
Dacite			2.25		2.31		2.21		7.42		360		2.2		1097		2.633	
Dacitic tuff breccia (1)			2.09		2.21		2.04		16.58		-		-		-			
Dacitic tuff breccia (2)			2.17		2.25		2.19		7.58		250		1.7		2728		3.541	
Pumiceous tuff		V-1	1.40	2.22	1.70	2.32	1.38	2.18	32.18	13.33	1170	1290	-	1.4	-	465	0.582	2.793
Welded tuff			2.54		2.56		2.53		3.10		1185		1.3		537		3.576	
Andesitic tuff breccia			2.00		2.17		1.92		25.07		1119		1.3		62		2.529	
Scoriaceous tuff			1.91		2.06		1.86		21.24		812		1.7		95		1.709	
Andesite			2.48		2.52		2.48		5.86		1635		1.2		712		3.542	
Andesite	T	2.47	2.35	2.50	2.41	2.43	2.22	4.48	11.08	1503	855	1.7	1.6	3219	1929	3.944	4.335	
Andesitic tuff breccia		2.13		2.23		2.07		16.04		370		1.5		961		4.725		
Sandstone, Mudstone	J	J-3	2.54	2.03	2.56	2.15	2.53	1.99	3.03	15.54	62	112	1.5	1.6	335	174	5.522	3.609
Tuff			1.68		1.87		1.63		23.88		145		1.6		67		2.333	
Sandstone		J-2	2.41	2.52	2.47	2.56	2.40	2.51	6.84	4.53	27	205	-	1.8	-	1881	-	5.302
Limestone			2.62		2.64		2.62		2.37		2.22		7.32		-		-	
Sandstone, Mudstone (Basalt)		J-1	2.64	2.54	2.65	2.56	2.63	2.51	1.98	4.36	68	277	1.7	1.7	468	2999	6.100	6.088
Andesite, Basalt			2.52		2.56		2.51		5.46		602		1.6		582		5.463	
Pyroclastic rocks			2.51		2.54		2.45		4.91		138		1.8		6078		6.552	
Granodiorite	B	2.66	2.66	2.67	2.67	2.66	2.66	1.06	0.94	187	116	1.9	2.0	1853	4858	7.539	9.057	
Metamorphosed rocks		2.69		2.70		2.69		0.63		41		1.9		11243		12.577		
Aplite		2.61		2.61		2.60		1.19		52		2.5		2795		7.575		
Andesite dyke	D	2.46	2.52	2.49	2.54	2.44	2.52	5.72	3.73	-	429	-	2.1	-	5550	-	7.277	
Basalt dyke		2.66		2.67		2.66		1.27		55		1.3		9911		9.457		
Granodiorite porhyry		2.46		2.48		2.45		3.21		803		2.8		1189		5.098		

V: Quaternary-Tertiary

V-2: Pleistocene, Volcanics of Co. Demo

V-1: Pleistocene-Pliocene,
Acidic Pyroclastics
Sierra de Flores Formation
Atreuce Formation

T: Tertiary, Pliocene-Miocene,

J: Jurassic, Dogger-Malm,

J-3: Tordillo Formation

J-2: Auquilco Formation

J-1: Chacay Melehue Formation

B : Basement

D : Dike Rock, etc.

R.f: Rock facies

G.u: Geological unit

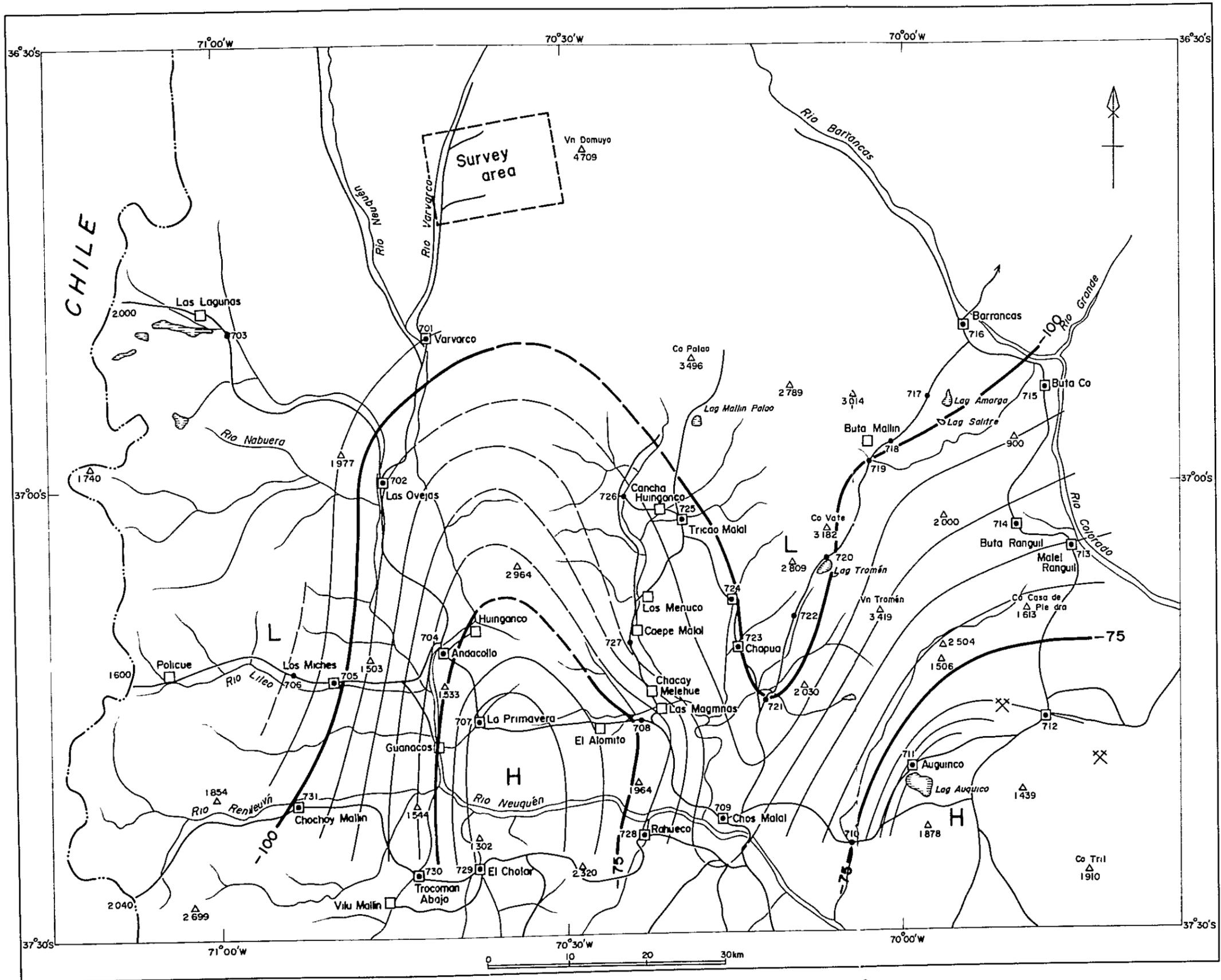


Fig.2-5 Regional Bouguer anomaly map ($\rho = 2.30 \text{ g/cm}^3$)

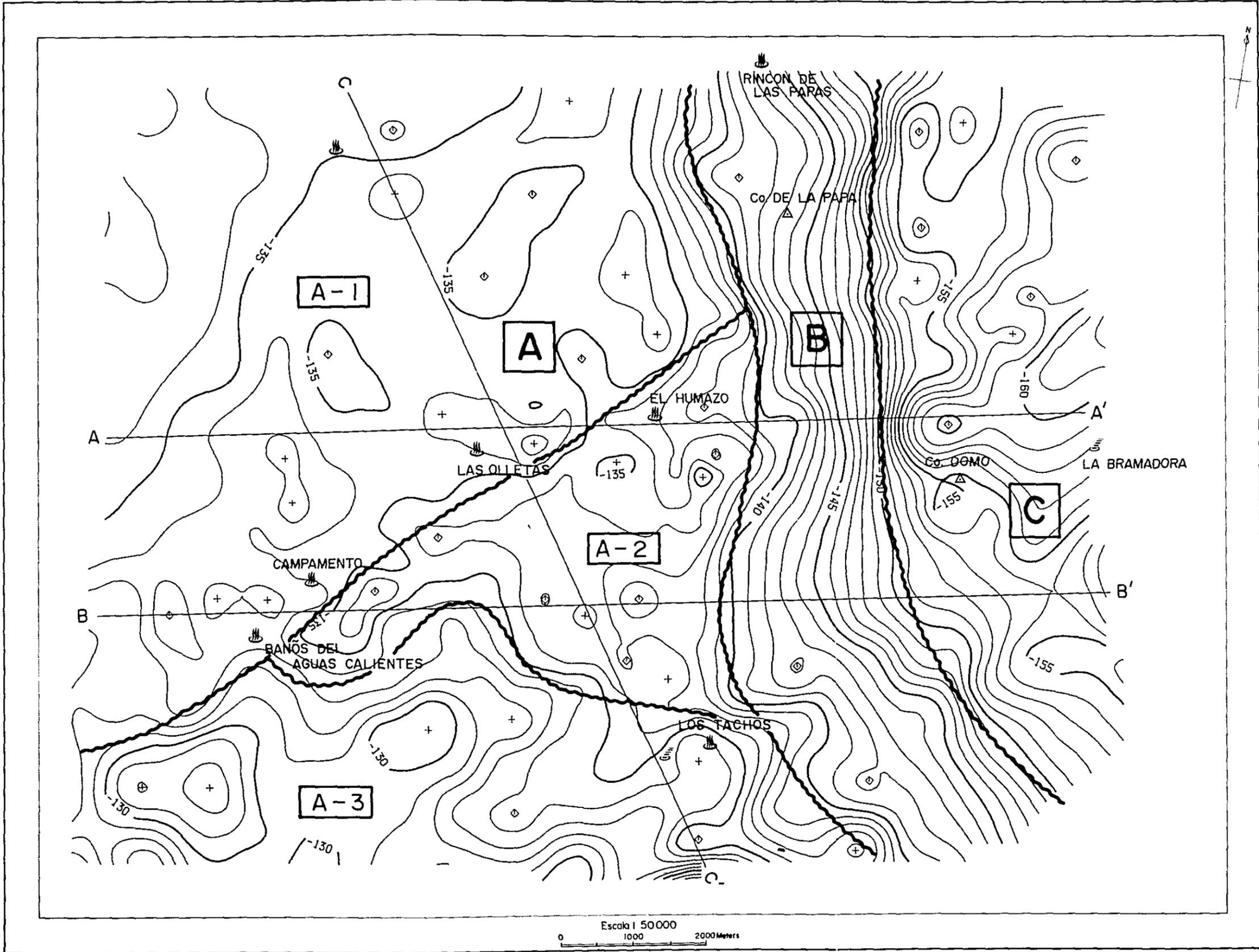


Fig.2-6 Zoning of Bouguer anomaly map

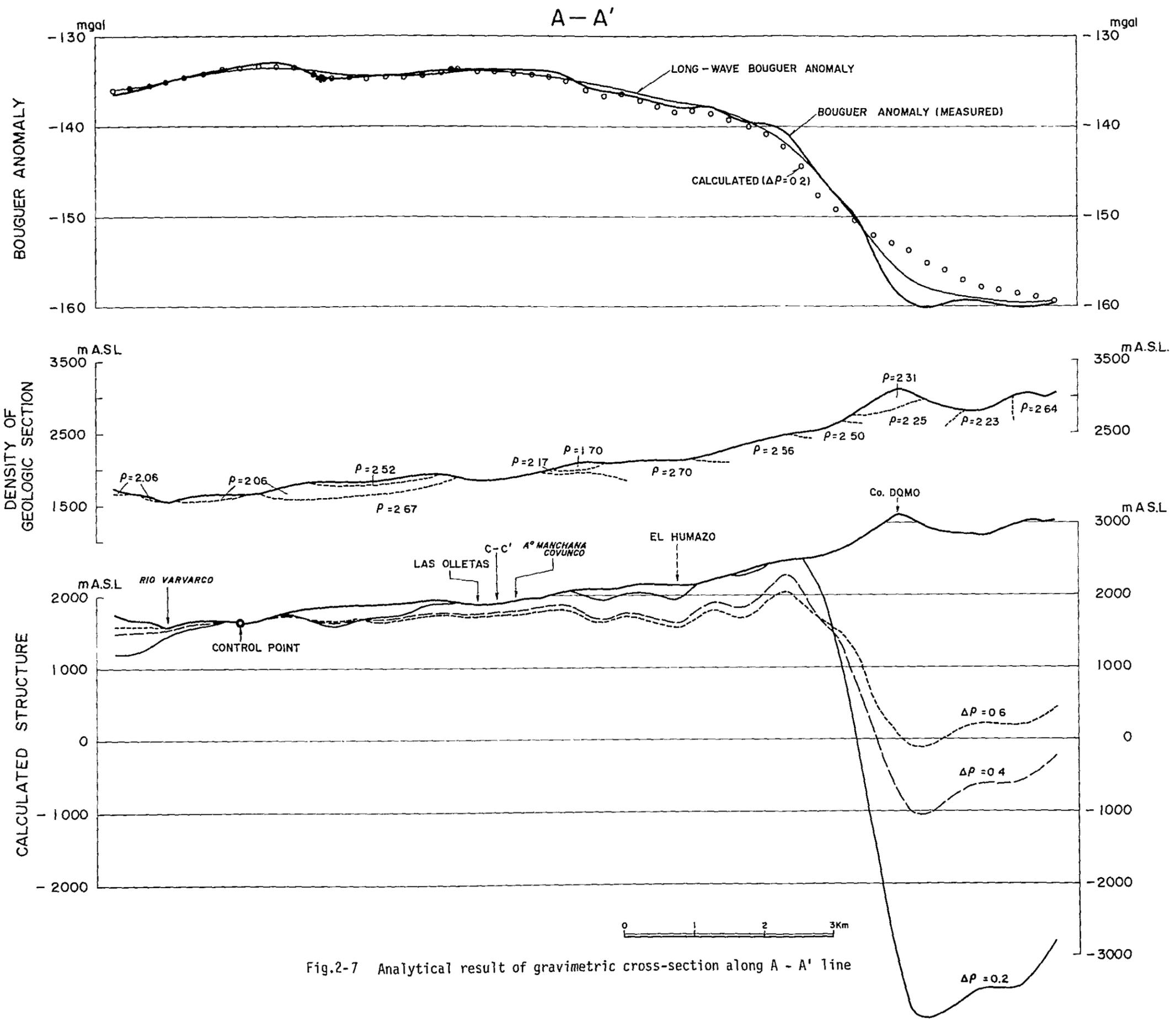


Fig.2-7 Analytical result of gravimetric cross-section along A - A' line

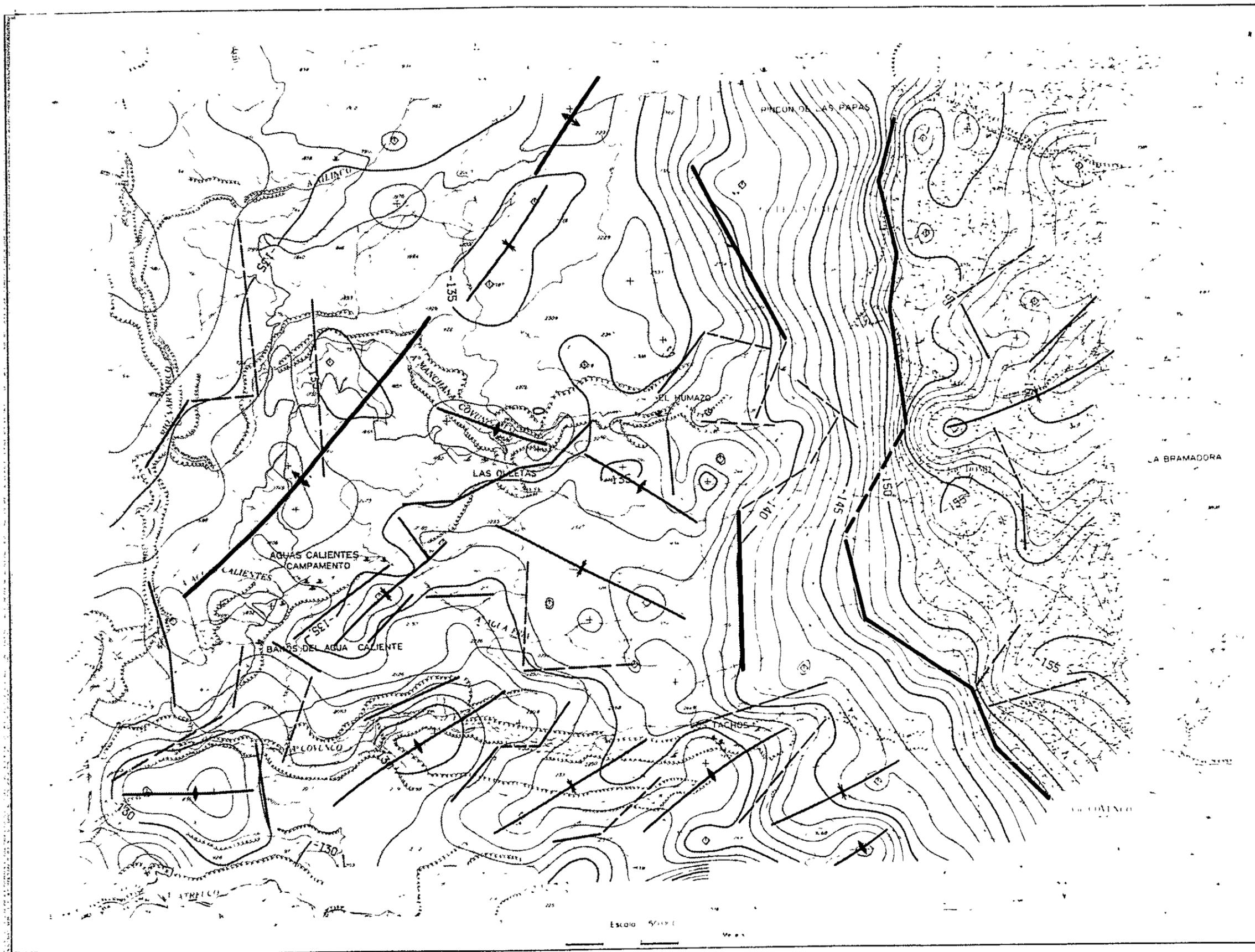


Fig.2-8 Gravimetric interpretation map

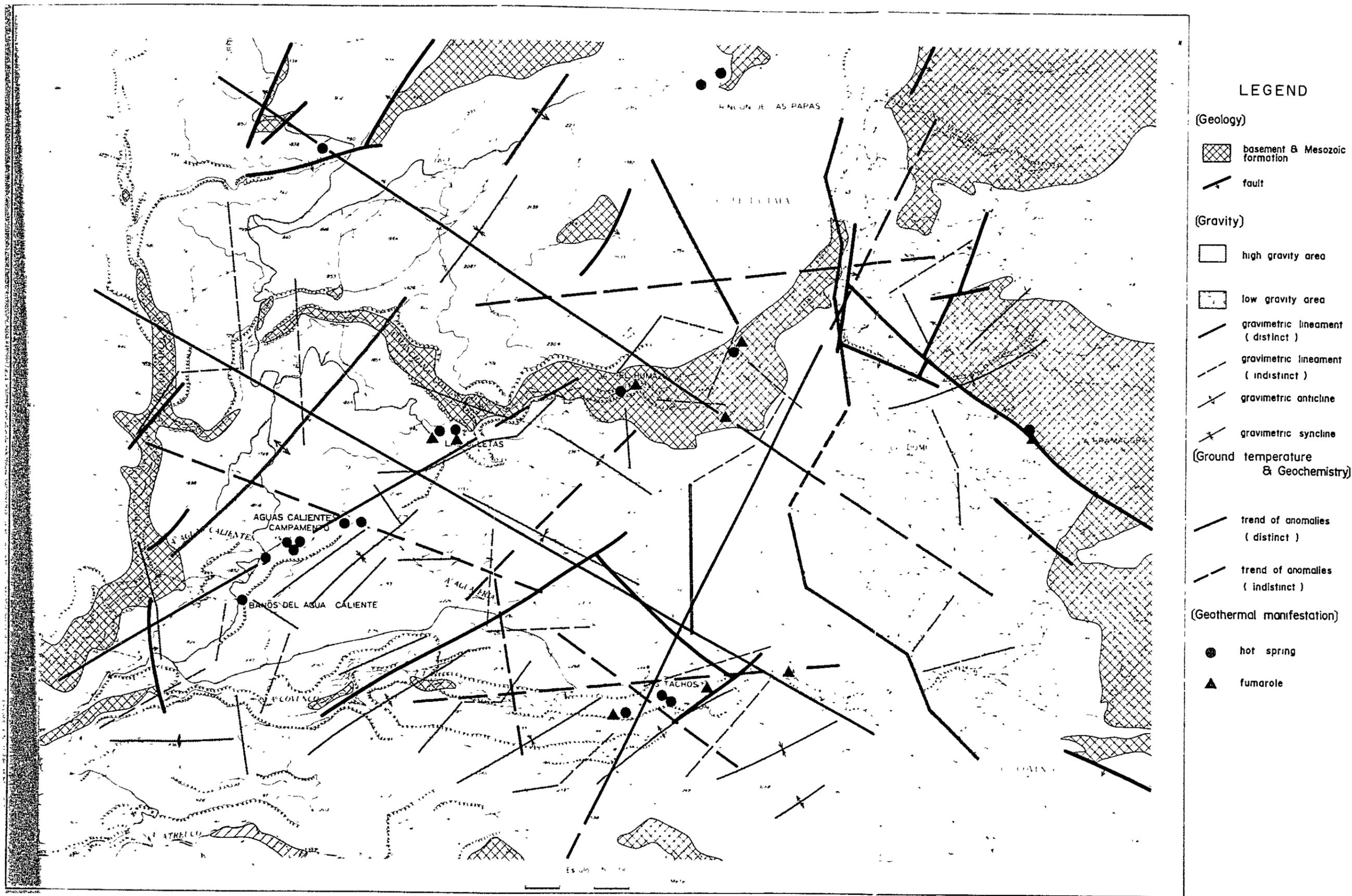


Fig.2-9 Synthetic interpretation map of geologic structure

De acuerdo a las anomalías de temperaturas a 1 m de profundidad, y las geoquímicas de Hg y CO₂, también se constató la existencia de sistemas NE-SO en los sectores central y oriental, mientras en la occidental es conspicuo el sistema NO-SE, aparte de otros sistemas. También se verificó que las manifestaciones de aguas termales y fumarólicas están controladas estructuralmente por estos sistemas (ver figura 2-9).

2.3 MODELO TERMICO

2.3.1 Modelo térmico regional

(1) Distribución regional de volcanes

Dentro del sistema montañoso en el cual la Cordillera del Viento ocupa una buena parte, se ubican volcanes como el Domuyo, Cerro La Cruzada, Tromen y cerro Carrere, en dirección NO-SE. Ellos son producto de la actividad volcánica registrada entre los finales del Terciario y el Cuartario, y que se implantó sobre un Basamento paleozoico y mesozoico.

(2) Manifestaciones térmicas regionales

Si bien a 4 Km al norte del cerro Domuyo se ubican las termas de El Turbio, las manifestaciones más importantes se hallan hacia el SO y O de este cerro

Estas manifestaciones comprenden fuentes de aguas termales y emanaciones fumarólicas, y se localizan en Rincón de las Papas, Arroyo Ailenco, La Bramadora, El Humazo, Las Olletas, Arroyo de Aguas Calientes, Baños de Aguas Calientes y Los Tachos.

En los alrededores del volcán Tromen y Cerro Carrere, solamente se observaron áreas con alteración o fuentes de aguas termales de baja temperatura.

2.3.2 Modelo térmico del área de estudio

(1) Actividad volcánica como fuente calórica

Como fuente calórica que origina los fenómenos geotérmicos en esta área se piensa en la cámara magmática que habría originado a las vulcanitas modernas hace 700.000 ~ 100.000 años durante el Pleistoceno en los alrededores del cerro Domo, cuya extensión se considera se ubicaría hacia las partes profundas de los alrededores de La Bramadora, al oriente del área estudiada.

(2) Areas de alteración

De acuerdo a la observación realizada en el área de estudio, las alteraciones hidro-termales se distribuyen de la siguiente forma en el sector de La Bramadora y sus alrededores se desarrolla una alteración ácida y de mediana a alta temperatura (alunita-caolinita), en forma periférica una alteración ácida y de baja a mediana temperatura (caolinita), y más externamente una alteración mesosilícica y alcalina (montmorillonita) y ácida y de baja temperatura (cristobalita). El límite entre las áreas de caolinita y montmorillonita-cristobalita se acerca al límite entre el sector con manifestaciones de mezcla agua-vapor que se desarrolla en forma de medio domo desde el borde occidental de Los Tachos hasta la parte occidental

de El Humazo, y el sector donde las manifestaciones son agua dominantes. Hacia el oeste del Arroyo Ailenco se observa una alteración de baja temperatura con ópalo.

(3) Medición de temperaturas a 1 m de profundidad y análisis geoquímicos

Las fuertes anomalías térmicas a 1m de profundidad y las geoquímicas de Hg y CO₂ coinciden casi completamente en el sector centro-oriental, indicando allí una gran actividad geotérmica.

Por otro lado, a medida que se va hacia el centro-oeste, se observa una distribución aislada de anomalías de valores más bajos, correspondiendo a una menor actividad termal. Hacia el sector septentrional no existen distribuciones anómalas (ver figura 2-10).

2.4 MODELO DE LOS FLUIDOS GEOTERMICOS

2.4.1 Esquema de la circulación de fluidos geotérmicos

(1) Fuentes termales

De acuerdo a los caracteres y temperaturas geoquímicas de cada manifestación, se dividen en (ver cuadros 2-3, 2-4, figuras 2-11, 2-12):

(a) La Bramadora (sector centro oriental): Es sulfatada, vapor dominante, con emanaciones de gases de origen volcánico, ricos en Ca⁺⁺ y SO₄⁼ y relación SO₄⁼ / Cl⁻ > 1. De acuerdo a la composición de los gases, se puede ver cualitativamente que su temperatura es alta.

(b) Gran parte de El Humazo y Los Tachos (sector central): Es una manifestación de mezcla agua-vapor, clorurada sódica, rica en Na⁺ y Cl⁻, con más K⁺ relativo al Ca⁺⁺, cuya temperatura geoquímica es de 214°C ~ 223°C.

(c) Parte occidental de Los Tachos, Las Olletas, Arroyo de Aguas Calientes y Baños de Aguas Calientes: Es una manifestación agua dominante, clorurada sódica, rica en Na⁺ y Cl⁻, con menos K⁺ relativo al Ca⁺⁺, con casi nula emanación de vapor. Su temperatura geoquímica indica de 166°C a 188°C.

(d) AC-2 en Arroyo de Aguas Calientes: Manifestación simple, en donde las aguas termales están muy mezcladas con agua meteórica.

(e) Rincón de las Papas (sector nororiental) y Arroyo Ailenco (sector noroccidental): Es una manifestación agua dominante sin emanación de vapores, bicarbonatada, rica en Ca⁺⁺ y HCO₃⁻. Su temperatura geoquímica es de 135°C ~ 174°C.

(2) Relación entre el modelo térmico y de fluidos geotérmicos

El modelo térmico resultante según las clasificaciones de las áreas de alteración, de

las anomalías obtenidas por la medición de temperaturas a 1 m de profundidad y los análisis geoquímicos de Hg y CO₂, tiene correspondencia tridimensional con el modelo térmico y de fluidos inferido de acuerdo a la zonación de las fuentes termales que representan en superficie a los fenómenos en profundidad.

Esto se traduce en una cámara magmática que se supone ubicada en la profundidad de los alrededores de La Bramadora, en la parte oriental del área estudiada, a partir de la cual tanto hacia el oeste como hacia arriba se observa una paulatina merma del suministro de los fluidos termales, conformando una estructura de medio domo cuyo eje E-O buza hacia el oeste (ver figura 2-13).

(3) Formación de aguas profundas y reservorio de fluidos

El agua de origen profundo, que da lugar luego al agua termal, se forma por el descenso lento y profundo de las aguas subterráneas meteóricas, las cuales son calentadas por el efecto de la conductividad térmica y el transporte calórico de los vapores y gases desde la fuente de calor, reaccionando con las rocas de caja e incorporando iones. Se considera que estas aguas de origen profundo junto con gases y vapores volcánicos constituyen reservorios de 200 ~ 300°C a profundidades de 2 ~ 3 Km

(4) Mecanismo de circulación de los fluidos termales

Los fluidos compuestos de aguas termales, gases y vapores de origen profundo ascienden a través de los sistemas de grietas desarrollados hasta esos reservorios profundos. Al alcanzar los niveles de los acuíferos artesianos se mezclan en distintas proporciones con estas aguas y conforman un reservorio poco profundo de 100° ~ 200°C. En caso de que la proporción mezclada sea escasa, y la cantidad relativa de los fluidos de alta temperatura sea grande, se constituye un sistema vapor dominante con emisiones fumarólicas con gases volcánicos. A medida que se hace mayor la participación del agua poco profunda, se va pasando sucesivamente al tipo de mezcla agua-vapor a agua dominante sin participación de vapor. Estos fluidos secundarios de los reservorios poco profundos continúan su ascenso, y luego de mezclarse con las aguas freáticas (de origen meteórico o de cursos superficiales) sufren disminuciones de temperaturas y alcanzan la superficie junto con los gases y vapores, en forma de fuentes termales.

(5) Modelo geotérmico

En las figuras 2-14 y 2-15 se graficaron los modelos descriptos anteriormente, a partir del suministro de calor desde su fuente, la formación de los fluidos profundos y su ascenso, así como la clasificación según temperatura y estado de los fluidos y las manifestaciones en superficie.

2.4.2 Modelo del reservorio

(1) Modelo del reservorio de los fluidos

Es difícil pensar en un reservorio a una profundidad de 2 ~ 3 Km, cuya forma posea

un mayor desarrollo planar. Más bien debería inferirse un modelo que siga las diaclasas, grietas o sus intersecciones dentro de rocas como las basamentales, por lo tanto con una forma más tabular o en pipe, cuya dimensión mayor esté en la vertical.

(2) El reservorio según la estratigrafía

De acuerdo a la estratigrafía del área estudiada, la existencia de rocas volcánicas cuaternarias, terciarias o mesozoicas, alternadas con lavas impermeables, permite pensar en la constitución de reservorios poco profundos que presenten un cierto grado de desarrollo planar.

(3) El reservorio según los sistemas de fracturas

Las manifestaciones superficiales se hallan controladas por las fallas, lineamientos gravimétricos o estructuras inferibles de las anomalías termométricas y geoquímicas y se ubican con preferencia en las intersecciones de 2 o 3 sistemas de fracturas.

Este hecho apoya la posibilidad de existencia de reservorios tabulares, de formas de pipe o bolsones con eje mayor vertical. Por lo tanto, los lugares más favorables para la conformación de un reservorio poco profundo serían los sectores donde coincidan con los ubicados dentro de los estratos y que posean cierta extensión planar, como se dijera en el punto anterior.

Cuadro 2-2. Resultados de los estudios de las áreas de alteración

Denominación	Tipo de alteración	Magnitud	Minerales de alteración	Geología del "Basamento"	Control estructural
Ricón de las Papas	Precipitados químicos	Estrechamente ligada a la fuente termal (30 m X 30 m)	(caolinita)	Piroclásticas de F Chacay Melehue	Contacto entre F. Chacay Melehue y andesitas modernas
Arroyo Aillinco	Decoloración blancoaman llienta	Zona de 700 m X 100 m a lo largo del Arroyo Aillinco	Montmorillonita (caolinita, halloysita)	Andesita cuartaria	Fallamiento de rumbo ENE
La Bramadora	Alteración argílica	Solamente alrededor de la fuente de vapor (20 m X 20 m)	Caolinita (montmorill.)	Piroclástica riódacítica cuartaria	Fallamiento de rumbo ONO
	Aguas arriba	Solamente alrededor de fuente de vapor. Hay decolorac de rodados	Montmorillonita (cristobalita)	Andesita cuartaria	Zona de contacto entre F. Chacay Melehue y vulcanitas modernas
El Humazo	Medio faldeo	" (menor que 200 m X 50 m)	Caolinita (montmorill)	Riódacita cuartaria	
	Aguas abajo	Espesor capa precipitados > 50 m, con rodados con argiliz. verde	(feld. potás ?)	F Chacay Melehue	Contacto entre granodiorita y andesita moderna
Las Oiletas	Precipitados	Area de 500 m X 200 m	(cristobalita?)	Granodiorita	Diaclasamiento en toba escoriácea
	Decoloración	Solamente alrededor de precipitados			
Arroyo Aguas Calientes	Precipitados químicos	Alrededor de la fuente, a lo largo del Arroyo Aguas Calientes (1.500 m X 100 m)	-	Andesita cuartaria, toba escoriácea	"
Arroyo Baños de Aguas Calientes	Precipitados químicos	Pequeños sectores puntuales a lo largo del Ao Baños de Aguas Calientes (< 30 m X 30 m)	-	Andesita cuartaria	
	Los Tachos	Aguas arriba	En forma intermitente a lo largo de Ao Covunco (100 m X 200 m)	Cristobalita Caolinita Montmorillonita	Riódacita cuartaria
Medio faldeo		"	Piroclástica riódacítica cuart.		
Aguas abajo		"	Riódacita cuartaria		

NOTA: "Basamento" indica aquí a la roca que aparece por debajo del derrubio

Cuadro 2-3 Composicion quimica de las aguas termales y condensadas

No.	Sample No.	T _{°C}	pH	Li mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Al mg/l	F mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HAsO ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	SiO ₂ mg/l	HBO ₂ mg/l	B mg/l	NH ₃ mg/l	Hg mg/l	Conduc- tivity µU
1	RP-1	46.0	6.9	4.1	72	715	17.2	102	<0.1	<0.1	0.2	2	970	115	2.3	740	115	18.8	4.6	0.67	-	4030
2	RP-2	40.2	7.0	10.6	104	1570	50.7	209	<0.1	<0.1	0.3	2	2900	76	0.9	780	123	37.6	9.3	1.25	-	8380
3	RP-3	23.0	6.6	3.9	37	1560	48.0	70.8	<0.1	<0.1	0.1	2	1775	39	1.4	1300	68	45.6	11.2	0.59	-	6670
4	LO-1	94.5	8.0	9.0	53	973	1.1	43.2	<0.1	<0.1	0.1	3	1500	154	2.5	110	200	32.7	8.1	0.61	-	4990
5	LO-2	93.5	7.6	9.7	72	1050	1.1	47.4	<0.1	<0.1	0.1	4	1700	176	3.1	110	197	36.4	9.0	0.42	-	5540
6	EH-1	97.5	7.2	12.1	152	1330	0.2	34.6	<0.1	<0.1	0.1	4	2000	230	3.2	100	240	45.4	11.2	0.52	-	6810
7	EH-2	-	8.2	9.8	127	1130	0.7	36.8	<0.1	<0.1	0.1	4	1775	245	2.6	90	202	39.8	9.8	0.46	-	5590
8	AC-1	79.0	7.4	7.3	51	1090	0.9	34.4	<0.1	<0.1	0.1	3	1265	128	2.2	80	194	27.7	6.8	0.35	-	4150
9	AC-2	62.2	6.9	2.5	22	280	1.5	14.8	<0.1	<0.1	<0.1	1	450	18	0.8	120	162	8.1	2.0	0.15	-	1540
10	AC-3	60.5	8.0	5.6	41	679	1.4	26.0	<0.1	<0.1	<0.1	2	1012	100	1.4	90	172	19.8	4.9	0.21	-	3300
11	AC-4	67.7	6.4	6.3	44	715	2.0	48.6	<0.1	<0.1	0.1	2	1175	118	1.7	140	166	22.4	5.5	0.18	-	3880
12	AC-5	61.0	6.5	6.1	49	729	2.3	58.0	<0.1	<0.1	0.1	2	1200	118	1.8	180	147	22.2	5.5	0.12	-	3910
13	AC-6	66.1	7.1	5.3	46	580	2.0	25.0	<0.1	<0.1	<0.1	1	780	78	1.4	90	192	19.0	4.7	0.28	-	3210
14	AC-7	47.0	7.0	4.5	41	554	2.7	21.6	<0.1	<0.1	<0.1	1	825	88	1.2	100	181	15.9	3.9	0.36	-	3790
15	LT-11	93.8	7.4	10.2	88	1240	1.5	55.6	0.4	<0.1	0.1	4	1900	196	2.6	110	198	36.8	9.1	0.55	-	6090
16	LT-12	64.9	6.4	4.1	55	465	0.3	12.5	0.4	<0.1	<0.1	2	760	78	1.6	60	162	14.2	3.5	0.18	-	2500
17	LT-13	58.4	6.2	4.9	68	537	0.3	14.7	0.4	<0.1	<0.1	2	920	94	2.0	80	164	16.9	4.2	0.19	-	2940
18	LB-1	32.7	6.6	<0.1	1.6	15	3.6	491	0.4	<0.1	<0.1	<1	3	1040	<0.2	180	24.8	<0.1	<0.1	0.25	-	1800
19	CLO-1	-	7.23	0.3	2.3	38	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<1	82	6	2.7	20	2.7	0.8	0.2	3.35	0.009	218
20	CLO-2	-	6.97	<0.1	0.3	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	1	<1	<0.005	20	<0.1	0.032	<0.1	3.36	<0.005	23.4
21	CEH-1	-	6.59	<0.1	0.3	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	2	1	<0.005	20	<0.1	0.008	<0.1	3.43	<0.005	27.5

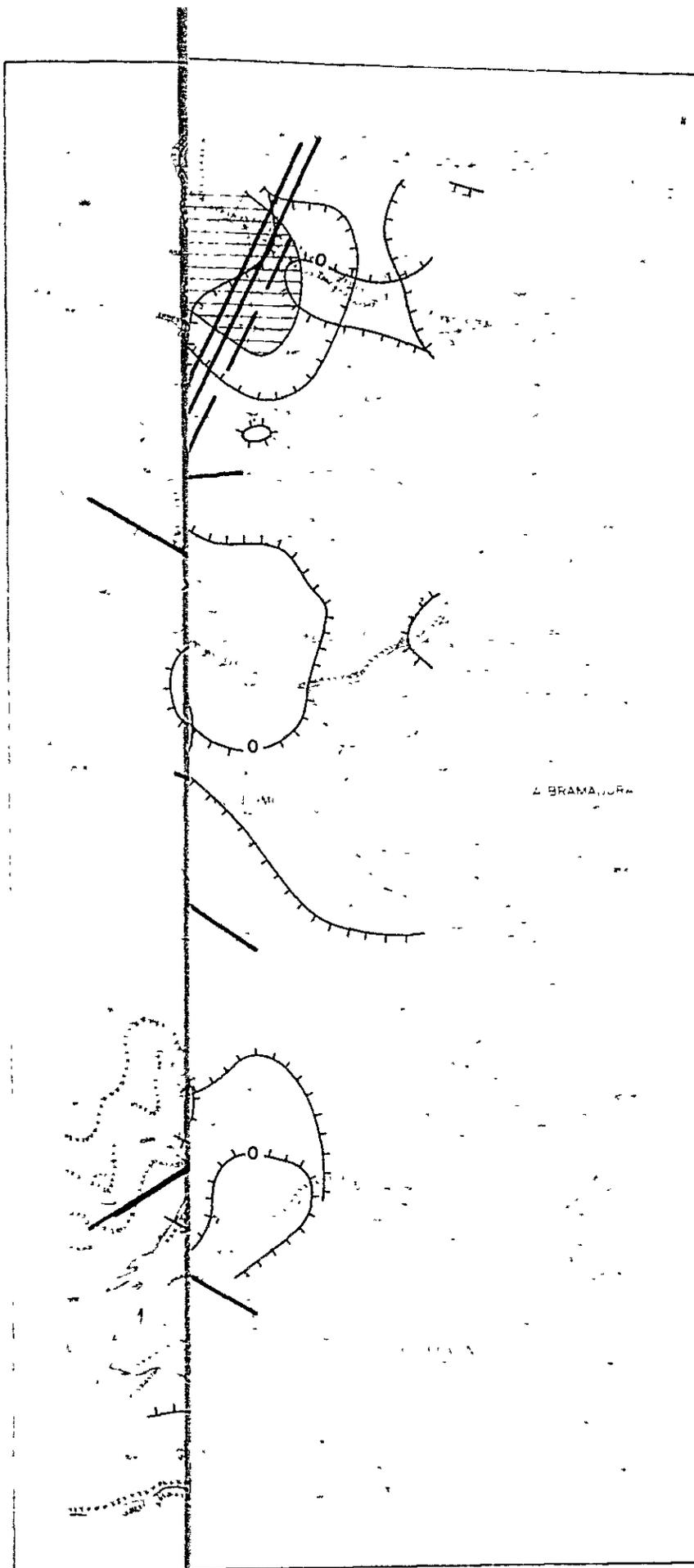
cuadro 2-3 Composicion quimica de las aguas termales y condensadas (Cont'do)

No.	Sample No.	T °C	pH	Li mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Al mg/l	F mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HASO ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	SiO ₂ mg/l	HBO ₂ mg/l	B mg/l	NH ₃ mg/l	Hg mg/l	Conduc- tivity µU
22	CEH-2	-	7.19	<0.1	0.2	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	<1	<0.005	20	<0.1	0.016	<0.1	3.88	<0.005	24.9
23	CEH-3	-	7.16	<0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	1	<0.005	20	<0.1	0.016	<0.1	3.88	<0.005	28.5
24	CLT-1	-	6.60	<0.1	0.6	5.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	8	1	<0.005	20	<0.1	0.070	<0.1	3.52	<0.005	53.8
25	CLT-2	-	6.30	<0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	<1	<0.005	10	<0.1	0.016	<0.1	2.10	<0.005	15.7
26	CLT-3	-	6.85	<0.1	0.3	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	1	<0.005	20	<0.1	0.020	<0.1	3.85	<0.005	27.3
27	CLB-1	-	7.14	<0.1	0.3	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<1	1	<0.005	30	<0.1	<0.005	<0.1	10.0	<0.005	64.6

No. 1 ~ 18: Hot water, No. 19 ~ 27: Condensed water

Cuadro 2-4 Composicion quimica de los vapores

No.	Sample No.	Temp. (°C)	H ₂ O (%)	Non condensable gas										Total	
				H ₂	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂ S	SO ₂	O ₂	N ₂	NO ₂			
1	GLO-1	94.5	-	-	-	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	6.0	18.6	0.0	96.6
2	GLO-2	93.5	96.0	-	-	54.46	0.7	0.0	0.0	0.00	0.00	9.72	35.8	0.0	100.68
3	GLT-1	93.8	99.9	0.03	-	83.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	3.0	9.54	0.0	95.54
4	GLT-2	92.9	99.8	-	-	89.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	2.5	-	0.0	91.5
5	GLT-3	92.8	99.9	0.02	-	91.0	0.0	0.0	0.0	0.08	0.08	1.8	6.53	0.0	99.41
6	GEH-1	92.5	99.9	-	-	95.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.12	1.5	3.30	0.0	99.92
7	GEH-2	88.2	99.7	-	-	15.0	0.4	0.0	0.0	0.00	0.00	16.2	50.84	0.0	82.44
8	GEH-3	92.5	99.9	0.02	0.25	92.0	0.0	0.0	0.0	0.14	0.14	2.0	11.43	0.0	105.57
9	GLB-1	101.8	99.7	0.02	0.27	73.7	0.0	0.0	0.15	0.22	0.22	5.1	19.11	0.0	98.57



LEGEND

{ Residual ground }
{ temperature }

 > 0 °C

 > 5 °C

 trend of anomalous areas

{ Hg- concentration }

 > 20 ppb

 > 40 ppb

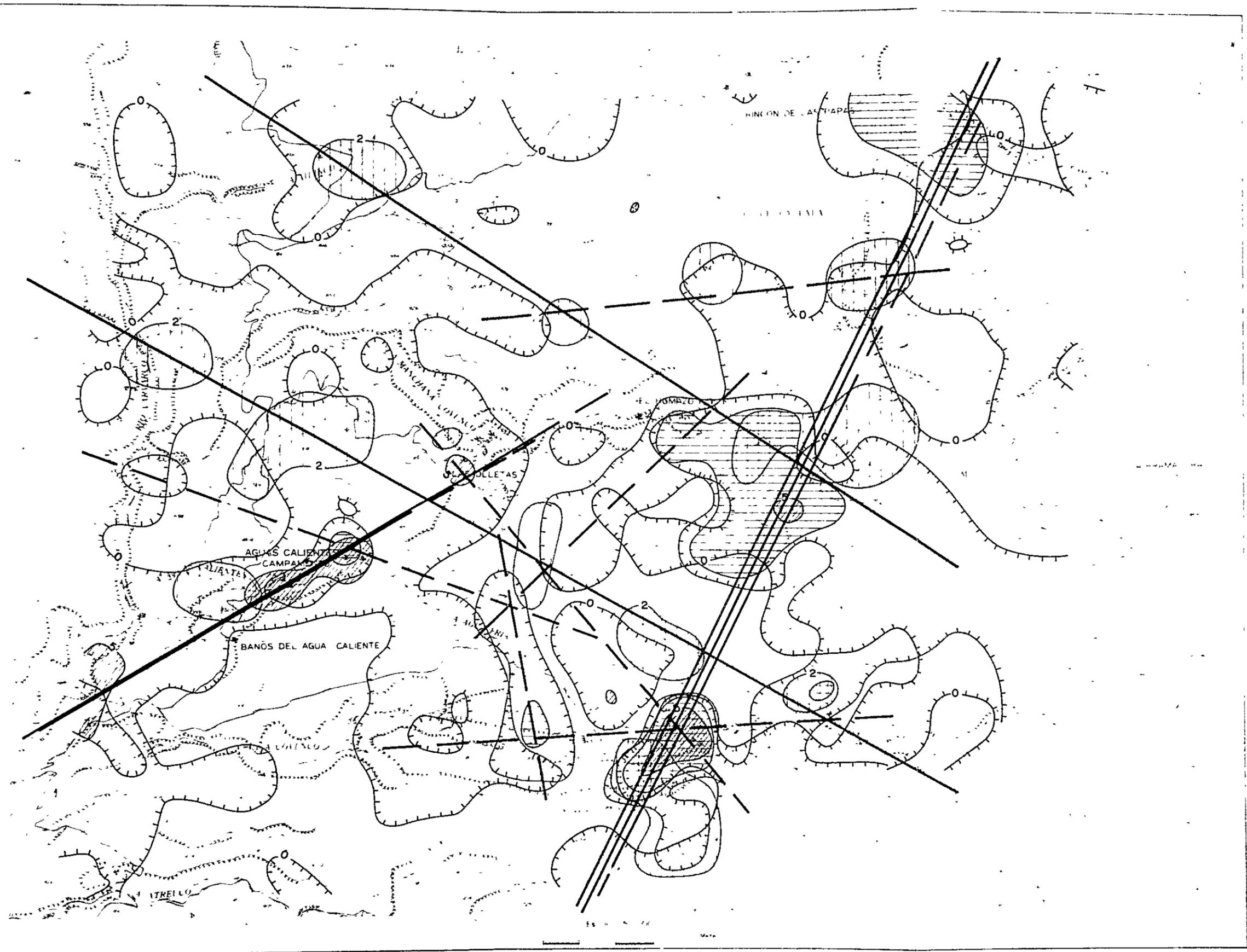
 trend of anomalous areas

{ CO₂-concentration }

 > 2 %

 trend of anomalous areas

- CO₂ geochemistry



LEGEND

(Residual ground temperature)

- > 0 °C
- > 5 °C
- trend of anomalous areas

(Hg - concentration)

- > 20 ppb
- > 40 ppb
- trend of anomalous areas

(CO₂-concentration)

- > 2 %
- trend of anomalous areas

END

geochemical (detected) gas (H₂, CH₄, H₂S, SO₂)

known (SO₂)

200 °C

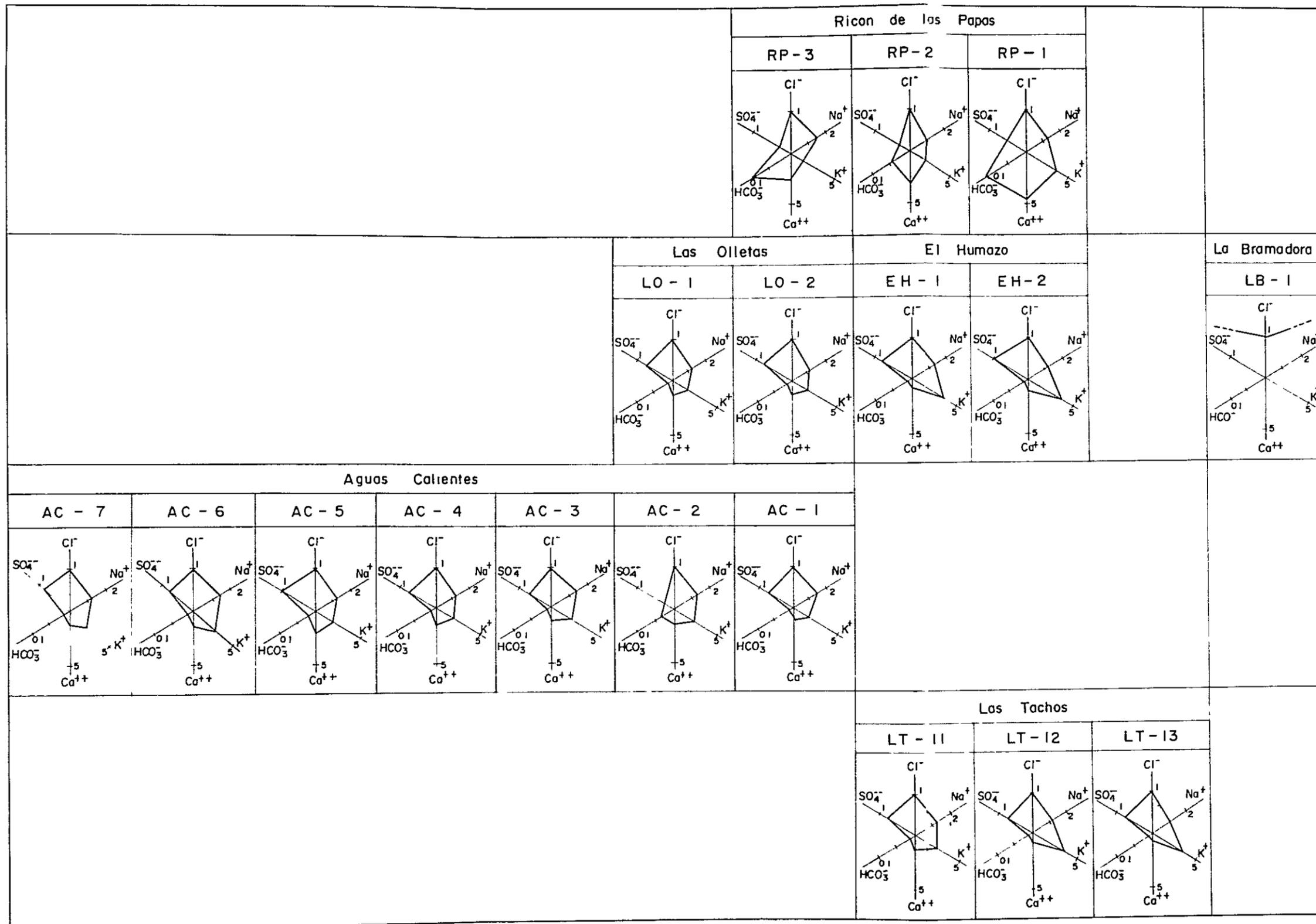
200 °C

200 °C

classification of hot spring composition

existence of fumarole

Fig.2-10 Composite map of anomalous areas of ground temperature and Hg - CO₂ geochemistry



GEND

geochemical (detected)
 thermo- gas (gas)
 emperature

unknown) (H₂, CH₄)
 (H₂S, SO₂)

> 200°C) ▲ (SO₂)

< 200°C)

< 200°C)

< 200°C)

f classification of hot spring
 l composition

existence of fumarole

Fig.2-11 Comparative diagrams of ion - concentration index between sea water and hot water

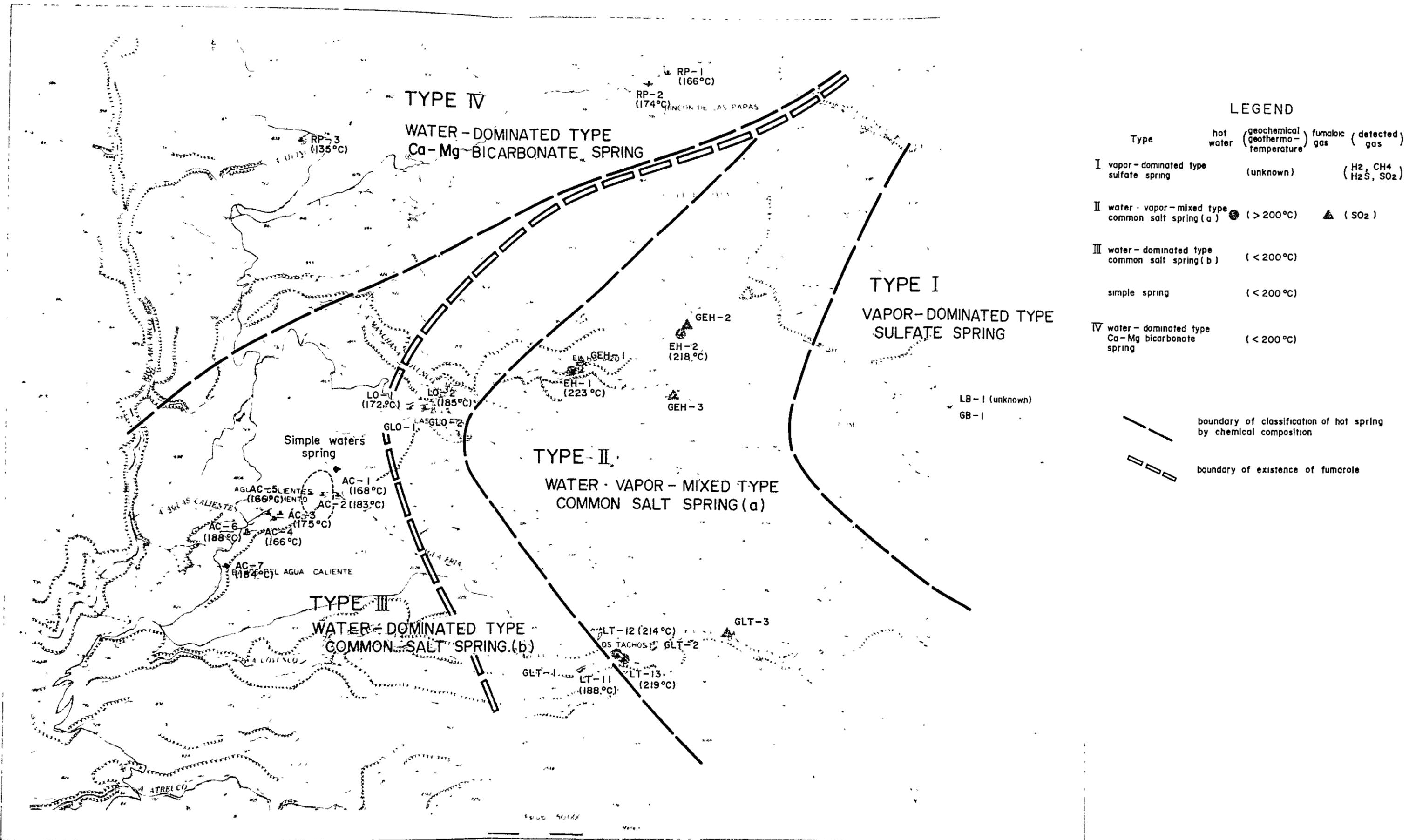
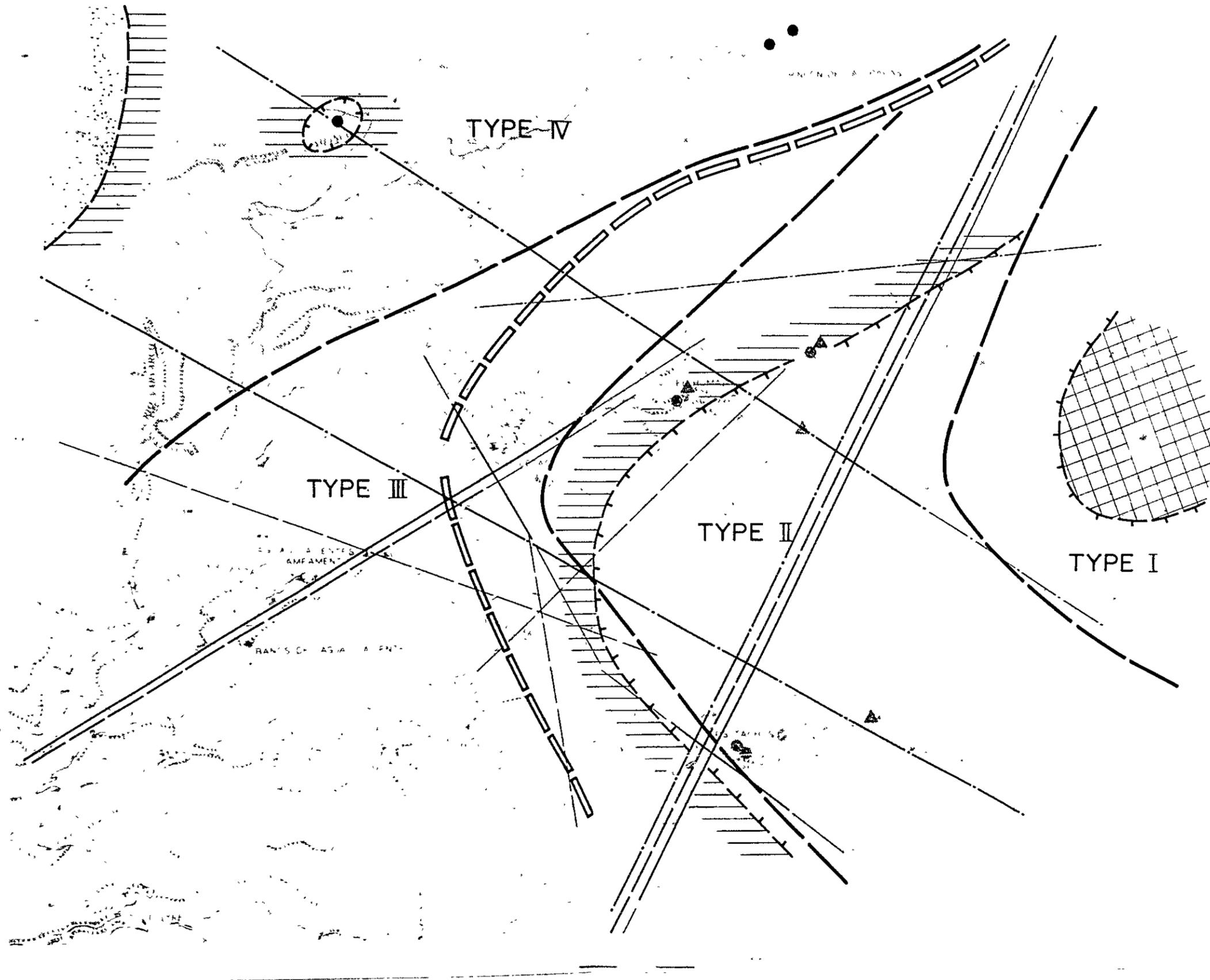


Fig.2-12 Composite map of zoning of hot spring - fumarole and geochemical geothermo-temperature



LEGEND

- (Geothermal manifestation)
- boundary of classification of hot spring by chemical composition
 - - - boundary of existence of fumarole
- (hot water) (fumarolic gas) (geochemical geothermo-temperature)
- I vapor-dominated type sulfate spring (unknown)
 - ▲ II water-vapor-mixed type common salt spring (a) (> 200°C)
 - III water-dominated common salt spring (b) (< 200°C)
 - IV water-dominated type Ca-Mg bicarbonate spring (< 200°C)

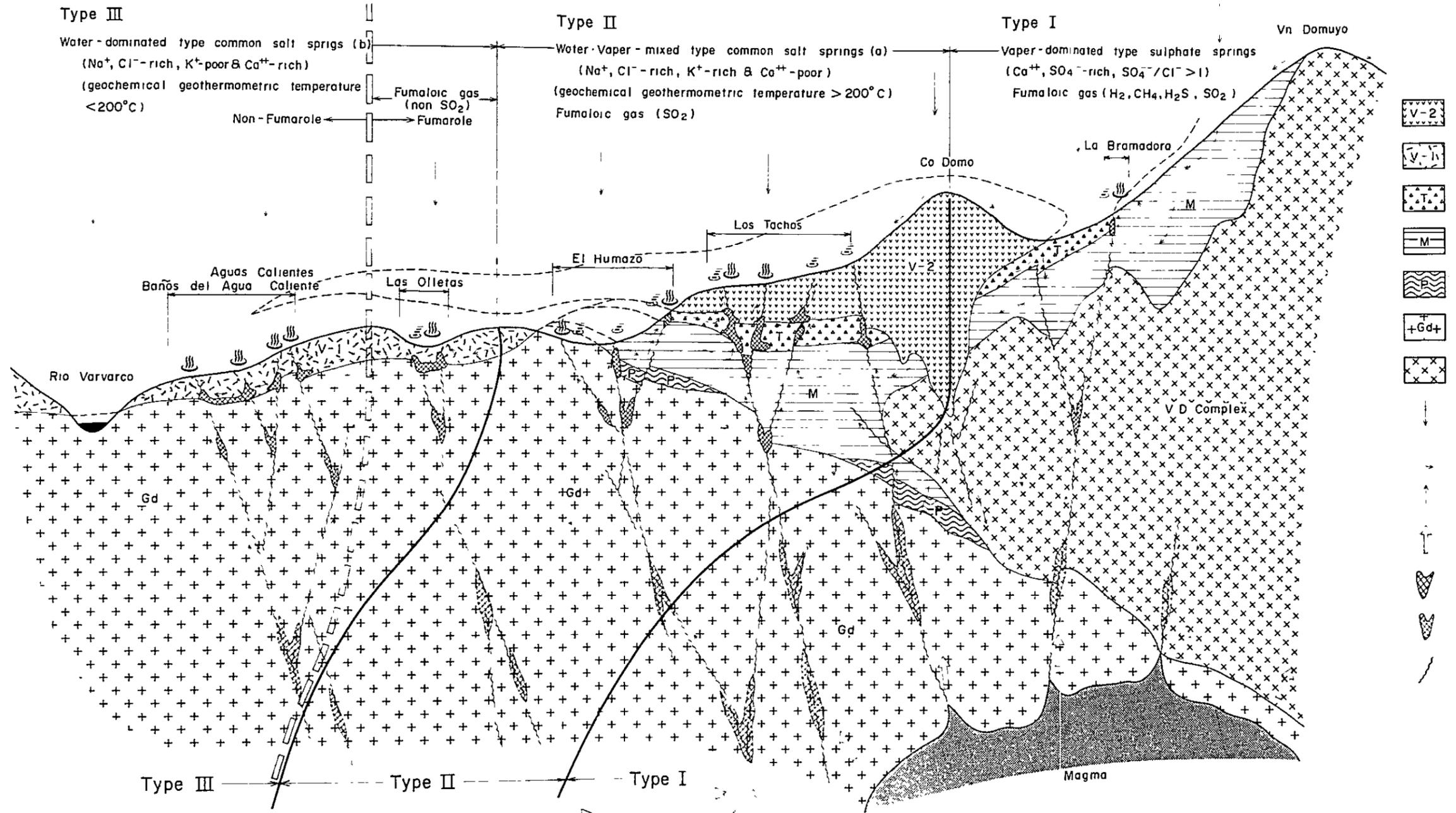
- (Ground temperature & Geochemistry)
- trend of anomalous area
- /// residual ground temperature
 - /// Hg-concentration
 - /// CO₂-concentration
- (thick --- distinct
thin --- indistinct)

- (Alteration)
- ▣ kaoline-alunite zone
 - ▤ kaoline zone
 - ▥ montmorillonite-crystalite zone
 - ▦ opal zone
- (temperature)
high
↑
↓
low

Fig.2-13 Synthetic interpretation map of heat flow structure

W ←

→ E



NW ←

→ SE

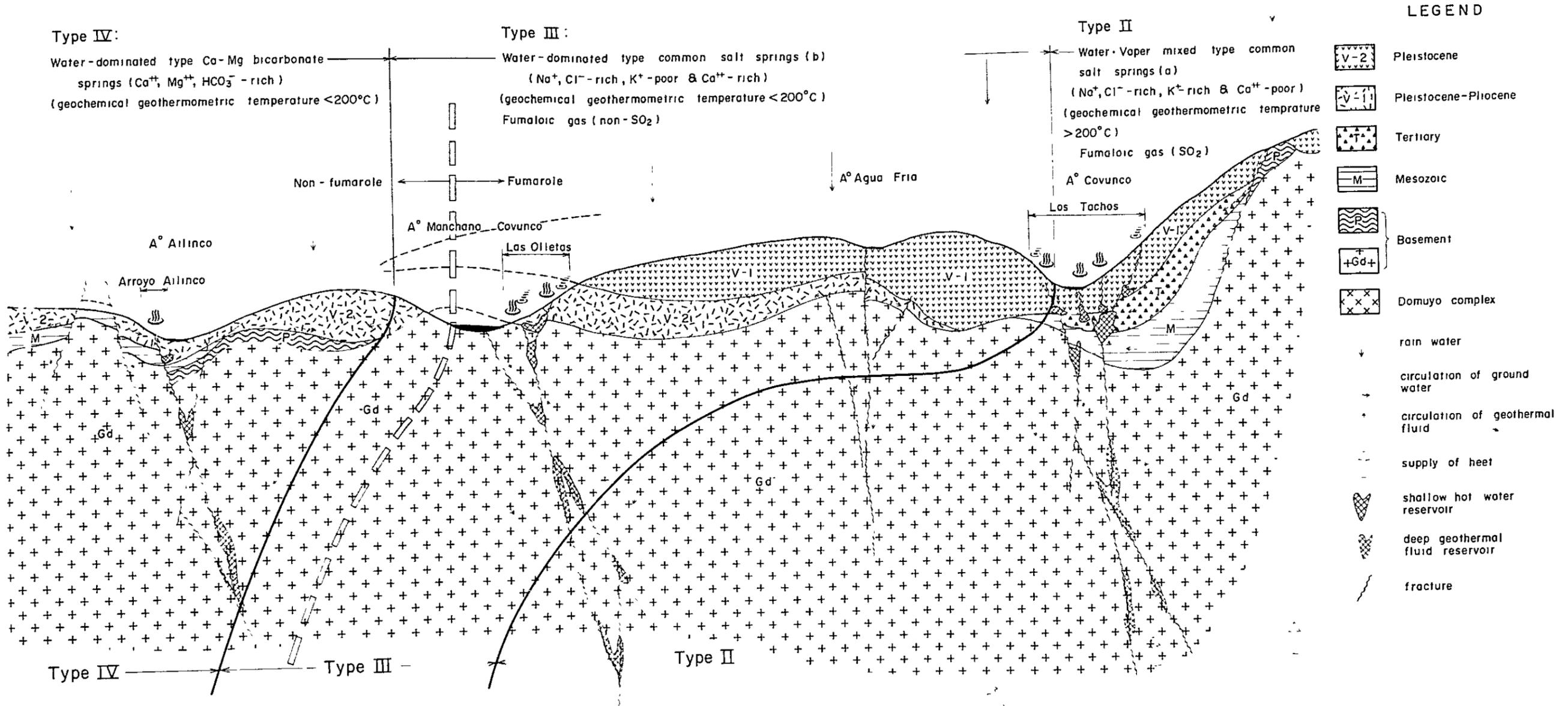


Fig.2-15 Model of circulation mechanism of geothermal fluid and geothermal reservoir structure (2)

3. SUMARIO DEL DESARROLLO GEOTERMICO

3. SUMARIO DEL DESARROLLO GEOTERMICO

3.1 POSIBILIDADES DE DESARROLLO Y SECTOR MAS PROMISORIO

(1) Potencial geotérmico

La evaluación integral de los estudios realizados en la Primera y Segunda Etapas, en lo que respecta a geología, estructura, modelo térmico, mecanismo de circulación de los fluidos y modelo del reservorio, ha demostrado el alto potencial geotérmico del área y su posibilidad de explotación, y por lo tanto, se concluye la necesidad de la ejecución de la Tercera Etapa de exploración.

(2) Sector de mayor posibilidad

Se propone como sector de mayor posibilidad los 40 Km² comprendidos entre La Bramadora y Las Olletas pasando por El Humazo (9 Km en dirección E-O) y entre El Humazo y Los Tachos (aproximadamente 5 Km en dirección N-S).

Se ubica en la parte central de la estructura de medio domo cuyo eje E-O hunde hacia el oeste, y comprende los sectores con manifestaciones vapor dominantes y sulfatadas de La Bramadora, las de mezcla agua-vapor y cloruradas sódicas (a) de gran parte de El Humazo y Los Tachos, y dentro de las agua dominantes y cloruradas sódicas (b), las que están acompañadas de vapores, como Las Olletas y extremo occidental de Los Tachos.

(3) Posibilidades de desarrollo

Dentro del sector mencionado en el punto anterior para la ejecución de la Tercera Etapa, la parte oriental a la línea que une los centros de El Humazo y Los Tachos es la de mayor actividad geotérmica, caracterizada por surgencias de aguas a alta temperatura y con abundantes vapores. Por lo tanto, es aquí donde se espera la existencia de fluidos de alta temperatura indispensables para su explotación.

3.2 CONTENIDO DEL FUTURO DESARROLLO GEOTERMICO Y PLANES PARA LAS TAREAS DE LA TERCERA ETAPA

3.2.1 Contenido de los estudios para la Tercera Etapa

Como resultado de los estudios de la Primera y Segunda Etapas, se seleccionó el sector de algo más de 40 Km² en el centro del área estudiada en la segunda fase. Seguidamente se consignarán los interrogantes a ser esclarecidos a través de las futuras investigaciones.

(1) Estudio estructural detallado del Basamento

A partir de la línea que une los centros de El Humazo y Los Tachos, hacia el oeste el Basamento es poco profundo, y hacia el este se pasa a una zona de transición abrupta hacia valores de gravedad grandes. Se considera importante la coincidencia entre este lineamiento gravimétrico N-S que refleja el cambio estructural del Basamento, y el límite del sector A de mayor actividad geotérmica, con manifestaciones con abundantes vapores. En consecuencia, en la Tercera Etapa se necesitará un estudio detallado tendiente al esclareci-

miento de la estructura basamental que comprenda esta zona de transición gravimétrica.

(2) Estudio detallado de sistemas de fracturas

El mayor control estructural que gobierna la actividad geotérmica es el sistema de fracturas y grietas desarrolladas en profundidad. Si bien los sistemas generales existentes en el área de estudio fueron establecidos en las distintas fases, todavía queda mucho para conocer sobre los desarrollados en las rocas basamentales o mesozoicas ubicadas por debajo de las vulcanitas modernas. Por lo tanto, es importante para la Tercera Etapa ver en detalle estos sistemas.

(3) Estudio de áreas de alteración y de baja resistividad en profundidad

Si bien los estudios de áreas de alteración hidrotermal y de precipitados químicos realizados en superficie durante la Segunda Etapa contribuyeron para el conocimiento local de los modelos térmicos y de fluidos, con ello no se obtuvo información sobre la actividad en profundidad. Se hace necesario así la ejecución de estudios de áreas de alteración y de baja resistividad relacionadas a actividades geotérmicas profundas, incluyendo las presumiblemente ubicadas en las bases de las vulcanitas modernas.

(4) Flujos calóricos

Por medio de las mediciones de temperaturas a 1 m de profundidad realizadas en la Segunda Etapa, se obtuvieron las grandes tendencias de la distribución de temperaturas en el área de estudio. La perforación de pozos de gradiente permite la medición directa de los flujos calóricos para conocer el modelo térmico. En la Tercera Etapa se considera necesario la evaluación de estos flujos en el sector más promisorio y en sus alrededores.

(5) Perforación de pozos de exploración

Por medio de la perforación de pozos de exploración de 100 ~ 400 m, se confirmará la estratigrafía, se realizarán distintos estudios de testigos (petrográficos, de alteración, porosidad efectiva, susceptibilidad magnética, resistividad eléctrica, velocidad de propagación de ondas elásticas, conductividad térmica, etc.) y perfilajes de pozo (sondeos eléctricos y térmicos), se obtendrán distintas informaciones de la estructura del subsuelo, que se utilizarán en las etapas subsiguientes.

(6) Interpretación global

Del análisis global de los resultados que se obtendrán en la Tercera Etapa, junto con los ya obtenidos en las anteriores, surgirá la evaluación integral del potencial geotérmico del área.

3.2.2 Plan de tareas a realizar en la Tercera Etapa

Se proponen los siguientes métodos para dilucidar los interrogantes mencionados anteriormente.

(1) Relevamiento sísmico de reflexión

Para los estudios estructurales detallados del Basamento y de los sistemas de fracturación es efectivo el relevamiento sísmico de reflexión, y sería conveniente realizar, dentro del área de 40 Km² elegida para la Tercera Etapa, una línea principal de dirección E-O en su parte central, y varias líneas secundarias perpendiculares a ella.

(2) Relevamiento geoelectrico (Sistema Schlumberger)

Para obtener información en profundidad sobre áreas de alteración y capas de baja resistividad eléctrica, es efectiva la geoelectrica (dispositivo Schlumberger).

Teniendo como objetivo una profundidad de hasta aproximadamente 1.000 m y considerando un máximo de 2.000 m de AB/2, el aprovechamiento de las líneas utilizadas en sísmica de reflexión permitirá la comparación de ambos métodos.

(3) Estudio de flujos calóricos en pozos de gradiente de 100 m

Se considera conveniente ejecutar unos 10 pozos de gradiente de 100 m cada uno dentro del área de 40 Km² y en sus alrededores, para conocer la estructura térmica por medio de la distribución de los flujos calóricos.

(4) Perforación de pozos de exploración del orden de 400 m

En base a los resultados obtenidos en la Segunda Etapa, el lugar de primera prioridad para la ejecución de pozos de exploración es la parte norte de la mitad oriental de Los Tachos, en donde se destaca la intersección de sistemas de fracturas de varios tipos y direcciones, como fallas, lineamientos gravimétricos y sistemas de fracturas que se pueden inferir de las anomalías térmicas y geoquímicas.

(5) Proyecto de tareas de la Tercera Etapa

Los planes de tareas mencionados en (1) a (4) deberán ser estudiadas y analizadas en detalle desde el punto de vista de la topografía del área y de la posibilidad concreta de su ejecución. En la figura 3-1 se esquematizan estas tareas.

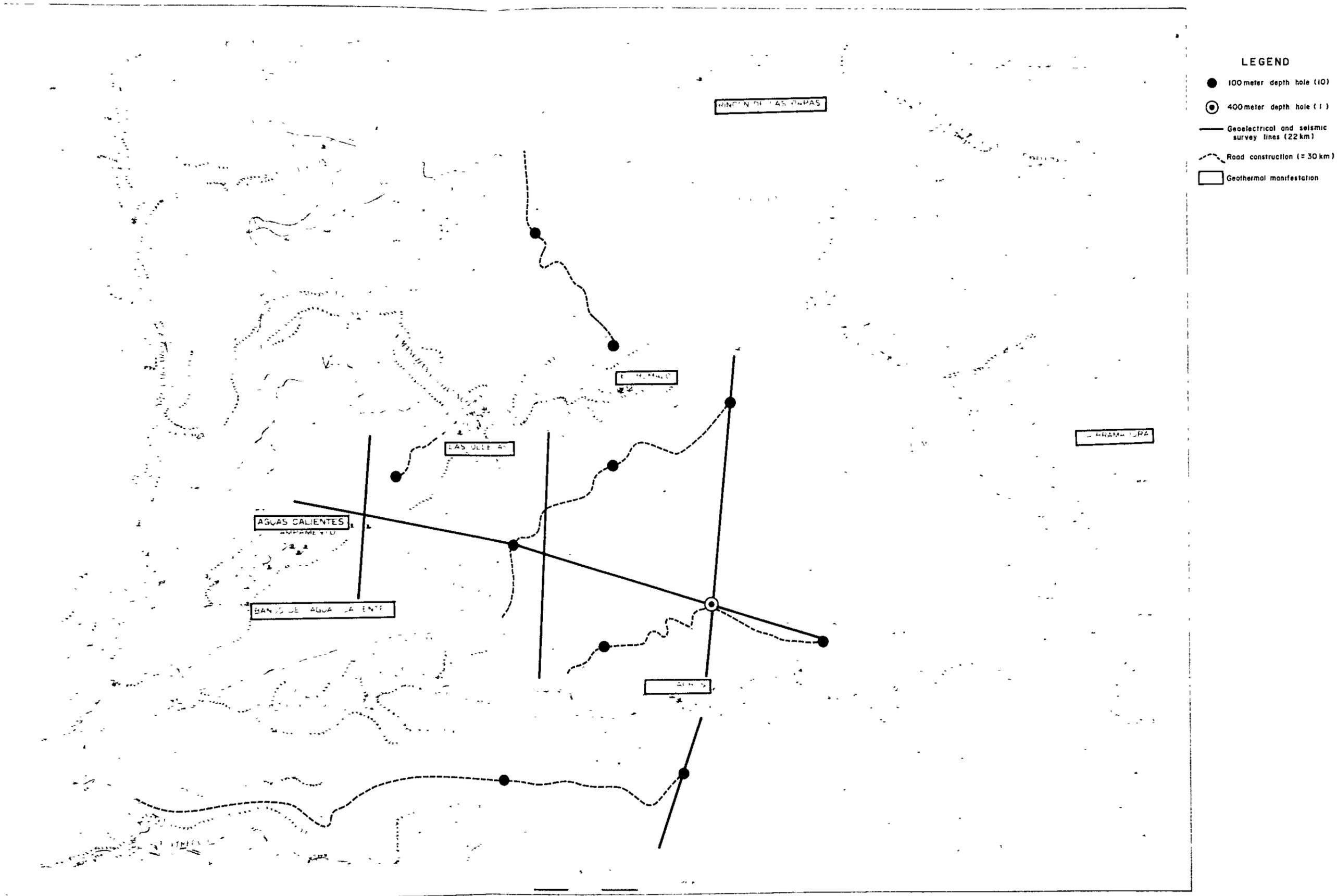


Fig.3-1 Proposed working plan of the third phase survey

