

3. 総合解析の結果

3. 1 総括

(参照)

- Fig. 20 調査地域地質図
- Fig. 21 重力分布区分図
- Fig. 22 温泉・噴気ガス分布と地化学温度総合図
- Fig. 23 地熱流体貯留層構造モデル

第1～3次にわたる各種手法による調査の結果、本地域内の地質構造、断裂系、地熱徴候の分布と性質、期待される地熱流体の質と温度および貯留層構造等が解明され、また地熱開発最有望地区の選定を行った。

広域的には、本地域はアンデス脊稜山脈の東側外縁部に位置し、アンデス造山運動以降、第四紀更新世に至るまでの間の活発な地殻の変動と火山活動が認められる地域である。

また最有望地区として選定された Domuyo 地区は、新期火山活動の分布発達と、基盤岩におよぶ顕著な断層や落ち込み構造、およびこれらに関連する優勢な地熱徴候の分布等が集中的に認められ、地下に発達する断層・断裂系ないし破碎帯を貯留層ないし通路とする熱水・蒸気混合型の地熱流体の賦存が予想される。

第1～2次調査の結果、中間報告書で詳述したように、Domuyo 地区の中で、将来の調査開発を前提とした地形、アクセス条件等も勘案した上で、Co. Domo の西側斜面で、A°. Manchana Covunco と A°. Covunco の両水系に囲まれた見掛け上三角形の範囲 (Domuyo triangle zone) を中心とした地区の地質構造、熱構造、地熱流体循環構造等が極めて興味ある結果として把握され、この地区に対して実施された第3次調査の結果も更にこれを詳細に裏付けするものであった。

以上の経緯を経て、最終的に断面解析と平面解析による総合解析を行って、当該有望地区の地下構造を掘り下げて把握し、またこれらの結果を実証的に確認し、将来の具体的な開発調査の基礎とするために必要な調査井の掘削の対象とするためのターゲットとして、最有望地区を選定した。

3. 2 断面解析

(参照)

Table 7 Domuyo 地域地熱構造特性区分表

Fig. 24 総合解析断面図

断面解析では、主として重力探査、電気探査、地震探査の結果を総合して解析した。

この結果、Domuyo 地区は、その地熱構造特性から、大きく西部、中間部、東部の3帯に区分される。

a) 西部帯

電気探査での深部の高比抵抗層、地震探査での深部での強反射上面、重力探査での断面解析(密度差 $\Delta\sigma = 0.4$)による基盤深度は、斜部での多少のずれはあっても、おおむね200~700m間で変動しながら一致している。これは岩石物性的に、当該深度以深では、以浅と比較して高密度、高弾性波速度を有することを示し、この地域の地質層序的基盤である花崗閃緑岩を表わすものと考えられる。

電気探査の結果から、地表浅部の中~高比抵抗層は主として第四紀の石英安山岩類、第三紀~第四紀の溶結凝灰岩類と安山岩類、また中深部の低比抵抗層は、主として第三紀~第四紀のスコリア凝灰岩類ないし軽石凝灰岩類に対比されるものである。また中深部の低比抵抗層は、強い熱水変質を受けているか、高温状態にある可能性が強い。

b) 中間帯

当該帯は、前述西部帯と後述東部帯の中間域にあって、物理探査測線で見ると、Line A, Dの交差点を中心とする地区と、Line Eの中央部を中心とする地区の2地区が属する。

両地区とも、電気探査では西部帯と同様3層構造を呈するが、中深部の低比抵抗層が厚く、深部の高比抵抗層の上面深度は800m以上である。また両地区とも、重力、地震探査の結果をも併せて、基盤の落ち込み構造が推定されている。

周辺での100m級坑井による地質状況から推定して、この地区の低比抵抗層は、第三紀下位の地層と考えられる。

c) 東部帯

この帯は調査範囲の最東部で、地形的にはCo. Domo山嶺に向かって急峻化する地区である。

電気探査の結果では、測点間の比抵抗変化が激しく、おおむね浅部で低比抵抗値、中～深部では中比抵抗値を示すが、地震探査での基盤に該当する強反射波面は浅い。

また重力解析の結果による基盤深度は、北部ではやや浅く、南部では1,000 m以上と深く、この帯では一般に物理探査の3手法間の解析結果の相関性は良くない。

この帯では、中生層が厚く堆積発達し、電気比抵抗的には、熱水変質作用を強く受けているか、高温状態にあって、かつ複雑な構造を有しているものと考えられる。

以上の3帯では、温度的ポテンシャルは東部帯が最も高いことが予想されるが、以下に述べる諸要素を検討した結果、中間帯を今後の開発を前提とした有望帯と判断した。

- a) 地形的に東部帯は、Có. Domo山稜の急峻な岩崖斜面部にかかり、実質的に今後の調査開発が困難なところであること。これに比して中間帯は、比較的緩斜面ないし平坦で調査開発上問題がないこと。
 - b) 第3次調査で実施した熱流量調査、地震探査、電気探査等の精査範囲は、地形的制約から中間帯ないし西部帯を中心としており、東部帯については資料が少ないこと。
 - c) 地熱流体通路ないし貯留層構造として期待される断裂系や基盤の落込み構造、また広域新構造等が中間帯に卓越しており、各種手法による解析結果の整合性が良いこと。これに比して東部帯は、これらの構造に関する資料が少なく、各種手法による解析結果の整合性が悪い。
 - d) 当該地域の中でみられる地熱徴候のうち、特に優勢な高温熱水蒸気泉は主として中間帯に分布し、中間帯内で把握された地下構造との関連性が認められること。
 - e) 東部帯では、地質基盤深度が、重力基盤深度で推定する限り極めて深いが、中間帯では、地質基盤深度は800～1,500 mと推定され、且つ構造的に極めて有望な④、⑤の2地区が抽出されていること。
- 等から中間帯に焦点を絞り、更にこの中から最終的に有望地区を選出した。

3. 3 平面解析

(参照)

Fig. 25 総合解析平面図

平面解析では、主として地化学温度分布、100m深地温分布、等重力線分布等の資料に基づき、当該三角地帯を中心に解析した。

a) 地化学温度分布

地化学温度200°C以上の熱水・蒸気混合型ないし蒸気卓越型地熱流体の賦存が期待される範囲は、優勢微侯地であるLos Tachos, El Humazoの両地区の大部分を含む Domuyo triangle zoneの中央部から東寄りで、E-W方向の軸を有し、かつ東側に向けて高温の傾向を有する半ドーム状構造を示す。

b) 100m深地温分布

30°C以上の高温域は、地化学温度分布と相関性を示し、Domuyo Triangle zoneの中央部から東側に広がる傾向がみられる。

c) 等重力線分布

Domuyo triangle zoneの中央部、すなわちEl HumazoとLos Tachosの2地区を結ぶ帯(断面解析では中間帯に相当)の東側では、重力基底深度は急激に落ち込む傾向を示すが、西側の三角地帯自身も局所的落ち込み構造を示している。

3. 4 有望地区の選定

以上の結果、200℃以上の地熱流体の賦存が期待され、かつ貯留層の深度と構造や通路としての構造の分布が集的に期待される Domuyo triangle zone の中間帯域内で、今後の直接的探査のための最有望地区として、④、⑤の2地区を選出した。

これらの2ヶ所は、電気探査による低比抵抗層の下限深度が800m以上の範囲で、しかも地質探査、重力探査の結果から、断層ないし落ち込み構造が一致して推定される地区である。また④、⑤2地区についての、それぞれの平面的拡がり、重力の短波長ブーゲー異常の負の領域として把握される。

またこれらの地区は、いずれも優勢な高温熱水・蒸気混合型の噴出泉を伴う地熱微候地に近接しており、構造的な類似性、関連性が推定される地区である。

a) ④地区 (Los Tachos 北部地区)

Los Tachos 地熱微候の北に近接し、物理探査測線 Line A の測点 625 ~ 6725 および Line D の測点 6100 ~ 6225 にかけて交差する、およそ南北 2.5 km、東西 1.0 km、約 2.5 ㎢ の範囲である。

本地区の周辺、すなわち南東方の坑井 69、北西縁の坑井 614 では、それぞれ深度 68 m、60 m で第三系の地層が把握されており、この地区では、岩石物性的に低~中密度、中~高有効空隙率の第三系~中生界上位の安山岩質ないし石英安山岩質凝灰岩類が貯留層の場として期待される。

また物理探査の結果から、この地区では上位層から基盤までを含めて、周囲から大きく落ち込んでいる構造が推定され、これと関連して断層や破碎帯の発達集中が予想されるので、貯留層構造として平面的拡がりのみならず、深度方向へも大きな期待が寄せられる。

b) ⑤地区 (El Humazo 南部地区)

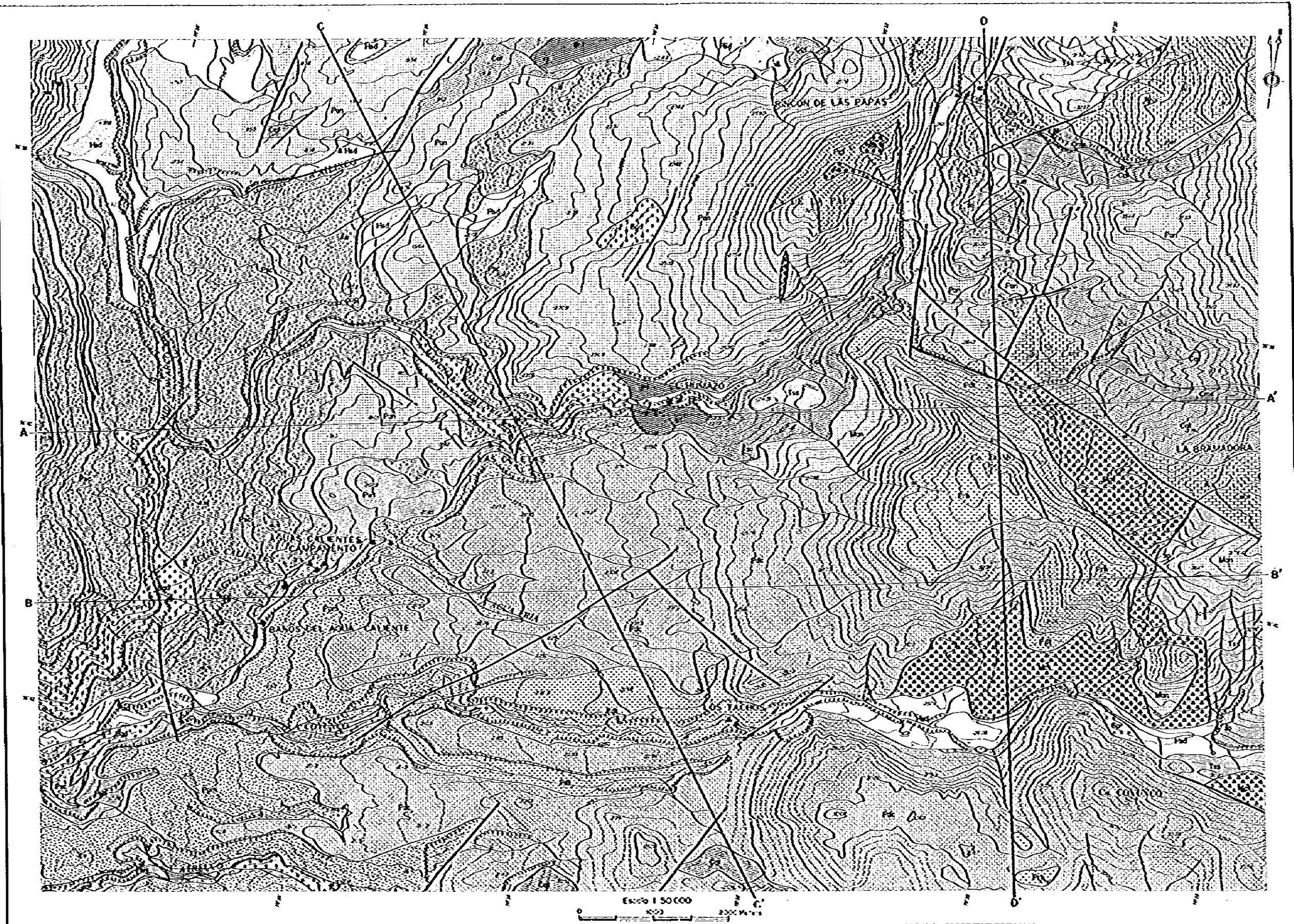
El Humazo 地熱微候の南に隣接し、物理探査測線の Line E の測点 6215 ~ 285 にかけて、およそ南北 1.2 km、東西 0.5 km すなわち約 0.6 ㎢ の範囲である。

本地区は El Humazo 地熱微候と構造的な連続性が推定されるが、近辺南北縁部の坑井 63 の深度 35 m で中生界下位の地層が把握されている。これらの地層は岩石物性的には、高密度、低有効空隙率の岩石からなり、一般的には貯留層の場としての適性は小さいとされている。しかし、周辺の地表地質と El Humazo の地熱微候の状況および各種物理探査による解析結果から判断して、本地区の貯留層構造は、中生界下位の地層ないし基盤岩中で、局部的な激しい落ち込み構造や断層ないし破碎帯等によるもので、深度方向への期待が大きいものと考えられる。

Table 7 Geothermal system of the Domuyo area

Western Zone	Area	The western side of the line connecting the points of $\Delta 600$ on the Line A and of $\Delta 215$ on the Line B		
	Geothermal manifestation	Las Olletas, Aguas Calientes, Baños del Agua Caliente, Los Tachos Chicos		
	Type of hot spring	mainly water-dominated (Type B)		
	Temperature at the 100m depth	mainly over 30C		
	Depth (m)	0~150		200~700
	Lithology	Quaternary Dacite Quaternary Welded tuff ~Tertiary Andesite	Quaternary Scoria tuff ~Tertiary Pumice tuff	Basement Granodiorite
	Resistivity	medium-high	low	high
	Depth of gravimetric basement (m)	100~700		
	Depth of seismic basement (m)	200~600		
Transitional Zone	Area	Transitional zone		
	Geothermal manifestation	El Humazo, Los Tachos		
	Type of hot spring	water-vapor-mixed (Type II)		
	Temperature at the 100m depth	over 30C		
	Depth (m)	150~200		800~1500
	Lithology	Tertiary, Jurassic rocks		Basement Granodiorite
	Resistivity	medium-high	low	high
	Depth of gravimetric basement (m)	800~1500		
	Depth of seismic basement (m)	500~1200		
Eastern Zone	Area	The eastern side of the line connecting the points of $\Delta 750$ on the Line A and of $\Delta 285$ on the Line E		
	Geothermal manifestation			
	Type of hot spring	Water-vapor-mixed (Type I)		
	Temperature at the 100m depth	over 50C		
	Depth (m)	50~200		
	Lithology	Tertiary, Jurassic rocks		
	Resistivity	low	medium	
	Depth of gravimetric basement (m)	200~1200m		
	Depth of seismic basement (m)	100~300m		

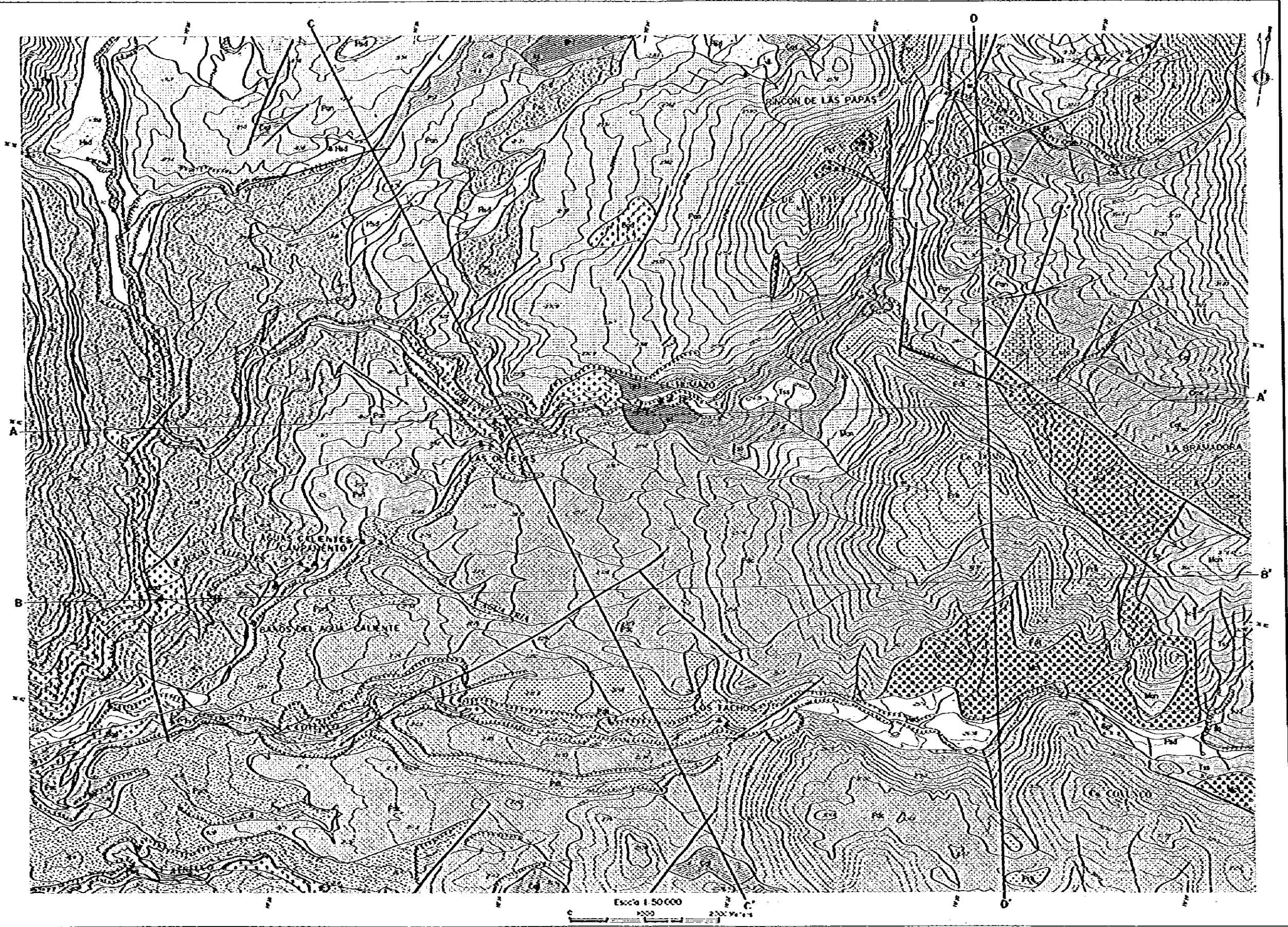




LEG-ND

Quaternary	Q1	Soil	
	Q2	Alluvial fan	
	Q3	Clay loam	
	Q4	Dolomite breccia	
Pleistocene	P1	Andesitic breccia	
	P2	Andesite	
	P3	Porphyritic andesite	
	P4	Welded andesite	
	P5	Scoria andesite	
Holocene	H1	Andesite lava	
	H2	Andesitic andesite breccia	
Jurassic	J1	Red sandstone, Dolomite andesite	
	J2	Limestone, sandstone, mudstone	
	J3	Black mudstone	
	J4	Andesitic andesite breccia, Sandstone	
Basaltic	B1	Basaltic andesite	
	B2	Granodiorite	
Granite	G1	Andesite	
	G2	Granodiorite porphyry	
		—•—•—	Bedding plane
		—/—/—	Fault
		— — —	Section line

Fig. 20 Geological map of the survey area



LEGEND

Quaternary	Qd	Sed. grav.
	Qs	Playa sed.
	Qc	Coque lav.
	Qb	Coque MP breccia
Quaternary-Tertiary	Qv	Anditic volcanic breccia
	Qm	Andesite
	Qp	Pumice MP
	Qr	Welded MP
	Qs	Sand MP
Tertiary	Tm	Andesite lav.
	Tb	Andesite MP breccia
Jurassic	Jm	Red sandstone, Coque MP, Limestone
	Ja	Limestone, sandstone, mudstone, siltstone
	Jp	Black mudstone
	Jc	Andesite MP breccia, Sandstone
Basement	Bs	Hornfels schist
	Bg	Gneiss
Igneous rocks	And	Andesite
	Gp	Gneiss porphyry
		Bedding plane
		Fault
		Section line

Fig. 20 Geological map of the survey area

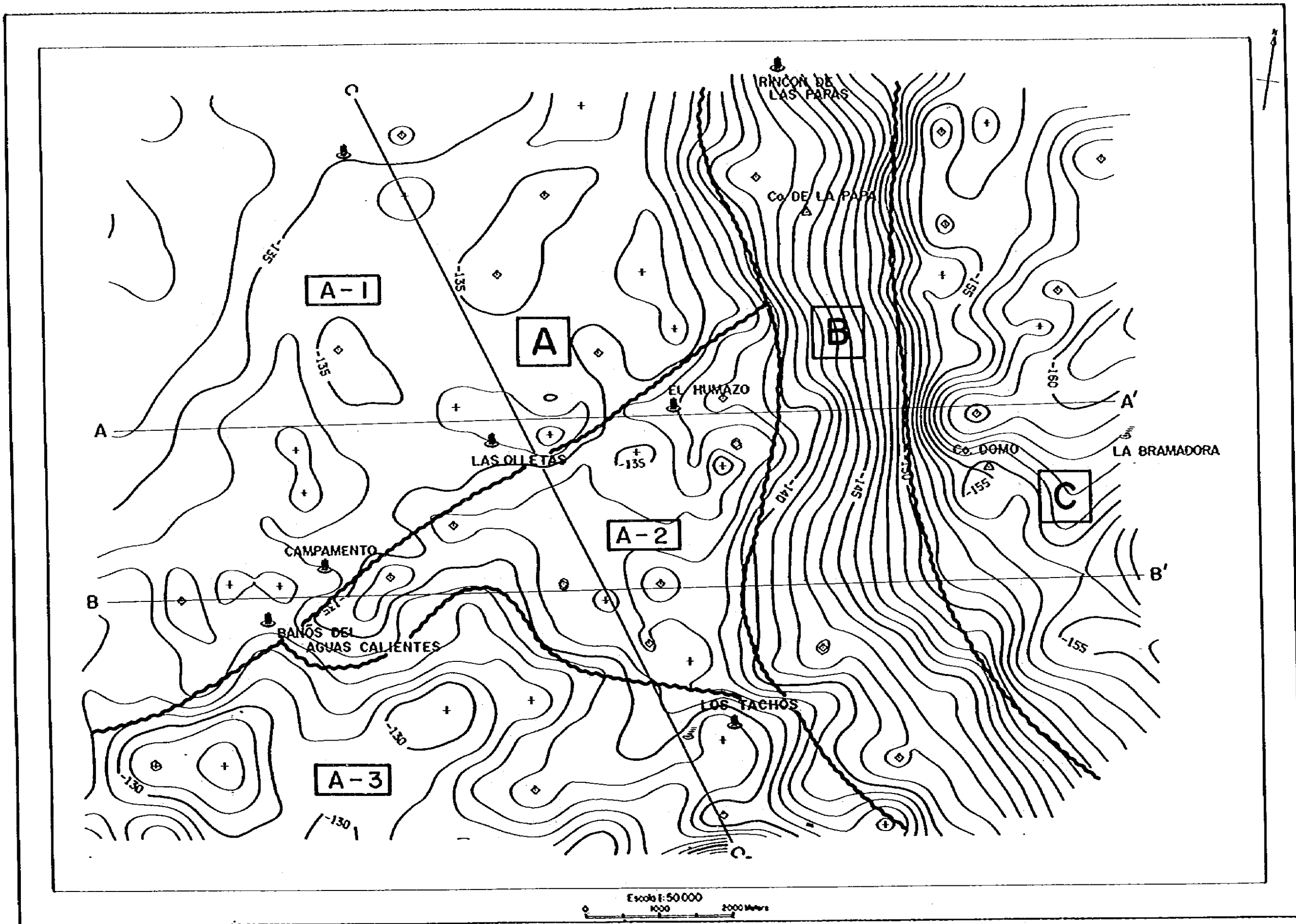
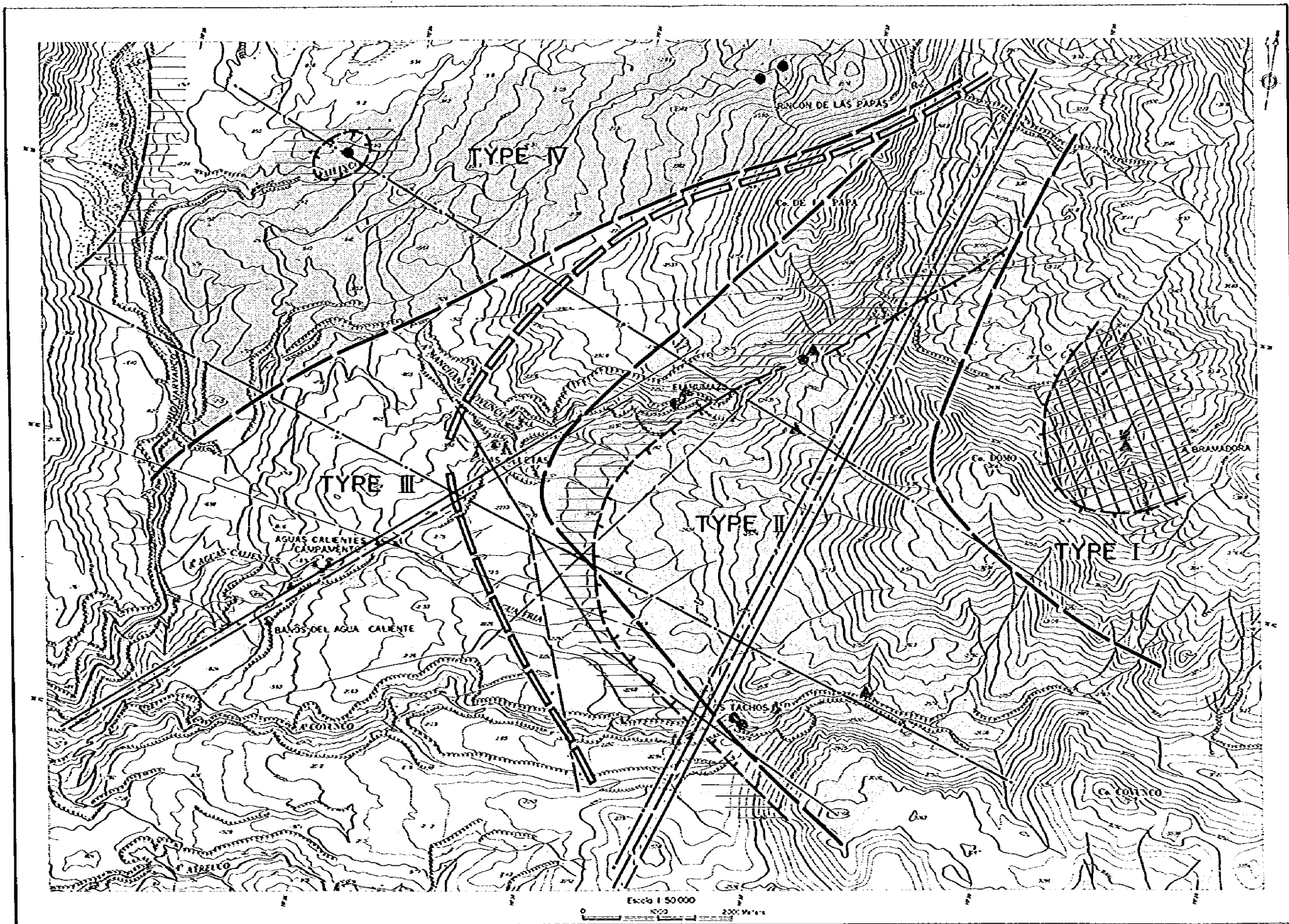
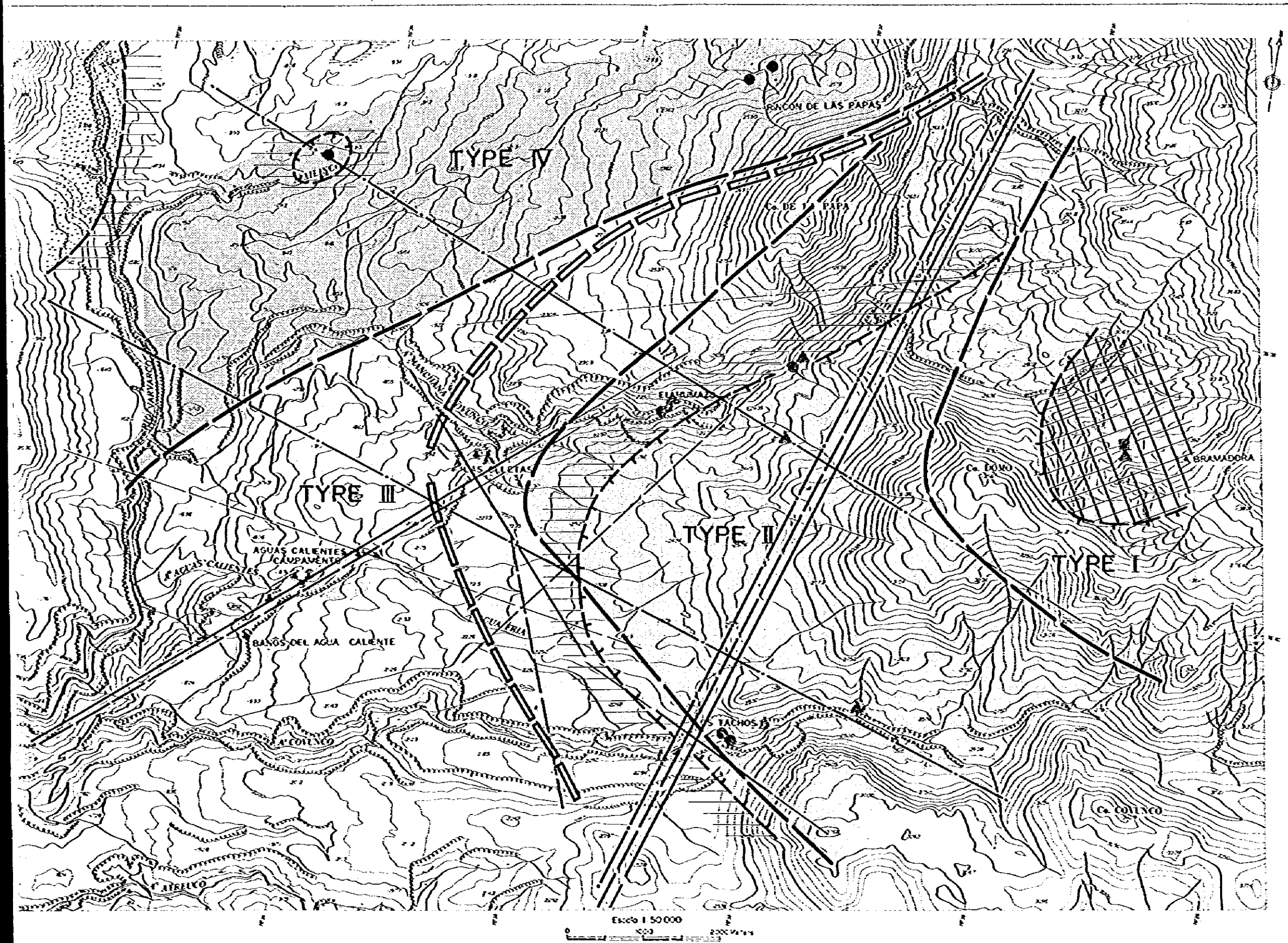


Fig. 21 Zoning of Bouguer anomaly map



- LEGEND**
- (Geothermal manifestation)
- boundary of classification by chemical composition
 - boundary of existence
- (hot water) (fumarole) (gas)
- I vapor-dominated sulfate spring
 - ▲ II water-vapor-mix common salt spring
 - ▲ III water-dominated common salt spring
 - IV water-dominated Ca-Mg bicarbonate spring
- (Ground temperature & Geochemistry)
- trend of anomalous area
- residual ground temperature
 - Hg-concentration
 - CO₂-concentration
 - (thick — distinct, thin — indistinct)
- (Alteration)
- ▧ kaolinite-illite zone
 - ⋈ kaolinite zone
 - ▨ montmorillonite-crystallite zone
 - ⋄ opal zone

Fig. 22 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)

- 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)

(geochemical geothermo-temperature)

(Ground temperature & Geochemistry)

trend of anomalous area

- /// residual ground temperature
- Hg-concentration
- CO₂-concentration
- (thick --- distinct)
- (thin --- indistinct)

(Alteration)

- ▣ kooline - olivine zone
- ▤ kooline zone
- ▥ montmorillonite - crystobolite zone
- ▦ opal zone

(temperature)

↑ high

↓ low

Fig. 22 Composite map of zoning of hot spring-fumarole and geochemical geothermo-temperature

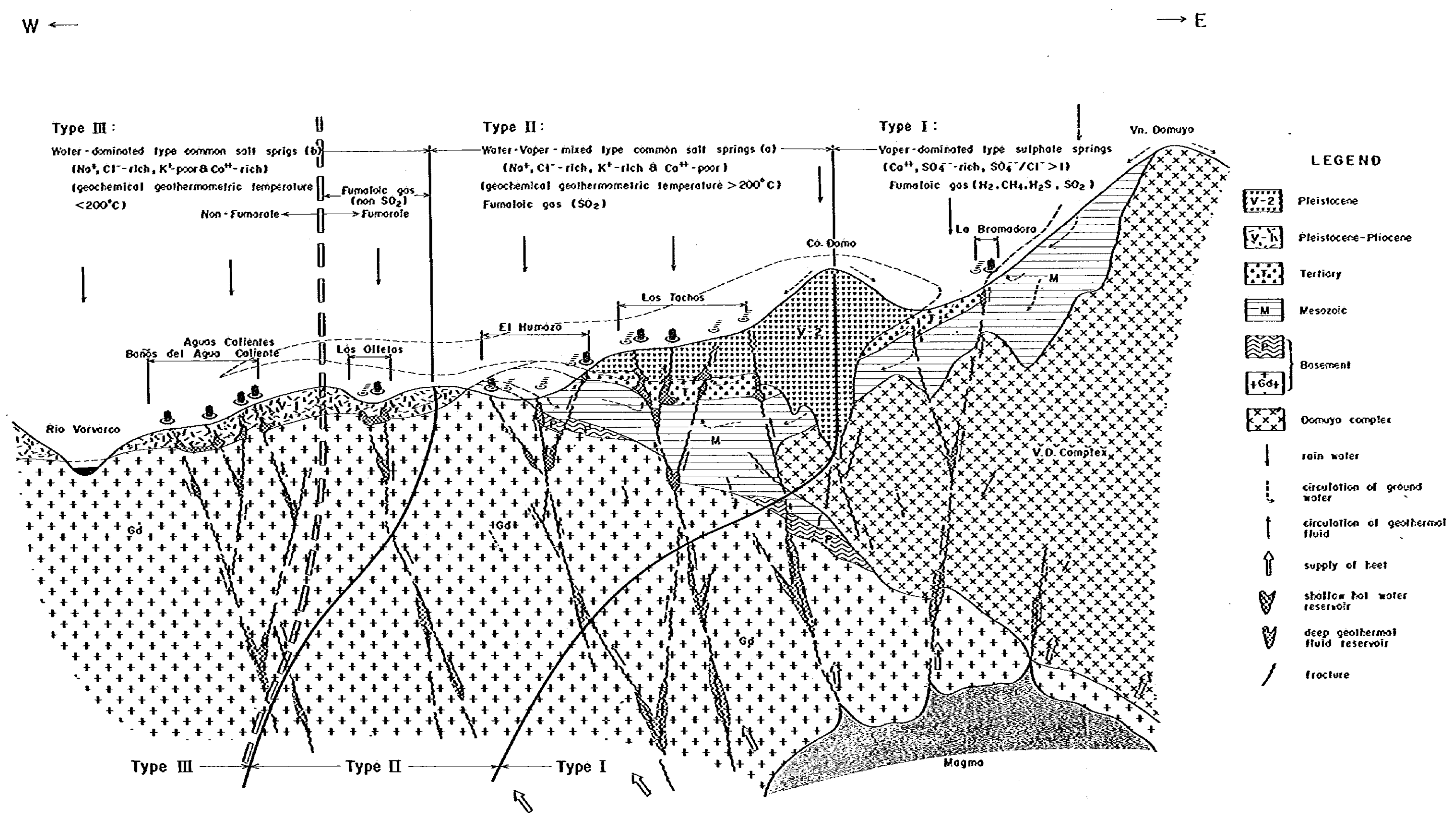


Fig. 23 Model of circulation mechanism of geothermal fluid and geothermal reservoir structure

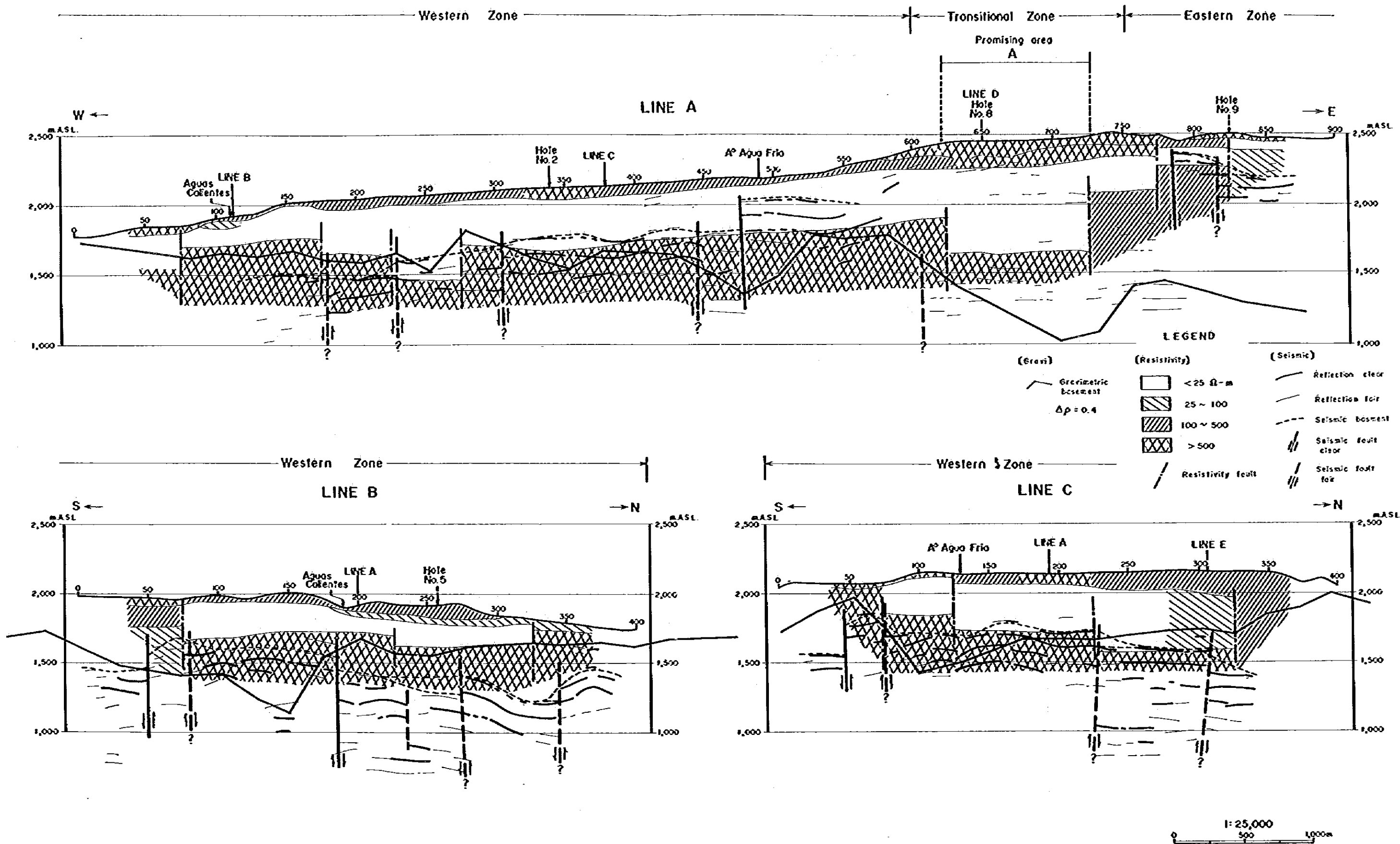


Fig. 24 (I) Synthetic interpretation section (Line A, B & C)

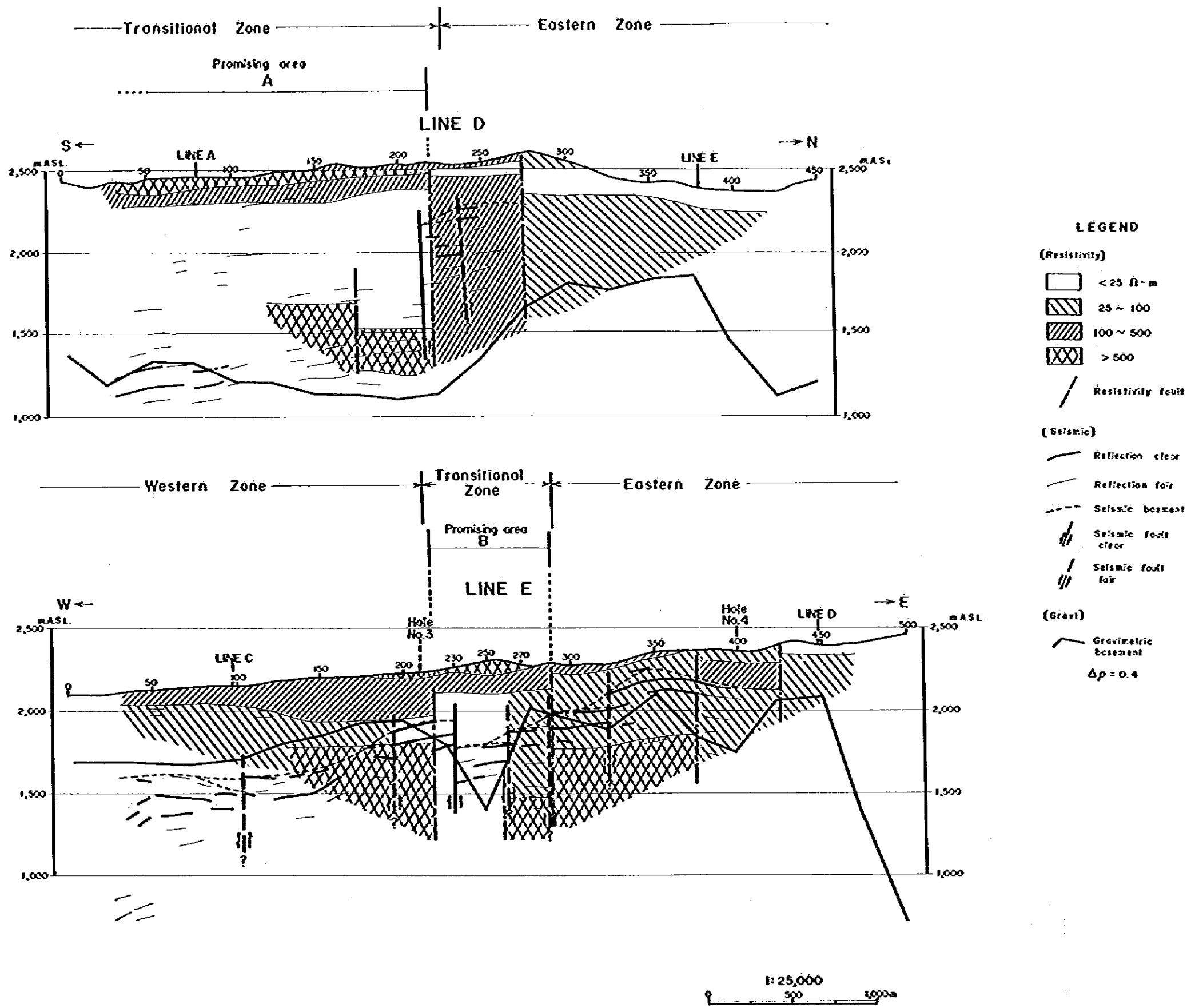
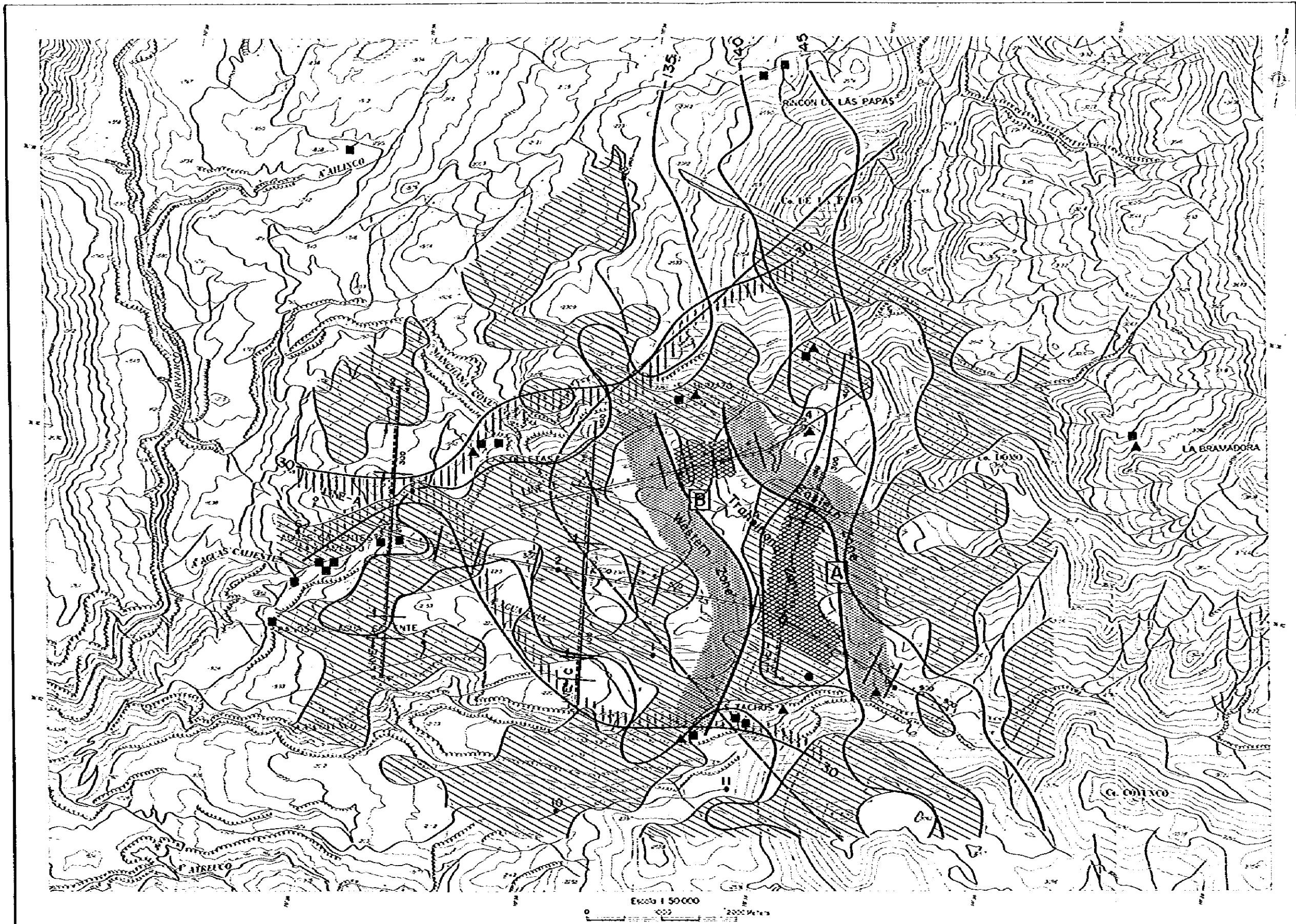


Fig. 24 (2) Synthetic interpretation section (Line D & E)



- LEGEND**
- (Gravity)
- $\rho = 2.30 \text{ g/cm}^3$
- Bouguer anomaly negative
 - Bouguer anomaly contour
- (Ground temperature at 100m)
- 30°C contour
- (Geothermal manifestation)
- Boundary of classification between TYPE I & II of hot spring by chemical composition
 - Hot spring
 - Fumarole
- (Resistivity)
- Resistivity basement zone over 800m depth
- (Seismic)
- Seismic fault
 - Recommended sites for 400m bore
 - Recommended sites for 1,500m well
 - Promising area
 - Western Zone
 - Transitional Zone
 - Eastern Zone

Fig. 25 Synthetic interpretation map

4. 今後の開発調査のためのターゲットとその方策

4. 1 最優先ターゲット

前述のような過程で、最終的には有望地域として、④、⑤の2地区が選定され、両地区とも地熱流体貯留層胚胎の場として、極めて強い期待が持たれるが、今後必要とされる調査井の掘削の最優先ターゲットとして、④地区を取り上げた。

④地区は⑤地区と比較して、岩石物性的により高有効空隙率の岩石構成が予想され、また構造的に規模がより大きい事が挙げられる。

深度的には、④地区での基盤深度は800~1,000 m程度であるが、落ち込み、断層ないし破碎帯等に伴う貯留層構造が、基盤内部に向って深度方向に発達することが予想される事から、1,500 m深度を調査井掘削の所要深度と判断した。

平面的掘削位置については、予想される落ち込み構造の境界部付近で、活発な地熱活動の存在を示唆するガス濃度や土壌Hg濃度異常部の連続線や、各種物理探査の結果からみた断層構造等、地下における種々の断裂系の密度の高いことが予想される地点を選定した。

一方、本調査終了後、1984年末からアルゼンティン側が、本調査のため計画され、一時停止していた400 m級の調査用坑井掘削を④地区で再開することになっており、更に詳細な資料が得られる見通しがあるので、当該調査井掘削位置、深度等については、これらも含めて検討することが必要であろう。

4. 2 今後必要とされる調査

一般的に、地熱資源の調査、開発には、次のような段階的プロセスが考えられる。

I. ポテンシャル評価段階 I-1 予察調査 I-2 基礎調査 I-2-(1) 地表調査 I-2-(2) 調査井調査(第1段階分) I-3 Pre F/S
II. 貯留層評価段階 II-1 開発調査 II-1-(1) 調査井調査(第2段階分) II-1-(2) テストプラント II-2 F/S
III. 開発段階 III-1 生産井掘削 III-2 設計 III-3 建設

本調査は第1～3次調査によって、極めて興味ある結果を得て完了したが、この段階的プロセスによれば、点線で示したようにポテンシャル評価段階における基礎調査のうち地表調査までを完了した事になる。

今後、当該地区において強い可能性が指摘された地熱流体貯留層の賦存について、将来の開発を目指す方向で考えれば、先ずこれらの結果を実証的に確認し、併せて地域的ポテンシャルを評価するとともに、この資源の開発がもたらすであろう周辺地域社会への貢献、影響等を検討するまでの、一連の調査を行う等、ポテンシャル評価段階を完了させ、以後の段階への進行を検討すべきであろう。

このためには、本調査の結果選出された最有望ターゲットである④地区での調査井の掘削を含めて、以下の段階的調査が必要と考えられる。

a) 400m級熱流量調査井の掘削と測温

第3次調査に際して計画され、かつ着手されたが、季節と天候の事情で中止された④地区における400m級坑井の掘削を再開し、計画された測温を行い、温度測定による更に

詳細なデータを取得し、貯留層胚胎深度を更に精度を上げて予知する資料とする。

b) 1,500 m級調査井1坑の掘削

④地区で1,500 m級調査井を1坑掘削して、貯留層を把握する。また、この場合今までの調査の結果からみて、高温部ないし貯留層に達する深度が比較的浅いことが予想されるので、掘削に際しては、フリベンダーの予設等危険防止策を十分に構ずる必要があるが、このためにも、前項で述べた400 m級坑井による調査結果に基づいて検討する余地がある。

原則的な調査井の内容は次のとおりである。

坑 数：1

傾 斜：垂 直

最終坑径：HQ（97.5%）

岩 芯：原則として全岩芯採取

仕 上：最終的には必要箇所へのストレーナー設置を含めたケーシングパイプ、セメンテーション仕上げ。

c) 岩芯による岩石・物性試験

調査井掘削による岩芯について、密度、有効空隙率、帯磁率、電気比抵抗、熱伝導率弾性波速度等の測定と、変質鉱物のX線解析、検鏡等を行い、調査井で実施する各種検層と貯留層評価のための基礎資料を得る。

d) 調査井に対する温度・電気検層

調査井内で温度・電気検層を行い、貯留層の垂直的規模や物性的実態を把握すると共に、既調査結果と、併せた再解析のための資料とする。

e) 地熱流体の噴出試験

地熱流体の噴出に対して、貯特性・動特性試験等を行って、調査井の噴出特性を把握・解析し、対象地熱流体貯留層の生産能力の確認を行う。

f) 総合再解析

以上の結果と、既調査結果を併せて総合的に再解析し、当該ターゲットへの確認評価のみならず、地域全般の地熱流体貯留層構造推定の精度を高める。

g) 経済的、社会的可能性調査(Pre F/S)

a)~f) までの段階的調査を実施し、当該地域における地熱貯留層の構造、生産能力等を局地的かつ実証的に確認するとともに総合的かつ大局的な地熱ポテンシャルを把握した上

で、予想される地熱資源の開発が、アルゼンティン国内で最も低開発過疎地域の一つに属するネウケン州北部地域におよぼす経済的、社会的効果ないし影響について予測検討し、全てを併せて総合評価を行い、次段階開発調査への進行と方策を検討すべきであろう。

1111

LIBRARY