

RY



アルゼンティン共和国

ネウケン州北部地熱開発計画

調査報告書

要約版

JICA LIBRARY



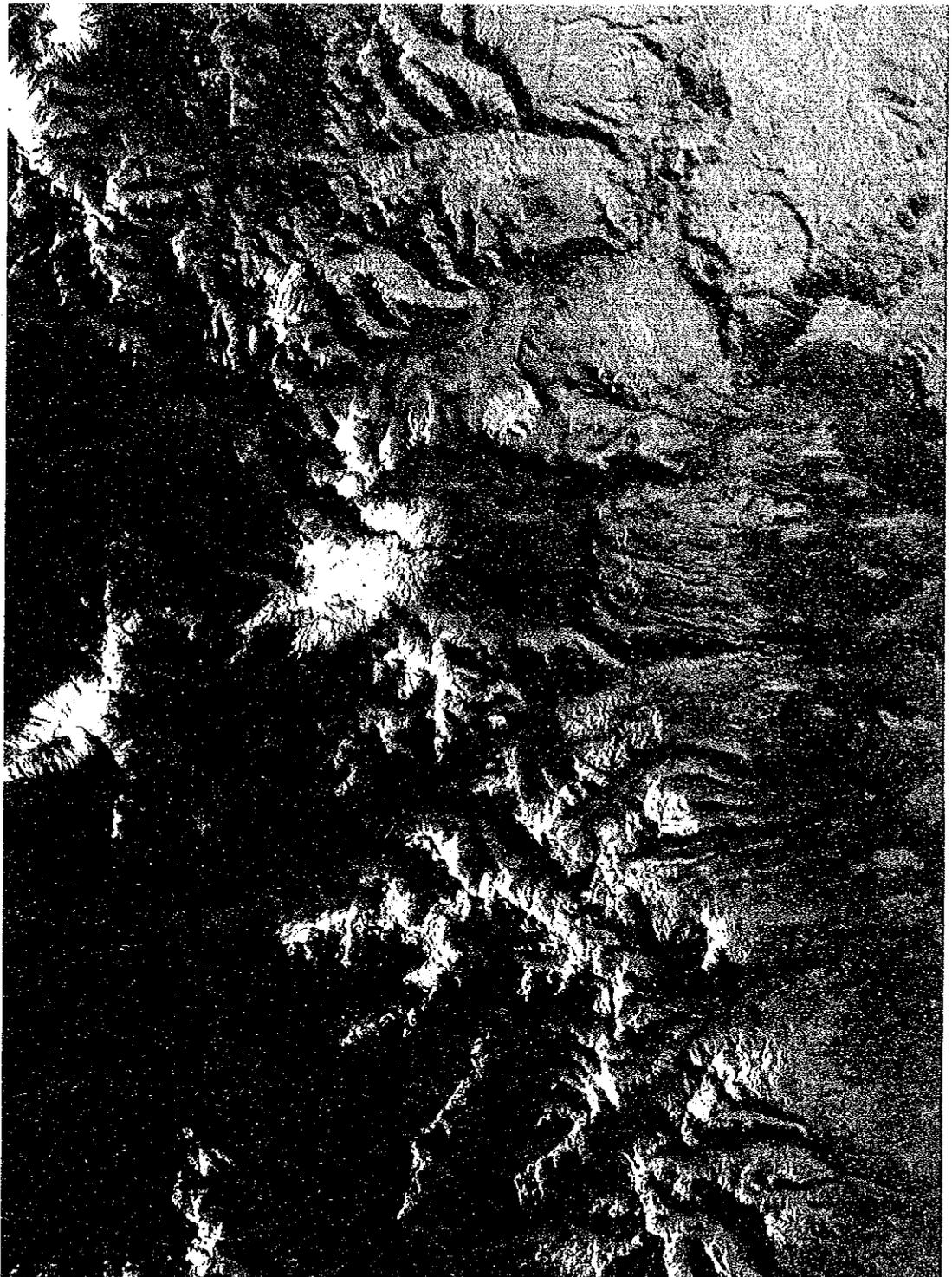
1097649(6)

23718

1992年5月

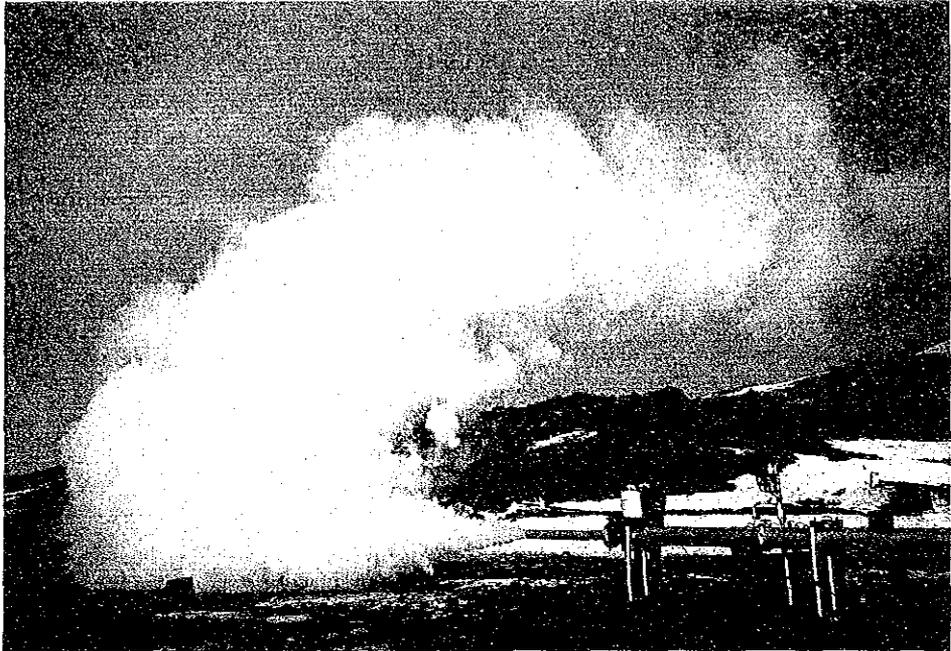
国際協力事業団





**LANDSAT Imagery of the Project Area and the Periphery**





Production Test of COP-3



Volcán Copahue from Las Máquinas



# 目 次

	頁
結論と勧告 .....	1
第1章 序 論	
1.1 計画の背景・経緯 .....	5
1.2 業務内容 .....	5
第2章 アルゼンティン共和国の一般概要	
2.1 地 理 .....	7
2.2 気 候 .....	7
2.3 人 口 .....	7
2.4 経済およびエネルギー資源 .....	8
第3章 計画地域の概要	
3.1 位置および地形 .....	9
3.2 気候および植生 .....	9
3.3 産 業 .....	9
第4章 電力需要と供給計画	
4.1 アルゼンティンにおける電力供給の現状 .....	11
4.2 アルゼンティンにおける電力需要想定と開発計画 .....	11
4.3 Neuquén州における電力の供給と需要 .....	11
4.4 Neuquén州における電力系統 .....	12
4.5 Neuquén電力系統により見た本計画の位置づけ .....	12
第5章 地熱資源量の評価	
5.1 地 熱 調 査 .....	18
5.2 総 合 解 析 .....	22
5.3 地熱資源量の評価 .....	23



5.4	発電出力の評価および決定	25
第6章 発電設備の予備設計		
6.1	予備設計条件	40
6.2	発電プラントの基本設計	41
第7章 送変電設備の予備設計		
7.1	基本計画	46
7.2	系統解析	46
7.3	発電所単線接続図および所内回路	47
第8章 建設工事		
8.1	建設工事工程	53
8.2	建設計画	54
8.3	概算工事費	55
第9章 環境の現状と対策		
9.1	一般的な環境に関する条件	58
9.2	社会状況	59
9.3	発電所建設に伴う環境に与える影響と対策	59
第10章 経済・財務評価		
10.1	経済評価	61
10.2	財務評価	61
10.3	総合評価	61
第11章 今後の調査		
		65



## List of Figures

		頁
Fig. 3-1	Location Map of Project Area .....	10
Fig. 4-8	Energy Demand Forecast EPEN .....	15
Fig. 4-9	System Diagram EPEN 1990 .....	16
Fig. 4-10	System Diagram EPEN after Geothermal Power Plant Installed .....	17
Fig. 5-1	Location Map of Investigation Works .....	29
Fig. 5-4	Geologic Map of the Survey Area .....	30
Fig. 5-7	Geologic Profile .....	31
Fig. 5-8	Composite Map of Geology and Lineaments (1) .....	32
Fig. 5-38	Columnar Section of COP-3 .....	33
Fig. 5-50	Compiled Map Showing Result of Each Survey .....	34
Fig. 5-51	Model of Geothermal System .....	35
Fig. 5-60	Map of Confirmed and Whole Area .....	36
Fig. 5-63	Cumulative Probability of MW Capacity, Confirmed Area .....	37
Fig. 5-68	Cumulative Probability of MW Capacity, Whole Area .....	38
Fig. 5-71	Evaluation Curve of Plant Capacity .....	39
Fig. 6-3	Location Map of Power Plant .....	44
Fig. 6-4	Plot Plan of Power Plant .....	45
Fig. 7-1	Copahue Geothermal P.P. Switch Yard .....	49
Fig. 7-4	Power Flow Diagram by Copahue P.P. Commissioning .....	50
Fig. 7-5	3 $\phi$ Short Circuit Diagram by Copahue P.P. Commissioning .....	51
Fig. 7-6	Copahue Geothermal P.P. Single Line Diagram .....	52
Fig. 8-1	Construction Schedule .....	57
Fig. 11-1	Candidate Location of Exploratory Wells and Further Investigations .....	67

## List of Tables

Table 4-1	Historical Energy Supply in Argentina .....	14
Table 4-2	Historical Energy Consumption in Argentina .....	14
Table 4-3	Energy Cost of Total Argentina .....	14
Table 5-1	List of Geothermal Investigation Works in Copahue Area .....	28
Table 8-1	Rough Construction Cost .....	55
Table 8-2	Breakdown of Estimated Construction Cost .....	56
Table 10-3	Economic Benefit and Cost Flow .....	63
Table 10-9	Unit Generation Cost .....	64



## 結論と勧告

Neuquén州北部地熱開発計画は首都Buenos Airesの西南西約1,170kmのCopahue地域に位置する計画である。調査検討の結果、本計画は技術面、環境面、経済性の観点からフィージブルであることが判明した。以下に結論と勧告を記す。

## 結論

1. アルゼンティンの電力供給計画によると、1990年で設備容量が15,640MWで2000年には24,290MWと年率5.5%の伸びが想定されている。この電力供給計画の伸び率の内、西部地域に主として賦存する水力発電の開発に主力がおかれ、続いて原子力発電の開発によって需要を賄う計画になっている。一方非再生化石燃料を用いた火力発電の開発は減少させる計画となっている。
2. Neuquén州は水力、石油および天然ガスのエネルギー資源に恵まれ、これら資源の開発、関連産業の設置等で経済活動が活発となっており、このため他州からの人口流入も多い。Neuquén州の1990年の発電設備容量は4,815MWであるが、電力消費量は僅か462.56Whであり、年間の電力需要はフラットな傾向にある。このため、当州で発電された電力は大消費地に500kVの送電線で送電されている。この傾向を勘案すると、本地熱発電所で発電された電力はEPENの電力系統に投入し、Neuquén州のベース需要に充当させることが妥当であると考えられる。
3. 本計画地域の1,200m付近に賦存している蒸気を用いて、30年間発電する場合の地下資源としての出力を評価すると、10～50MWと幅の広い数値となっている。資源面および経済面の両面から試算される最大確率点は25～30MW付近となる。一般に調査が初期の段階では、資源面での評価確率カーブは低出力側に偏る傾向があることを勘案して、本発電所の発電規模は30MWが妥当であると結論づけた。



4. 発電所の設計条件および基本特性は下記の通りである。

出力規模 : 30 MW × 1 unit  
年間利用率 : 85 %  
所内率 : 6 %  
年間発生電力量 :  $210 \times 10^6$  kWh  
坑井 : 1,200m × 7 本 (傾斜掘り 坑井長 : 1,340m)  
送電線 : Copahue ~ Loncopue (巨長 80km 電圧 132kV)

5. 建設工事工程は先行坑井掘削に2.5年、後続の坑井掘削と発電所本体工事に2.5年、合計5年間の工程が必要と史料される。

6. 上記の4項を基本条件として、概略建設工事費を1991年12月時点の価格を基準に積算すると $53,700 \times 10^3$  US\$ (外貨分 $15,089 \times 10^3$  US\$、内貨分 $38,611 \times 10^3$  US\$) である。但し、エスカレーションは見込んでいない。

7. 本発電所計画地点はCopahue 州立公園内にあるため、本発電所開発による周辺環境に与える影響がないように対策を講ずる必要がある。

1) 自然環境 : 計画地域は、ほとんどが準砂漠、荒地、一部が「上流域の草本灌木複合体」であり、標高1,800m以下の岩や斜面上に生育するaraucaria等の特有な種の植生がみられる。また、動物(脊椎動物)の生息標高限界は2,050mとなっているが、脊椎動物に限っても、固有種など保護すべき動物も少なくない。

2) 社会環境 : 計画地点周辺には約400人の住民がおり、温泉保養設備、数軒のホテルや体育館等の設備があり、夏の間は賑わっており、また冬のスキーシーズンには観光客も多い。

発電所計画地点周辺では気象条件の厳しさから、考古学的価値のある遺跡は存在する可能性は少ない。

3) 発電所建設に伴う環境対策 : 上記の観点から発電所建設に際して排出ガス、一般排水、騒音、温泉、景観等に関して環境対策を講ずる。



8. 経済・財務評価の結果、以下の通り経済的・財務的健全性が判明した。

1) 経済評価：代替電源設備アプローチ法により経済的分析を行った。

$$B - C = 3,977 \times 10^3 \text{ US\$} \quad (\text{割引率 } 10\%)$$

$$B / C = 1.10 \quad (\text{割引率 } 10\%)$$

$$EIRR = 12.67\% \quad (\text{資本の機会費用 } 12\%)$$

2) 財務評価：割引現金フロー法により財務評価を行った。FIRRは12.33%であり、予想借入金の利率8%に比較して財務的に健全であると評価できる。また、資金返済計画を策定した結果、キャッシュ・フローによると運開後7年目には黒字になることが判明した。

3) 発電原価：電力の発電原価をアルゼンティン国エネルギー庁で使用している方式によって試算した結果は0.0365US\$/kWh となった。

9. 本発電所計画は上記に述べた如く技術的にも、また経済的・財務的にも充分成立することが確認された。更に本計画の建設によって、下記のような間接的な効果が期待される。

- a) 石油、天然ガス代替のための新エネルギー源の開発促進に貢献する。
- b) 地熱発電技術の習得により、南米の国々に対して技術の普及、伝播が可能となる。
- c) 本計画周辺地域の地域振興にも寄与する。
- d) 本計画地域の電力供給の質・信頼度の向上に寄与する。

以上の間接効果も考慮し、総合評価として本計画は早期促進に値する計画であることが結論づけられる。



## 勸 告

1. 本地熱発電所の建設は南米で最初の本格的発電所であり、技術的にも、また経済的・財務的見地からもフィージブルであるので、南米諸国の地熱発電所の建設・運転・保守・維持管理の技術の普及、伝播にも寄与するので、早期に開発することが期待される。
2. 本計画地点の開発にあたっては、事前の十分な物理探査、既設井を利用した流電電位法による調査、JICAの供与機材による小口径の地質構造ボーリングにより地下構造調査、温度検層、噴気試験等を実施し、本格的な生産井掘削に向けて準備を推進することが望まれる。
3. 本報告書では発電出力を30MWと設定しているが、更に調査範囲を拡大すれば蒸気卓越型貯留層でも出力の増加が期待でき、また、1,400mより深部においても、熱水卓越型貯留層の存在が推定されているので、発電所増設を目指して今後継続して調査を実施することが推奨される。



## 第1章 序 論

### 1.1 本計画の背景・経緯

アルゼンティン政府は化石燃料と再生エネルギーの消費比率改善の一貫として、1970年代半ばから地熱資源の調査を推進してきており、国の北西域において10数カ所の有望地域が発見されている。その中でNeuquén州のCopahue地域は最も調査が進んでおり、2本の調査井から蒸気の産出に成功するなど、よい調査成果を収めている。

日本政府はアルゼンティン政府の要請に基づき、Copahue地域の地熱開発可能性調査について技術協力を行うこととし、1987年7月に国際協力事業団とアルゼンティン政府関係機関との間で“Scope of Work”が合意された。

### 1.2 業務内容

#### (1) 調査目的

本調査の目的はNeuquén州Copahue地域における地熱エネルギーポテンシャルを詳細に評価し、最適開発計画を策定することおよび本調査を通じアルゼンティン国側カウンターパートに対し技術移転を行うことにある。

#### (2) 調査内容

本調査は第1ステージ（地熱資源量の評価）および第2ステージ（フィージビリティ調査）の2段階に分けて実施する。

##### 第1ステージ

- 第1ステップ： 既往調査資料を収集検討すると共に、野外調査を行って、地熱系モデルを作成し、新たな調査井1本の掘削位置を選定する。合わせて電力事情と経済的観点から、この計画の位置付けを予備的に検討する。
- 第2ステップ： 小坑径の調査井1本（COP-3）の掘削を行い、掘削作業の技術指導をJICAチームが行う。
- 第3ステップ： 新調査井（COP-3）について地質、地化学調査と坑井試験を行い、第1ステップでの検討結果と合わせて解析し、地熱系モデルを構築する。これに基づき地熱資源量の評価作業を行う。



## 第2ステージ

第1ステージの結果に基づき、本計画の最適発電出力、最適サイトの決定を行うと共に、社会経済、環境調査、フィージビリティ設計、工事費積算、経済・財務評価を実施する。

### (3) 現地調査業務

1987年11月から1992年3月までの期間に調査団は以下の日程で現地作業を実施した。

#### 第1ステージ

— 第1ステップ	1987年11月24日	～	1988年1月22日	第1回現地調査
	1988年3月20日	～	1988年3月31日	プログレスレポート説明
— 第2ステップ	1988年10月7日	～	1989年5月22日	調査井掘削指導
	1989年11月22日	～	1990年3月30日	“
	1990年12月17日	～	1991年3月30日	“
	1991年3月11日	～	1991年3月31日	検層・コア調査
	1991年4月5日	～	1991年6月10日	調査井掘削指導
— 第3ステップ	1991年5月15日	～	1991年7月10日	検層・坑井試験・地化学調査
	1991年10月22日	～	1991年11月5日	中間報告書説明

#### 第2ステージ

	1991年11月26日	～	1991年12月25日	第2回現地調査
	1992年3月16日	～	1992年3月30日	最終報告書案説明



## 第2章 アンゼンティン共和国の一般概要

### 2.1 地理

アルゼンティン共和国は南米大陸の東南部に位置している。面積は3,761,274km<sup>2</sup>（南極大陸部を含む）で Bolivia, Brazil, Chile, Paraguay, Uruguayの各国に接している。首都はBuenos Airesで 2,095千人（周辺部も含めたGran Buenos Airesで7,926千人）の人口を擁する。アルゼンティンには23の州（含準州）があり、自然・経済条件に従い 東北部、北西部、クーヨ、パンパ、パタゴニアの地域に区分される。

国土の西側には Andes山脈が南北に走り、山脈地帯の主要部は標高4000～5000mの山稜をなす一方で、東側にはPampa と呼ばれる大草原が広がる。主要な河川としては、La Plata河がある。

### 2.2 気候

アルゼンティンは国土が南北に3694kmと長く広がっているため、気候は地域により変化に富んでおり、北から南に向かって亜熱帯、温帯、乾燥帯、寒冷帯の4つに大別される。年間降雨量はAndes山脈東側とPatagonia地方で250mm以下、Pampa地方で500～1000mm、北東部のMisiones州では1600mmを超える地域もある。

### 2.3 人口

アルゼンティンの人口は1991年国勢調査によると32,370,296人で、1980年時点と比較して15.3%の増加となっている。年率に直すと 1.4%の増加率となり、ラテンアメリカの中でも低い値である。人口構成は女性が51%、男性が49%で、世帯数は9,878,128である。1989年時点での都市部の人口比率は81.8%であった。

アルゼンティンの人口のうち85%はヨーロッパ系で35%がイタリア系、25%がスペイン系となっている。



## 2.4 経済およびエネルギー資源

### (1) 経済事情

国民所得の面からみると、1990年時点で製造業がGDPの20.7%、農牧林業が16.7%、サービス業が13%を占めている。1984~1990年における各セクターにおける成長率の推移をみると、建設業で大きな落ちこみが見られるほか製造業でも4年連続しての低下が見られる。

貿易面では農牧産品（牛肉、大豆、小麦、とうもろこし等）が伝統的に重要な輸出品となっている。総輸出額に占める割合も加工食品を含めると40%近くに達する。輸入については化学製品および機械類で約50%を占める。

### (2) エネルギー資源

アルゼンティンは石油、天然ガス等の資源が豊富なおよび水力発電、原子力発電等によりエネルギーについてはほぼ自給を達成している。従って国内で比較的未開発の石炭および天然ガスを極く少量輸入しているに過ぎない。



### 第3章 計画地域の概要

#### 3.1 位置および地形

計画地域は、Buenos Airesの西南西約1,170kmのChileとの国境に位置し、Neuquén市と計画地点とは約360kmの道路で結ばれている。計画地域はAndes山脈の脊梁部の太平洋と大西洋との分水嶺に位置している。

本地域の地形的な特徴は、本計画地点を取り囲む環状山地と氷河による浸食が挙げられる。環状山地は平坦な角張った盆地地形をなし、カルデラによる地形であることを窺わせている。一方、この地域は洪積世に広く氷河に覆われ、その強い浸食を受けており環状山地の山頂部は平坦で、明らかに氷河の擦痕が認められ、氷食は谷氷河の形状をなして下刻し低部は更に細部にわたって浸食されている。

#### 3.2 気候および植生

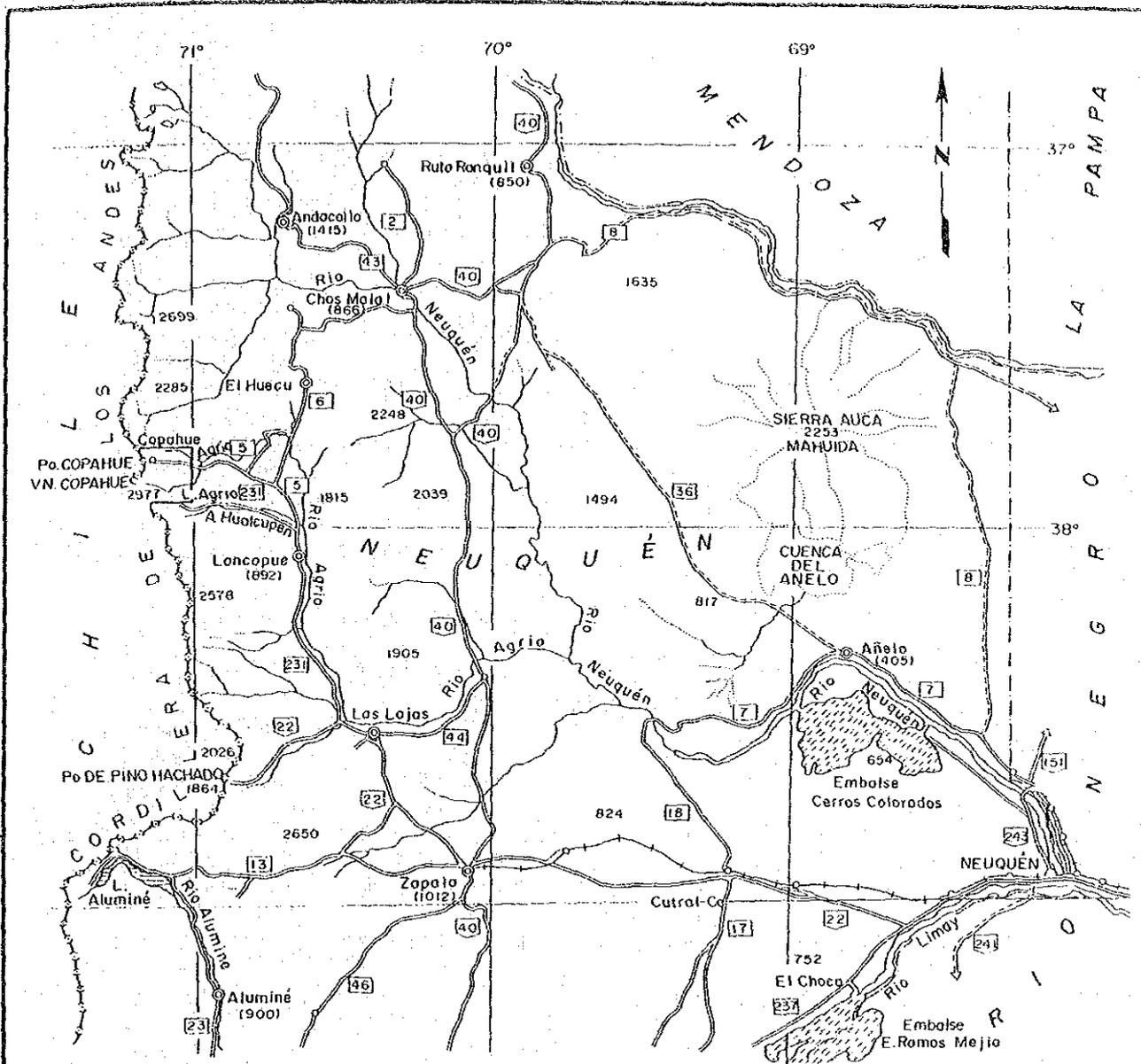
計画地域は南部Andes山地に属し、年間降雨量は約1,200mmで、その殆どは冬季の降雪によるもので、降雪日数は5月～10月の6ヶ月間に160日以上を記録している。気温は年平均で7℃であり、最高日平均及び最低日平均気温はそれぞれ2月の24℃、8月の-14℃となっている。年平均風速は21m/hで各月の日平均風速にはあまり大きな変化はない。卓越風向は4月から9月までは西風で、10月から3月にかけては南西風である。なお、計画地点の風速は6月から8月の冬季に最大35m/hを記録している。

上記のような気候条件を反映して、計画地点には全体として岩肌が露出しており、高原性の乾燥に強い植物が点々と生えている程度で不毛の状態と言える。

#### 3.3 産業

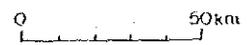
計画地域は気候的にも、また岩盤の露出した土地柄から農業には適しておらず、計画地点の東部には僅かではあるが、灌木と草が生えており羊や山羊の放牧が夏期を中心に行われている。計画地点の北東部には温泉を利用した大規模な保養設備があり夏期には賑わっているが、冬季には閉鎖されている。また、南北部には州立を含めホテルや体育設備があり、特に冬季のスキーシーズンには観光客が多くみられる。本地域は風光明媚な土地柄であるので、地域開発によって観光地として発展することが期待されている。





**LEGEND**

- National road
- Provincial road
- Project Area



CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA DEL NEUQUEN REPUBLICA ARGENTINA	
FEASIBILITY STUDY OF COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT	
LOCATION MAP OF PROJECT AREA	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
DATE:	Fig. 3-1



## 第4章 電力需要と供給計画

### 4.1 アルゼンティンにおける電力供給の現状

1989年現在のアルゼンティン全国の発電設備出力は15,212MWである。構成比は火力31.2%、水力42.6%、残余26.2%が原子力、ガスタービン、ディーゼル発電である。

アルゼンティン政府は国内に豊富に存在する水力エネルギーの開発を本格的に進めることとしている。また、自国に産するウランの利用による原子力発電にも注力し、冷却材としての重水製造工場（年間200t）の建設も進めている。

これらの発電設備は、公共サービス省管下のエネルギー庁の管轄のもとに多数の公営電力事業者によって運用されている。

1989年の発電電力量は46,437GWhで、消費電力量は36,160GWhであった。従って損失率は22.13%となる。損失率は最近の傾向として微増の傾向にあるが、これは需要電力量の増大に見合った送電設備の改修（上位電圧への移行、送変電設備の増設）が伴わないことに原因があるように思われる。

### 4.2 アルゼンティンにおける電力需要想定と開発計画

政府は詳細な需要想定を行い、1990～2000年における伸び率を想定し、2000年における需要電力量を107,880GWhとしている。これは1989年の実績値から年率平均10.4%の伸びを予想することになり旺盛な需要増である。この需要増に対応する発電設備の2000年までの増設計画も既に持っており、2000年における発電設備出力は24,290MWとなると予想される。この時点での設備構成は水力59%、火力31%、原子力10%となる。

### 4.3 Neuquén州における電力の供給と需要

Neuquén州においても1981年にNeuquén州エネルギー公社（EPEN）が設立されて電力事業を行っている。Neuquén州内には中央電力系統に所属する水力発電所（設備出力計4,815MW）および火力発電所（45MW）があり、Neuquén州はこれから電力を購入する。EPEN自体の発電設備は11,68MW（1990年現在）にすぎない。

1989年実績によるとEPEN管内の消費電力量（系統損失を除く）465GWhに対して、供給は中央系統よりの購入分466GWh、EPEN供給8.8GWhとなっている。



#### 4.4 Neuquén州における電力系統

Neuquén州は豊富な地下資源をもち、活発な工業化を行っており、これに対処して積極的な系統拡張が必要となる。1986年に実施された需要想定によると2000年の需要を1,495GWhと見込んで、設備の増強計画をたてている。

本計画の電力市場としてはEPENの供給区域であるNeuquén州全体を採るのが妥当と考えられる。その理由は以下の通りである。

- ① 本計画の開発規模は30MWである。この規模はプロジェクトサイト近くのCopahue-Caviahueで消費できる大きさではなく、EPENの系統へ送り込んでそこで消費する必要がある。
- ② プロジェクトの立地点はNeuquén州の西北に位置しNeuquén市からさえも350kmも離れている。従って州外への送電を考えるのは適切でない。
- ③ 更にEPENの電力系統はプロジェクトサイトの近くのCaviahueまでは33kV送電線が運用されており、本計画による発電電力はこの系統に接続されるのが適切である。

#### 4.5 Neuquén電力系統より見た本計画の位置づけ

本計画の開発規模は最初30MWであるが、需要の拡大、地下蒸気の賦存状況を見ながら順次増設することが望ましい。

従って、本計画によるNeuquén電力系統に対する貢献は下記となる。

##### (1) Neuquén州が中央電力系統より購入する電力量の減少

1989年現在EPENは466.14GWhの電力量を中央電力系統より購入している。従って、本計画が完成することにより、1989年の実績値で268.74GWhに電力エネルギーの購入を削減し得る。

##### (2) 系統末端発電所としてのメリット

Neuquén州の電力系統はNeuquén市を中心に3方向に放射状に構成され、北系統、中央系統はいずれも末端に有力な電源をもたない。

本計画による地熱発電所がCopahueに完成するのを機会に北系統、中央系統をループ化し、このループの接点であるLoncopueに本地熱発電所が連系されるならば系統が強化され、西部地域に対する電力の安定供給が図れる。



(3) Copahue地域の電力供給の安定

政府はCopahue地域の観光開発、温泉療養施設の開発などを進めているが、今まではCopahueの電源供給は不安定であった。本計画が完成すると、Copahue地区に有力電源が開発されてCopahueにおける電力供給が格段に安定する。

本計画の30MW地熱発電所を有効活用するためには、上述したように北系統、中央系統の132kVループ化は是非必要な措置となる。



**Table 4-1 Historical Energy Supply in Argentina**

(Unit: Gwh)

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Oil Thermal	14,095	13,422	12,061	13,920	15,805	20,646	21,239
Diesel	699	776	714	694	634	605	578
Gas Turbine	2,365	2,206	2,371	3,766	3,363	5,756	6,328
Hydro	18,334	19,785	20,554	20,936	21,819	15,179	13,253
Nuclear	3,405	4,641	5,766	5,711	6,465	5,798	5,038
Total	38,898	40,830	41,466	45,027	48,086	47,984	46,437

(Source: EPEN)

**Table 4-2 Historical Energy Consumption in Argentina**

(Unit: Gwh)

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Residencial	9,034	9,578	9,746	10,540	11,771	11,130	10,579
Commercial	3,326	3,568	3,553	3,665	3,754	3,506	3,280
Industrial	15,227	15,635	15,455	16,955	18,174	18,916	17,643
Others	3,933	4,312	4,070	4,480	4,697	4,839	4,658
Total	31,520	33,093	32,824	35,640	38,396	38,391	36,160

(Source: EPEN)

**Table 4-3 Energy Loss of Total Argentina**

(Unit: %)

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Loss Factor	18.97	18.95	20.08	20.08	20.15	20.00	22.13



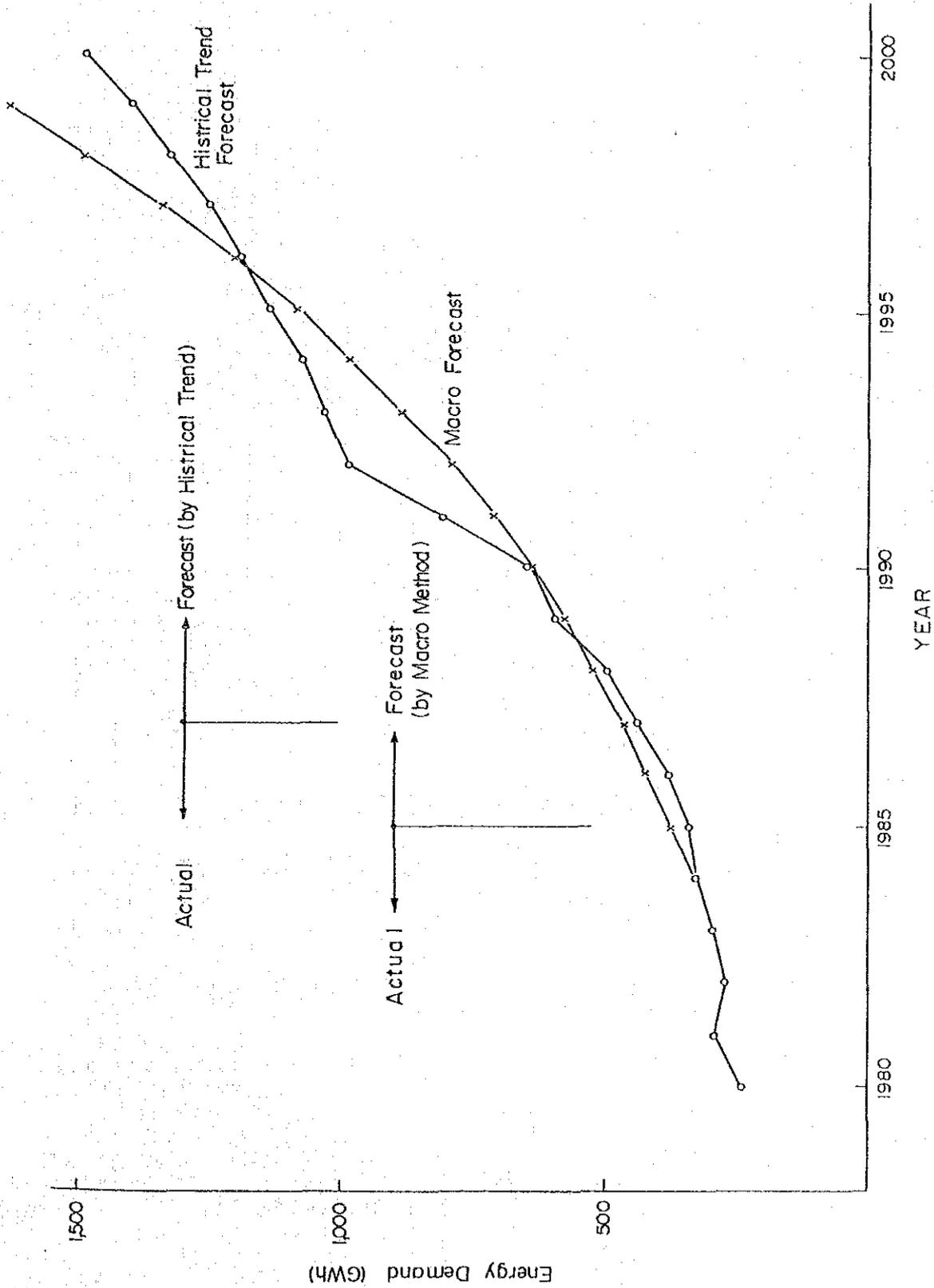


Fig. 4-8 Energy Demand Forecast EPEN



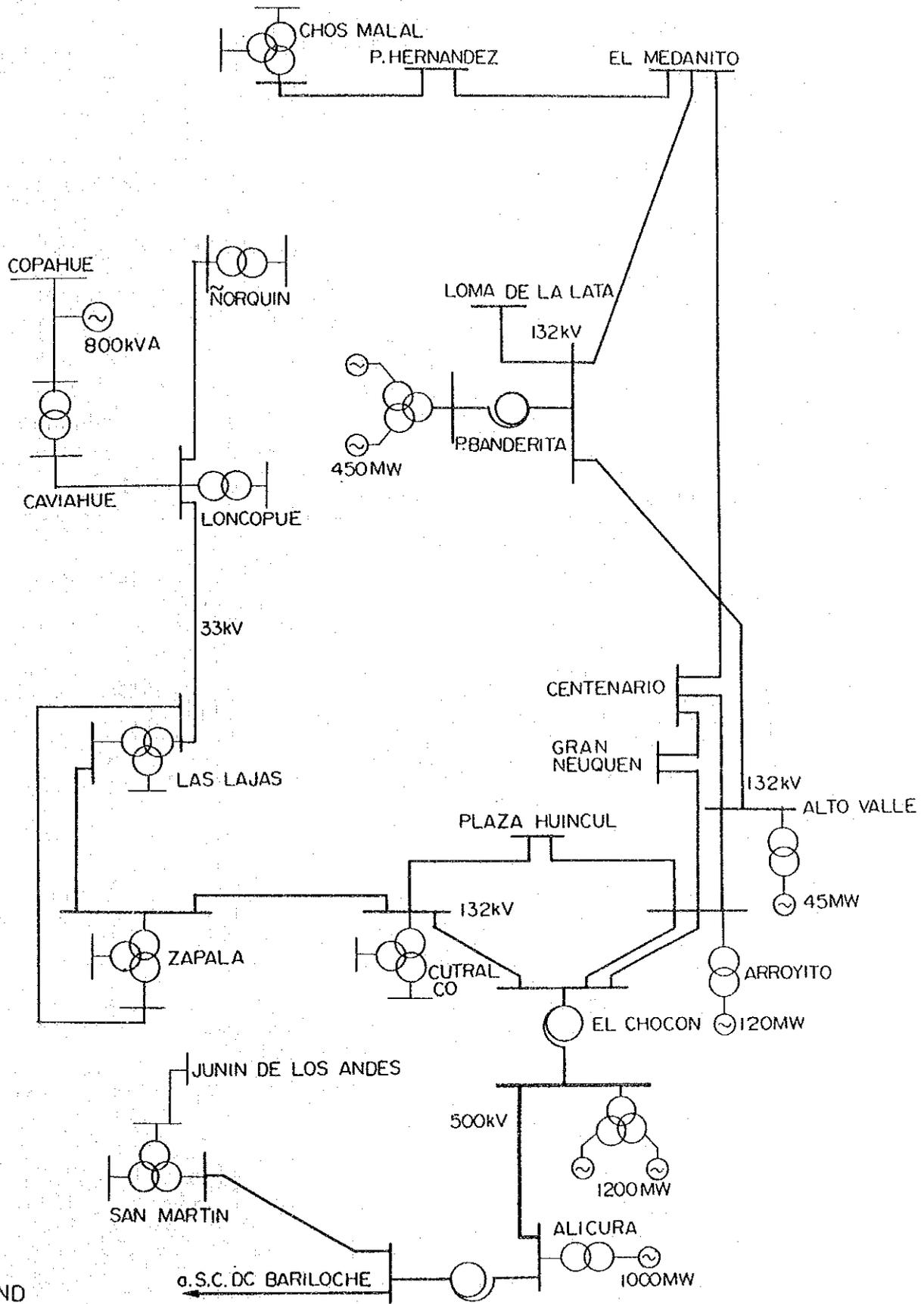


Fig. 4-9 System Diagram EPEN 1990



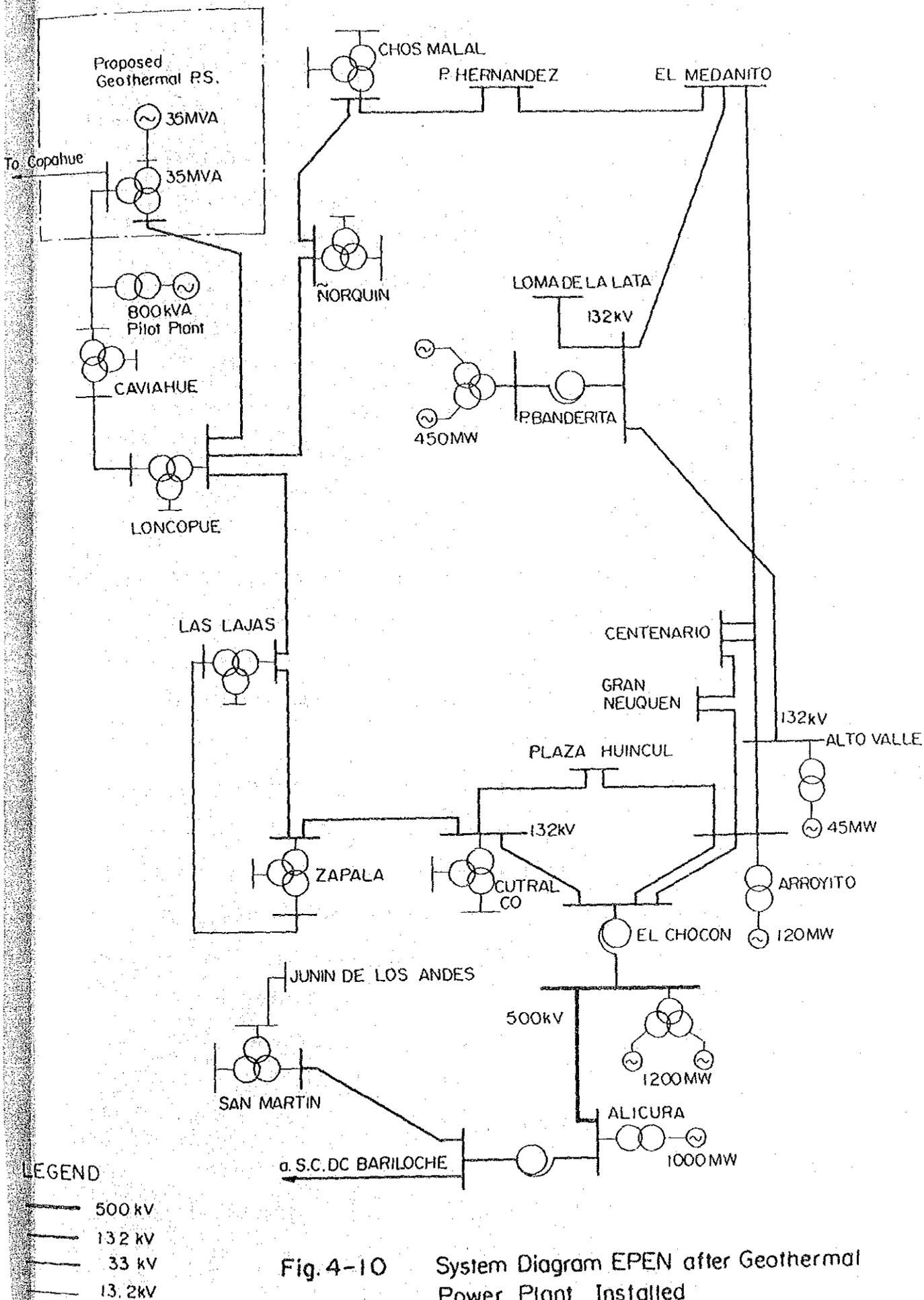


Fig. 4-10 System Diagram EPEN after Geothermal Power Plant Installed



## 5.1 地熱調査

### (1) 既往調査内容

Copahue地域について、本格的な現地調査が開始されたのは、Comisión Nacional de Estudios Geotérmicos が設立された1974年以降である。地質調査、地化学調査、重力調査、熱流量調査（17坑）が実施された後、1976年には調査井COP-1が深さ954 mまで掘削された。

1979年からは政令により地熱調査はNeuquén州にゆだねられることになり、州開発審議会=Consejo de Planificación para el Desarrollo(COPADE)を通じて実施されて来た。1980年にはLatinoconsult/ELC-Electroconsultに委託して地質調査、電気探査及び流体地化学調査が実施され、翌年には調査井COP-1の改修と増掘（1981年3月、深さ1,414m）が行われた。また、1982年には深部電気探査が実施されている。

1985年11月に亜国全体の地熱調査を所管する機関としてCentro Regional de Energía Geotérmica del Neuquénが設立され、調査井COP-2（1986年3月終了、深さ1,241m）が掘削されたのを始め、1987年までの間に、土壌地化学調査、流体地化学調査、COP-1,2の噴気試験等が実施されている。

### (2) 日亜技術協力プログラムで実施された調査

この技術協力プログラムには亜国側の意向により、追加の地球物理・地化学的探査は含まれなかった。従って、JICAチームは1987年12月から1988年2月の間に既往調査結果の図・表等を収集、解析すると共に下記の調査を実施した。

・航空写真及びランドサット画像の解析

・地質踏査

・ボーリングコア、カッティングの観察

CREGEN保管分 ; COP-2

Y P F 保管分 ; COP-1、熱流量調査坑（PC-1,2,3）

・岩石薄片観察 ; 地表サンプル、COP-2 のカッティング

・X線分析 ; COP-1、COP-2のコア、カッティング



上記の調査、解析の結果に基づいて、本地域の地熱系モデルを策定し、調査井 COP-3の位置を選定した。(プロGRESS・レポート、1988年3月)

COP-3の掘削は、最大深さ1,800mを目標にして、JICAチームによる技術指導の下に1989年1月にスタートした。掘削は1夏で完了する計画であったが、高い地温や大きい逸水といった厳しい自然条件の中で何度かの坑内トラブルに見舞われ、1991年4月27日1,065mで掘削を完了した。COP-3の坑井試験準備は吹雪の中で日・亜協力して進められ、1991年6月1日噴気に成功した。一連の坑井試験は16日間実施され、必要なデータを取得した。また COP-3から得られたコア、カッティング及び地熱流体についての各種試験・分析が日・亜双方で岩石薄片観察、X線分析、流体包有物、コア物性試験について実施された。

既往調査の結果を総合解析することによってプロGRESS・レポートの段階で策定された地熱系モデルは、COP-3によってもたらされたデータによって一部修正された。この地熱系モデルに基づいて、COP-1, 2, 3等で得られた地下温度分布、岩石物性、透水性等の数値を用いて2次元断面上での数値シミュレーションを行った上で、容積法による地熱資源量の評価を行った。

### (3) 地質概要

本地域はほぼ南北に伸びるAndes山脈の東側に位置する。広域的にみると活動時期、活動形態の良く似た複合火山が北限をNahueverリニアメント、南限をPino Hachadorリニアメントとする約220km間に南北に連なり(Ramos, 1978)、太平洋側との分水嶺を成している。複合火山は、中新世以前の堆積岩類や火山岩類を不整合に覆っており、それぞれ傾斜の緩やかな成層火山を成している。鮮新世に始まるこの火山活動は、サブダクションゾーン後方の南北方向の造構的起伏帯に生じた引張り応力場に位置し、その火成活動はカルクアルカリ系列及びショショナイト系列で特徴付けられる(Pesce, 1987)。

調査地域のあるCopahue-Caviahue複合火山体は、前述の火山列のほぼ中央に位置し、特徴ある環状地形を有している。

調査地域は、この環状盆地の北西域で、Vn. Copahueの北東約7 km周辺に位置し、5カ所の噴気を主とする地熱徴候地がある。



#### (4) 地質構造

本地域は広域的にみるとサブタグションゾーン後方のN-S方向に伸びる造構的起伏帯の引張応力場に位置する。一方、調査地域は鮮新世の成層火山を母体とし、そこに発生した火山性陥没による盆状構造の形成とそれに続く第四紀火山活動からなる複合火山体で特徴づけられる。

#### (5) 地熱徴候

本地域には5カ所の地熱徴候地が存在し、このうち1カ所はChile側に分布している。それらの面積は約1.2km<sup>2</sup>である。アルゼンティン側に分布している地熱徴候地は、Termas de Copahue, Las Maquinas, Las Maquinillas, Anfiteatroで、いずれもCopahue火山北東側のホルスト部に位置する。これらの地熱徴候地は全て馬蹄形状の窪地をなしており、酸性変質帯を形成している。これらの徴候地にはNE-SW系WNW-ESE系等の断裂が多数発達し、断裂と関係があるものと考えられる。窪地内には多数の噴気、温泉がみられる。噴出する総熱水量を推定することはできないが、蒸気の噴出が主であり、その流出している熱水が少ないことから地下からの地熱流体の供給は多くないと考えられる。Chile側の地熱徴候地は、CopahueからChile側への国境、Paso de Copahueを越えたところにあるChancho C6に分布する。

#### (6) 調査井COP-3について

##### (a) 地質

COP-3の掘削地点は、Las Mellizas上流湖の東岸から約30m、Rio Mellizasの右岸から約20mのところの位置している。

Rio Mellizasの河床には安山岩溶岩が全面に露岩している。従って、COP-3の掘削地点でも、土被りは極薄く、1m以下で着岩している。

坑口から1,065mの坑底まで第四紀更新世前期とされているLas Mellizas formationの火山噴出物及びそれに挟在する湖成堆積層よりなっている。

地表より深さ70mまでは、紫蘇輝石玄武岩溶岩になっており、凝灰角礫岩の薄層を挟んでいる。深さ70~210mまでは安山岩質及びデイサイト質な変質粗粒凝灰岩であり、安山岩層を挟んでいる。

深度210~420mまでは両輝石玄武岩質安山岩溶岩となっている。300~320m間



には変質火山礫凝灰岩を挟んでいる。

深度420～480m間には局地的に堆積したと思われる湖成層である凝灰岩質泥岩・砂岩・礫岩が分布する。

深度480～830m間には輝石玄武岩溶岩が分布しているが、この輝石は全て普通輝石から成っていることで特徴付けられる。620～640mには、凝灰岩質砂岩層を挟んでいる。変質鉱物として、緑簾石が亀裂を充填して広く分布している。800m以深では、岩石全体に熱水変質を強く受けている。

深度830～876mまでは変質凝灰角礫岩が分布し、一部に安山岩溶岩を挟んでいる。

深度876～1,008mまでは、強く変質した安山岩溶岩であり、角礫化しており、掘削中循環泥水の逸水が頻繁に起こっている。

特に深度1,009～1,018m間は安山岩溶岩が断層により破碎されており、断層帯となっている。この部分で最も逸水が激しく、COP-3に於ける主要な生産ゾーンとなっている。

1,026m以深から坑底の1,065mまでは、完晶質のポーフィライトとなっており、亀裂がほとんどない状態が続いている。

#### (b) 産出特性

本坑井は、掘削終了後温度回復を待って1991年6月1日～15日に噴出試験が実施された。本坑井はほとんど乾いた蒸気（乾き度が0.92～0.99）を産出し、蒸気中には11%（質量濃度）の非凝縮ガス（主にCO<sub>2</sub>）が含まれている。噴気初期には掘削泥水の影響等により熱水量も比較的多かったが、噴気の継続と共に急速に熱水量は低下していった。

本坑は最大蒸気量約9 t/h（坑口圧力1.4 kg/cm<sup>2</sup>G）であり、前述のとおり貯留層の浸透性が高いため、小坑径の坑井にもかかわらず良好な噴気特性を示す。また、坑口バルブを絞り、坑口圧力を上げるほど蒸気が湿ってくる傾向を示し、これに伴い坑口比エンタルピーも、644 kcal/kgから595 kcal/kgに低下している。これは地層平衡温度の低い坑井上部からの熱損失及び坑井近傍の貯留層の蒸気飽和度の変化に伴う相対浸透率の影響と考えられる。

本坑井の長期的な産出特性の変化については、長期噴気試験の結果により明らかになると思われるが、1991年8月末までのデータによれば、熱水量が無視できるほど少なくなったが、蒸気量については顕著な変化は認められていない。



## 5.2 総合解析

### (1) 地熱系モデル

熱構造、貯留構造及び流体流動から以下地熱系モデルを構築した。

- (a) 本地域の熱源は、Las Mellizas formationからVn. Copahueまで続いた一連の火山活動をもたらしたマグマ溜りであり、Vn. Copahueからホルストにかけて熱伝導の高い地域となっているものと考えられる。
- (b) 本地域の温度断面は、ホルストを中心に盛り上がった形状を示し、深度600~800mで230℃以上を示す。それ以深は蒸気卓越型貯留層に入り、ほぼ一定の温度(230~240℃)である。ホルストの縁辺に位置するCOP-1, 3とホルストの中心寄りに位置するCOP-2の坑内温度を比較すると熱的にはCOP-2の方がより中心に近いものと考えられる。
- (c) Termas de Copahueをはじめ各地熱徴候地に出ている流体は、<sup>3</sup>Hからその滞留時間は短く、また酸素と水素の同位体比から深部から供給されたものではなく、比較的近傍に降って地下に染み込んだ天水が蒸気とガスの混入によって暖められたものであると考えられる。
- (d) 一方、COP-1, 2, 3から得られる深部流体のリチャージエリアは地形から高標高地であるVn. Copahue及びC° Chanco Cóであると考えられる。流体の流動方向について流体の地化学解析からは本フィールドは推定できないが、NE-SW系の断裂とそれに沿う電気探査の見掛け低比坑(AB/2 = 1,500m)の伸びがVn. Copahueからホルスト深部への流体の流動を示唆しているのかもしれない。
- (e) ホルストの東を境するNW-SE系の2本の断層もまた、断層沿いに変質が発達しており、それが低比抵抗分布に明瞭にあらわれている。これは、流体流動を示唆するものである。
- (f) COP-1, 2, 3の坑内温度が約240℃で一定の温度になる深度、すなわち、蒸気卓越型貯留層の上部には変質帯が存在しており、これが帽岩となっていると考えられる。電気探査からも推定されるこの変質帯は、上昇してくる蒸気の逸散をとめると同時に、上方からの天水の浸透をおさえている。
- (g) COP-1, 2, 3で確認された貯留層は、Las Mellizas formationの破碎された溶岩に流体が貯留されていると思われる。COP-1, 2の生産性はプロダクションテストからあまり良くない。生産指数は両坑とも約0.7t/h/kg/cm<sup>3</sup>である。一方、



COP-3 では生産指数  $3 \sim 17 \text{ (l/h)/(kg/cm}^3\text{)}$  とかなり良い生産性を示した。また、COP-1, 2の同位体比の経時変化から貯留層内の貯留流体量は、両坑井の生産量（約  $5 \text{ l/h/well}$ ）に比して、小さい可能性がD'Amore et al. (1987)によって指摘されている。

(h) 環状盆地の基盤であるHualcupen formationの深度は、ホルスト部で重力探査から1,600m程度であると考えられる。その上位には、不透水層のRiscos Bayos pyroclastic flow depositsが分布している可能性が考えられる。この不透水層直下のHualcupen formationの上部にも環状地形急崖での観察から、溶岩が卓越する層であり、断裂沿いには優秀な貯留層を形成しているものと推定される。

(i) 本貯留層形成に関連の深い断層として、地質、坑井データ及び地熱徴候の分布から次の3系列が考えられる。

(i) Chanco CóからLago Agrioに続くWNW-ESE系の断層

(ii) 地熱徴候地に発達するNE-SE系の断層

(iii) Las Maquinasの東側のNW-SE系の逆断層

### 5.3 地熱資源量の評価

#### (1) 容積法による評価

Copahue地域の貯留量推定に際しては、以下の2つのケースに分けて計算を行った。

##### (i) 確認地域

COP-1, COP-2及びCOP-3により貯留層が確認されている地域を評価の対象としたケース。

##### (ii) 全体地域

Terma de Copahue 等地熱徴候地を全て含んだ三角形で囲まれる地域（電気探査で把握された地域）全域を評価の対象としたケース。

また、蒸気卓越型地熱貯留層の下位に想定されている深部熱水層の存在は確認されていないので、まず蒸気貯留層のみを対象として貯留量推定を実施した。

#### (a) 確認地域

Copahue地域の中でCOP-1, 2及び3により貯留層の存在が確認された地域のみを対象として貯留量の評価を実施した。3坑井で形作られる一辺が約1kmの正三角形



の地域の外側に幅1 kmの帯域を設けた地域を確認地域として抽出した。その面積は約4 km<sup>2</sup>である。

貯留層の厚さの正確な推定は坑井の数及びその深度が十分でないため困難であるが、最小値としてCOP-1の深度800m~1400m(+1200m ASL~+600ASL)で確認された区間、すなわち厚さ600mを選択した。また、最大値としては、COP-2で確認された貯留層上面深度(+1400m)から標高+200 m(深度約2200m)まで貯留層が存在すると仮定して、厚さ1200mとした。また、典型的な値として標高+1300 mからLas Mellizas層の下面深度(+400m ASL)までの厚さ900mを最尤値とした。

貯留層の平均温度は、COP-2の貯留層温度約230℃、及びCOP-1の最高温度約250℃をそれぞれ最小値及び最大値として抽出し、最尤値は240℃として、三角形確率分布を与えた。

パラメータ $\rho_i$ と $C_i$ は温度 $T$ が推定されれば、蒸気表から求めることができる。平均空隙率 $\phi$ はコア物性試験や地熱地域の一般的値を参考として、最小値及び最大値をそれぞれ4%及び10%とする一様分布を設定した。また水飽和率は、最小値として典型的な残留飽和度0.3を取り、最大値は0.5と設定して、一様分布を与えた。

回収率は、最も設定困難なパラメータであるが、ここでは、Nathenson(1975)の回収率の図(回収率は温度、空隙率及び水飽和率の関数として表される)及び上記のとおり設定した空隙率並びに水飽和率の最大値・最小値を用いて推定した。すなわち、空隙率及び水飽和率の最小値0.04及び0.3から理論的な回収率は約5%と得られる。これは全体的に浸透性の良い理想的な貯留層についての値であり、実際の貯留層では全体の約75%程度が浸透領域と考えても良いだろう。従って、回収率の最小値として0.04を採用した。一方、回収率の最大値は、同様に空隙率と水飽和率の最大値0.1と0.5から理論的な回収率が約20%と得られたが、同様に実際の貯留層では最大その75%が浸透領域であると仮定して、0.15を採用した。回収率の確率分布は一様分布を設定した。

#### (b) 全体地域

Copahue地域全体の貯留層の面積としては、地熱徴候地を含む三角形で囲まれる地域(電気探査で把握された地域)約13km<sup>2</sup>が最大と考えられる。しかし、実際の貯留層面積はこれより小さいかもしれず、最小値としてLas Maquinas, Las Maquinitas, Termas de Copahue, AnfiteatroおよびCOP-3で囲まれる地域に幅



500 mの帯域を加えた平行四辺形の地域約11km<sup>2</sup>を選択した。この中で最も尤値は決め得ないため、貯留層面積として、最大値、最小値がそれぞれ13km<sup>2</sup>、11km<sup>2</sup>の二様分布を設定した。

貯留層の厚さについては、確認地域のパラメータと同様、最小値、最大値及び最尤値をそれぞれ600m、1200m及び900mと設定した。

貯留層の平均温度は、最小値及び最大値をそれぞれ230℃及び250℃とし、二様確率分布を与えた。

平均空隙率 $\phi$ 及び水飽和率も確認地域と同様の考えを適用した。従って回収率の最大値も同様の値（15%）となる。回収率の最小値については、全て浸透領域である理想状態の回収率（5%）に対して、実際の広域の評価対象地域に於てはその半分程度が浸透領域であると考えられるので、0.025を採用した。

#### 5.4 発電出力の評価および決定

##### (1) 発電規模の評価

ある地熱地域に存在する地熱資源量の算定方法の一つとして、容積法があり、開発の初期の段階において有効に使われている。調査が進み、その地域の情報が、より詳細に得られた段階においては、分配パラメータモデルによる3次元流体流動シミュレーションを行い、将来予測も含めた適正発電規模の決定が行われる。

本地域の発電規模を評価するに当たり、調査の内容及び数量などを考慮し検討した結果、容積法による評価が妥当であると考えられる。

容積法を本地域に適用するに当たり、地熱徴候地、物理探査結果、地質構造、地温分布などから地熱貯留層の賦存が想定される全体地域と、その中でも実際の調査井掘削により、地熱流体の賦存が確認されている確認地域とに分けて検討を行った。

##### (2) 確認地域の発電規模

確認地域における容積法のモンテカルロシミュレーションによる発電電力量の累積確率分布では、通常、目安とされる85%で21MW、90%で18MWとなっており、およそ20MW以上の発電が可能であるとの結果が得られた。

一方、確認地域には、COP-1、COP-2および今回掘削したCOP-3の3本の坑井がある。COP-1およびCOP-2において確認された、蒸気卓越型の貯留層は、必ずしも良好



な透水性を持っていないように思われたが、COP-3においては十分な透水性を、言い替えば良い生産性を持っていることを確認することが出来た。すなわち、COP-3においては、最終掘削口径が、NQサイズ（φ96mm）と小口径のボーリングにもかかわらず最大9.4t/hの蒸気量を産出した。貯留層温度、地熱流体のエンタルピー、生産指数等が同一と仮定して最終口径8-5/8 インチの生産井を掘削した場合を想定し、計算すると50ないし60t/hの蒸気量が得られることになる。これは発電出力に換算して約6～7MWに相当する。

これらのことは、COP-3程度の生産井規模の井戸が3ないし4本蒸気の噴出に成功すれば、20MWの発電は可能である事を示している。

リスクを見込んでも10MWクラスの発電はかなりの確度で実現可能であろう。

### (3) 全体地域の発電量

本地域全体については、確認地域を除き詳細な坑井調査は実施されておらず、貯留層温度や透水性については、かなり推定に基づき入力している。

今回は、蒸気卓越型についてのみモンテカルロシミュレーションを含む容積法により資源量を算出した。

この計算結果から、発電量の度数分布を見ると、その形は平たく、30MWから150MWまで、有意のピークが見いだせない。中央の値として、90MWが得られた。累積確立分布では50%で95MWとなっている。調査の進んでいない時点では、この程度の可能性を仮定した方が、良いのかも知れない。85%では48MW、90%では40MWと低い値となっているが、調査が進み、度数分布がピークを持つようになれば、大きな値を取るようになるだろうと思われる。

なお、貯留層温度230℃、厚さ600m蒸気卓越型として決定式により計算した結果では、81MWの値が得られている。

これらの結果より、低く見積っても蒸気卓越型貯留層として80MW程度の発電量が期待される。

前述の確認地域に関しては、調査井によりその存在が確認されているが、全体地域については、坑井による確認はされていない。今後、CSAMT法などの有効な物理探査等を実施し、有望地域を絞り込み、調査井による貯留層の存在の確認と規模を明確にする調査の実施が必要である。現時点における評価としては、実際に地熱発電所



が開発されている地域における発電規模と容積法による資源量の関係から、容積法による発電量の半分以上の実現は、比較的容易であることより、本地域においても50MW程度の発電は可能と考えられる。

#### (4) 熱水卓越型貯留層の可能性について

深度にして1400mより深部において、熱水卓越型の貯留層の存在が推定されており、この部分については、決定式容積法により資源量を算定した。この計算結果として、141.2MW ≒ 140MWが得られている。

この熱水卓越型の存在については、直接に証明できる証拠は得られていないが、その規模が、140MWと大きいため、今後、調査井等によって確認する価値が充分にあると考えられる。

#### (5) 出力の決定

本地点の1,200m付近に賦存する蒸気を用いて、30年間発電する場合の地下資源としての出力評価としては、10～50MWと幅の広い数値が提示されている。

このように評価の幅が広いと云う事は、調査が初期の段階にある事を意味するものであり、調査の進展に伴いその幅は小さくなるのが一般的である。

現段階ではこの出力幅に於ける確率は100～15%であり、80%確率での出力は20MW、60%確率では30MWとなっている。

一方、経済性の面から見ると、発電ユニットの規模が概略50MW以下の範囲では出力が小さいほどユニットコストは上がり、プロジェクトが実現する確率は低くなる。

今、仮にコストの目標値を30Mill/kWhとし、経済面での実現可能性の確率を30Mill/kWh以下では90%、50Mill/kWhで10%とすると、その出力と確率の関係は各々10MWで10%、20MWで53%、30MWでは84%となる。

従って、資源面および経済面の両面から見た可能性は両者を掛け合わせたものとなり、その最高点は25～30MW付近となる。

一般に調査が初期の段階では、資源面での評価確率カーブは低出力側に偏る傾向にある事を勘案して出力はやや大きめの30MWとした。



Table 5-1 List of Geothermal Investigation Works in Copahue Area

Investigation Works	Year	Admini- stra- tion *1	Exe- cutor	Scope of Investigation Works	No. of Data *2
Geological survey	1974 1980 1987	CNEG COPADE	YPF L-ELC A. H. Pesce	regional survey detailed survey volcano-tectonics	- C1, 13 C6
Geophysical prospecting					
Gravity prospecting	1975	CNEG	YPF	180 km <sup>2</sup> , 285 points	C26-27
Electrical prospecting	1980	COPADE	L-ELC	AB/2=2000m, 56 points 69 lines	C1
	1981	"	"	AB/2=5000m, 7 points 15 lines	C3
	1987	CREGEN	CREGEN	AB/2=1500m, 11 points	
Geochemical survey	1974	CNEG	YPF		-
Soil geochemistry	1986	CREGEN	CREGEN	Hg, CO <sub>2</sub> , 1m depth temperature 10km <sup>2</sup> , 70 points + 8 km <sup>2</sup> , 50 points	C7
Fluid geochemistry	1980-87	COPADE CREGEN	L-ELC CREGEN	surface water, fluids of fumarole, well fluid, analysis of chemical composition and isotope	C1,18-23
Well survey					
Thermal gradient hole	1975-76	CNEG	YPF	11-200m, 17 wells	C28,29
Exploratory well COP-1	1976	CNEG	YPF	954m, logging	C2,4,31,
"	1981	COPADE	YPF	deepen to 1414m	32,34
Exploratory well COP-2	1986	CREGEN	CREGEN	1241m, logging	C5,33, 34,35
Well test (COP-1, 2)	1981-87	COPADE CREGEN	L-ELC CREGEN	production test, hole temperature. pressure	C2,4,5, 31,36,37 38

\*1 Administration

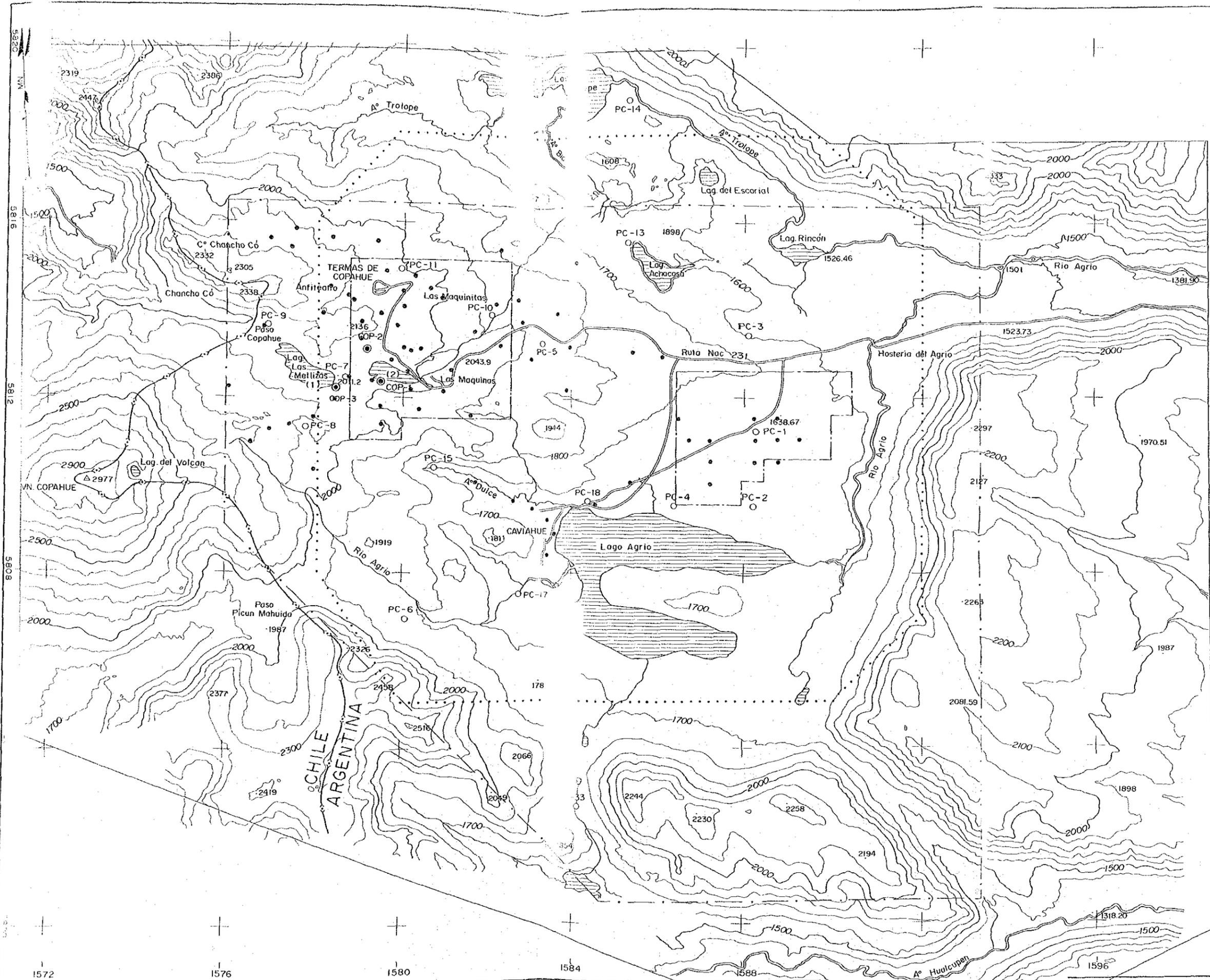
CNEG : Comision Nacional de Estudios Geotermicos

COPADE: Consejo de Planificacion para el Desarrollo

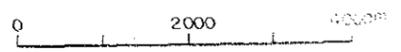
CREGEN: Centro Regional de Energia Geotermica del Neuquen

L-ELC : Latinoconsult/ELC-Electroconsult

\*2 List of Collected Dates

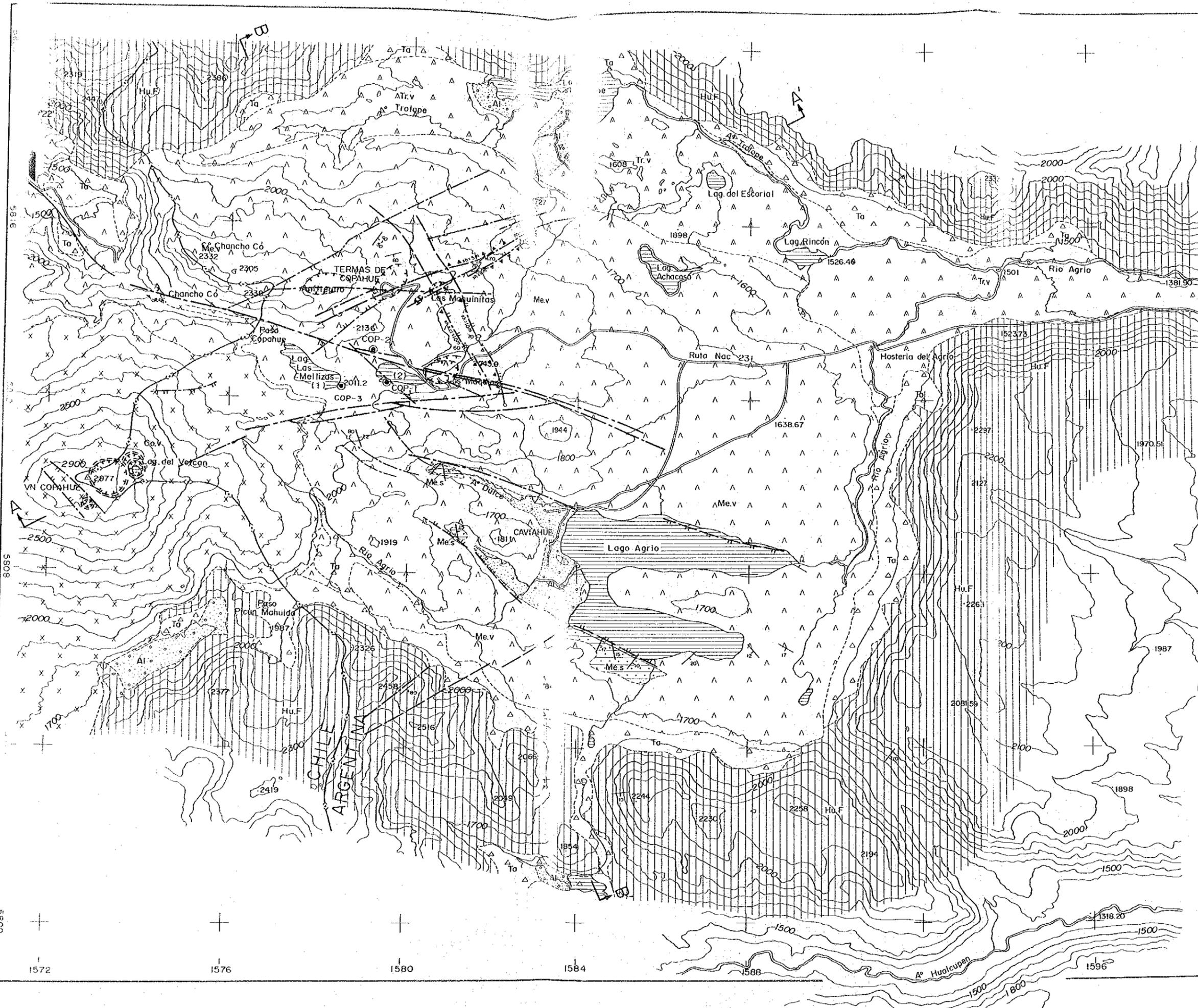


- LEGEND**
- Geological Survey
  - Photogeology
  - Soil Geochemical Survey
  - Fluid Geochemical Survey
  - Gravity Prospecting
  - Electrical Prospecting Point
  - Thermal Gradient Hole
  - Exploratory Well



CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA DEL NEUQUEN REPUBLICA ARGENTINA	
FEASIBILITY STUDY OF COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT	
LOCATION MAP OF INVESTIGATION WORKS	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
DATE:	Fig. 5-1

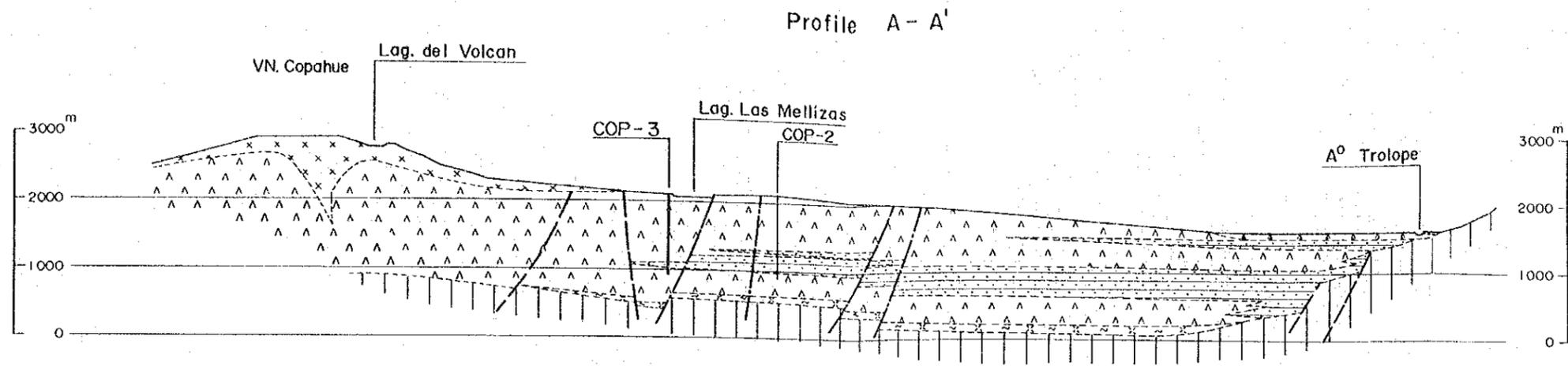
1572      1576      1580      1584      1588      1596



**LEGEND**

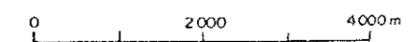
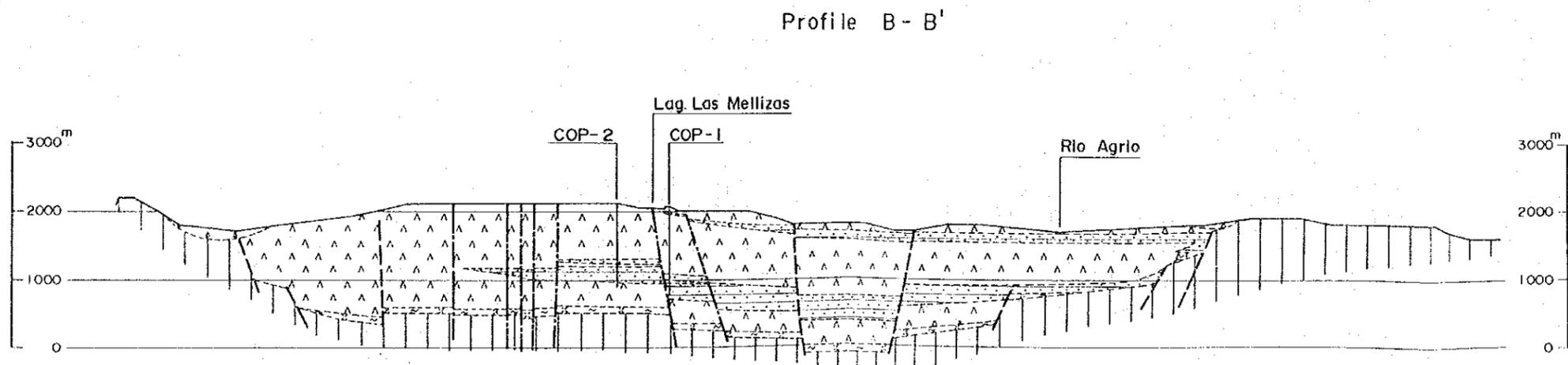
- |             |                        |          |   |
|-------------|------------------------|----------|---|
| Quaternary  | Holocene               | [Symbol] | Alluvium<br>Gravel, Sand and Mud  |
|             |                        | [Symbol] | Talus<br>Gravel, Sand and Mud   |
| Pleistocene | Copahue Volcanic Rocks | [Symbol] | Pyroxene Olivine Basalt, Liparite and Pyroclastic Rocks   |
|             |                        | [Symbol] | A' Trolope Volcanic Rocks<br>Pyroxene-bearing Plagioclase Andesite                                    |
|             |                        | [Symbol] | Olivine Pyroxene Basaltic Andesite, Pyroxene Andesite and Agglomerate etc.                            |
| Tertiary    | Pliocene               | [Symbol] | Las Mellizas Formation<br>Lake Sediments and Glacial Deposits<br>Conglomerate, Sandstone and Mudstone |
|             |                        | [Symbol] | Hualcupen Formation<br>Fine Pyroxene Andesite, Agglomerate, Tuff Breccia, Tuff etc.                   |
- 
- [Symbol] Geologic Boundary
  - [Symbol] Strike and Dip of Strata
  - [Symbol] Fault sh: Shear Zone(m)  
cl: Fault Clay(m)
  - [Symbol] Fault (Assumed)
  - [Symbol] Strike and Dip of Normal Fault
  - [Symbol] Strike and Dip of Reverse Fault
  - [Symbol] Fumaroles and Hydrothermal Alteration Zone
  - [Symbol] Crater
  - [Symbol] Location of Section
  - [Symbol] Exploratory Well

CENTRO REGIONAL DE ENL  
DEL NEUQUEN  
REPUBLICA ARGENTINA  
FEASIBILITY STUDY  
OF  
COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT  
GEOLOGIC MAP  
OF THE SURVEY AREA  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY  
DATE: \_\_\_\_\_ Fig. 5.4

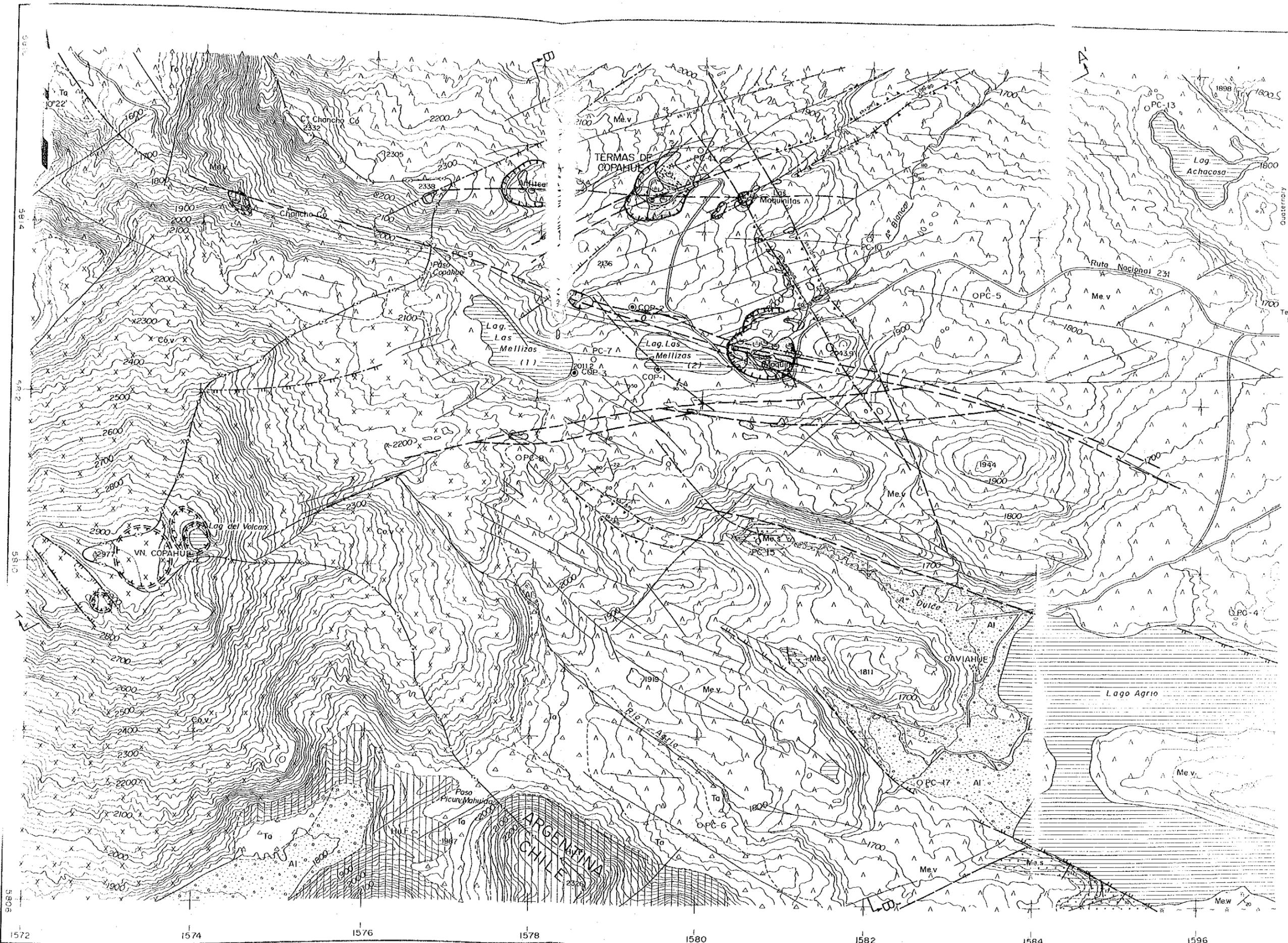


**LEGEND**

- △ Ta △ Talus
- x Cov x Copahue Volcanic Rocks
- △ Tr.v △ A° Trolope Volcanic Rocks
- △ Ma.v △ Las Mellizas Formation
- Ma.s - Caviahue Conglomerate Member
- R.B.p Riscos Bayos Pyroclastic Flow Deposits
- Hu.F Hualcupen Formation
- Geologic Boundary
- Fault
- Fault (Assumed)



CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA DEL NEUQUEN REPUBLICA ARGENTINA	
FEASIBILITY STUDY OF COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT	
<b>GEOLOGIC PROFILE</b>	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
DATE :	Fig. 5-7



**LEGEND**

Quaternary	AI	Alluvium
	Ta	Talus
	Co.v	Copahue Volcanic Pyroxene and Pyroxene
	Tr.v	A <sup>1</sup> Trolope Pyroxene
Pleistocene	Mew	Well
	Me.v	Olivi And Aggl
	Me.s	Lake Dep and
Tertiary Pliocene	Hu.F	Hualcupen F Fine Pyro Tuff Brecc

Geologic Bo

Strike and E

Strike and E

Strike and E

Lineament

Hydrotherm

CENTRO REGIONAL DE DEL NEI REPUBLICA I

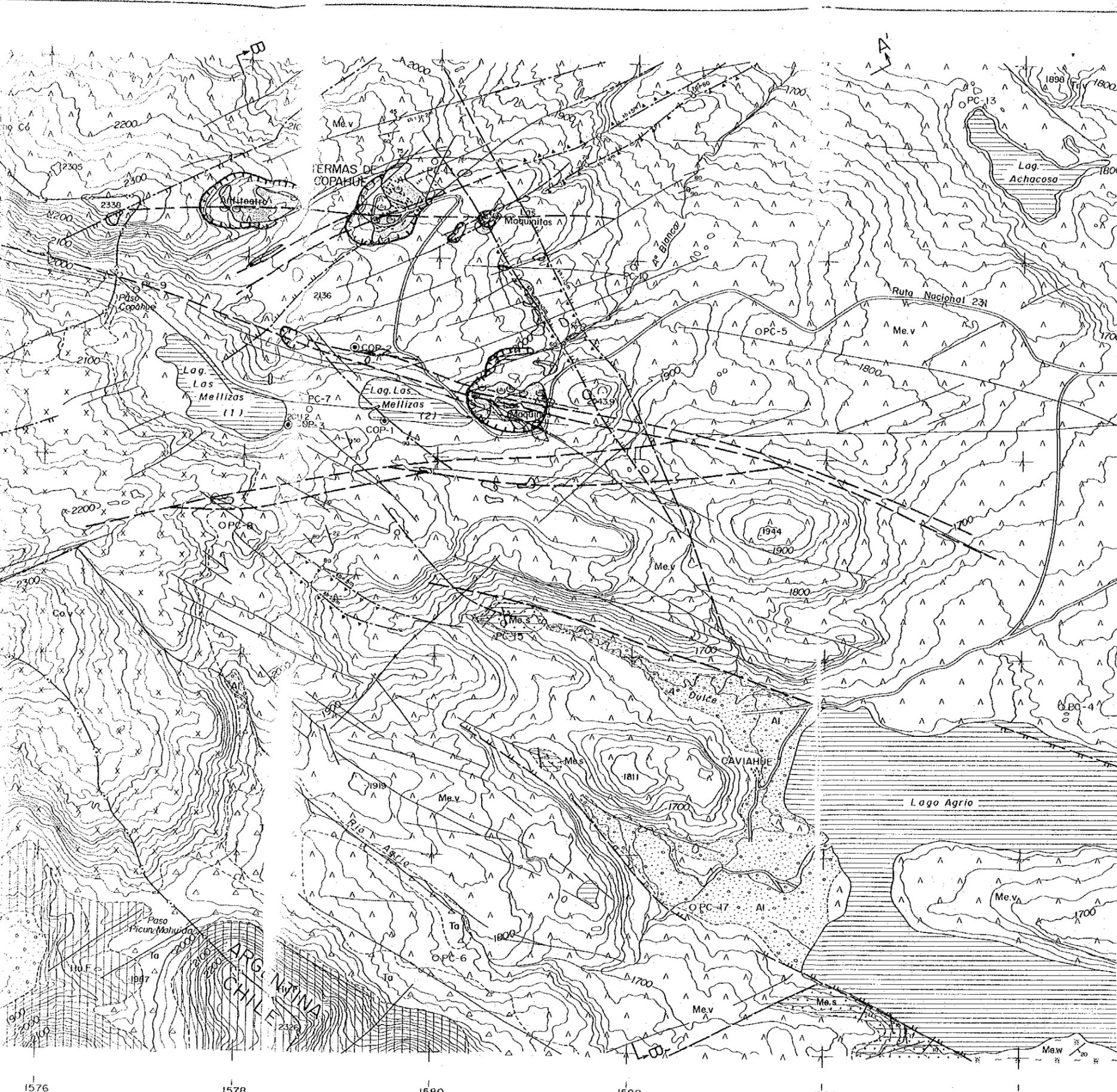
FEASIBILITY OF COPAHUE GEOTHERMAL D

COMPOSI OF GEOLOGY AND L

JAPAN INTERNATIONAL I

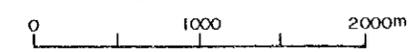
DAT

1572 1574 1576 1578 1580 1582 1584 1596



**LEGEND**

- |             |  |  |
|-------------|--|--|
| Quaternary  |  | Alluvium<br>Gravel, Sand and Mud   |
|             |  | Talus<br>Gravel, Sand and Mud  |
| Holocene    |  | Copahue Volcanic Rocks<br>Pyroxene Olivine Basalt, Liparite<br>and Pyroclastic Rocks                       |
|             |  | A <sup>U</sup> Trolope Volcanic Rocks<br>Pyroxene-bearing Plagioclase Andesite                             |
| Pleistocene |  | Welded Tuff  |
|             |  | Las Mellizas Formation<br>Olivine Pyroxene Basaltic<br>Andesite, Pyroxene Andesite and<br>Agglomerate etc. |
|             |  | Lake Sediments and Glacial<br>Deposits: Conglomerate, Sandstone<br>and Mudstone                            |
| Tertiary    |  | Hualcupen Formation<br>Fine Pyroxene Andesite, Agglomerate,<br>Tuff Breccia, Tuff etc.                     |
| Pliocene    |  |  |
- 
- |  |  |
|--|--|
|  | Geologic Boundary                            |
|  | Strike and Dip of Strata                     |
|  | Strike and Dip of Intrusive Rocks            |
|  | Strike and Dip of Joints                     |
|  | Fault sh: Shear Zone(m)<br>ct: Fault Clay(m) |
|  | Fault (Assumed)                              |
|  | Strike and Dip of Normal Fault               |
|  | Strike and Dip of Reverse Fault              |
|  | Lineament (by Aerial Photographs)            |
|  | Hydrothermal Alteration zone                 |
|  | Crater                                       |
|  | Fumareole                                    |
|  | Location of Section                          |
|  | Exploratory Well                             |
|  | Thermal Gradient Hole                        |



CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA  
DEL NEUQUEN  
REPUBLICA ARGENTINA

---

FEASIBILITY STUDY  
OF  
COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT

---

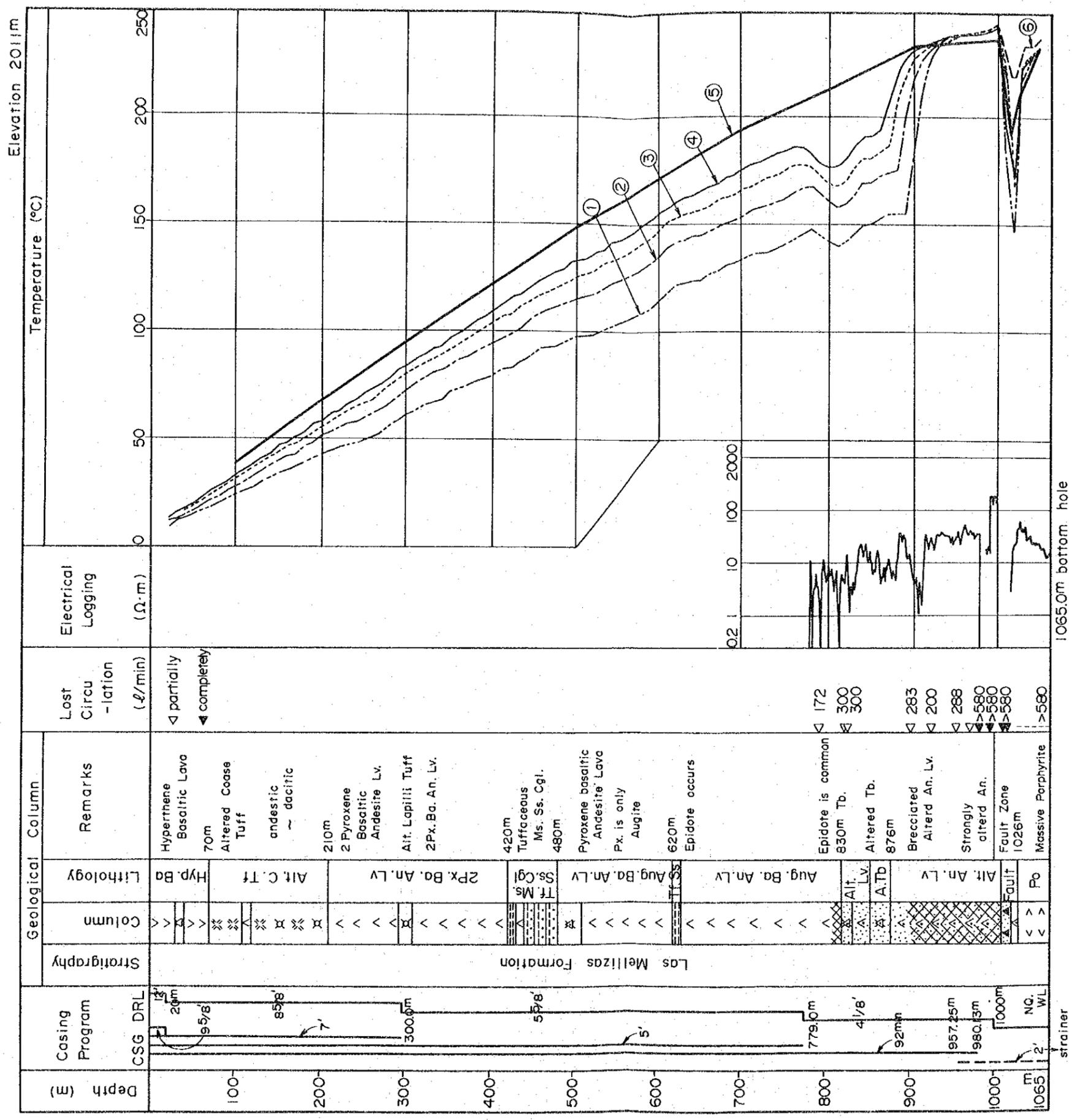
COMPOSITE MAP  
OF  
GEOLOGY AND LINEAMENTS (2)

---

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

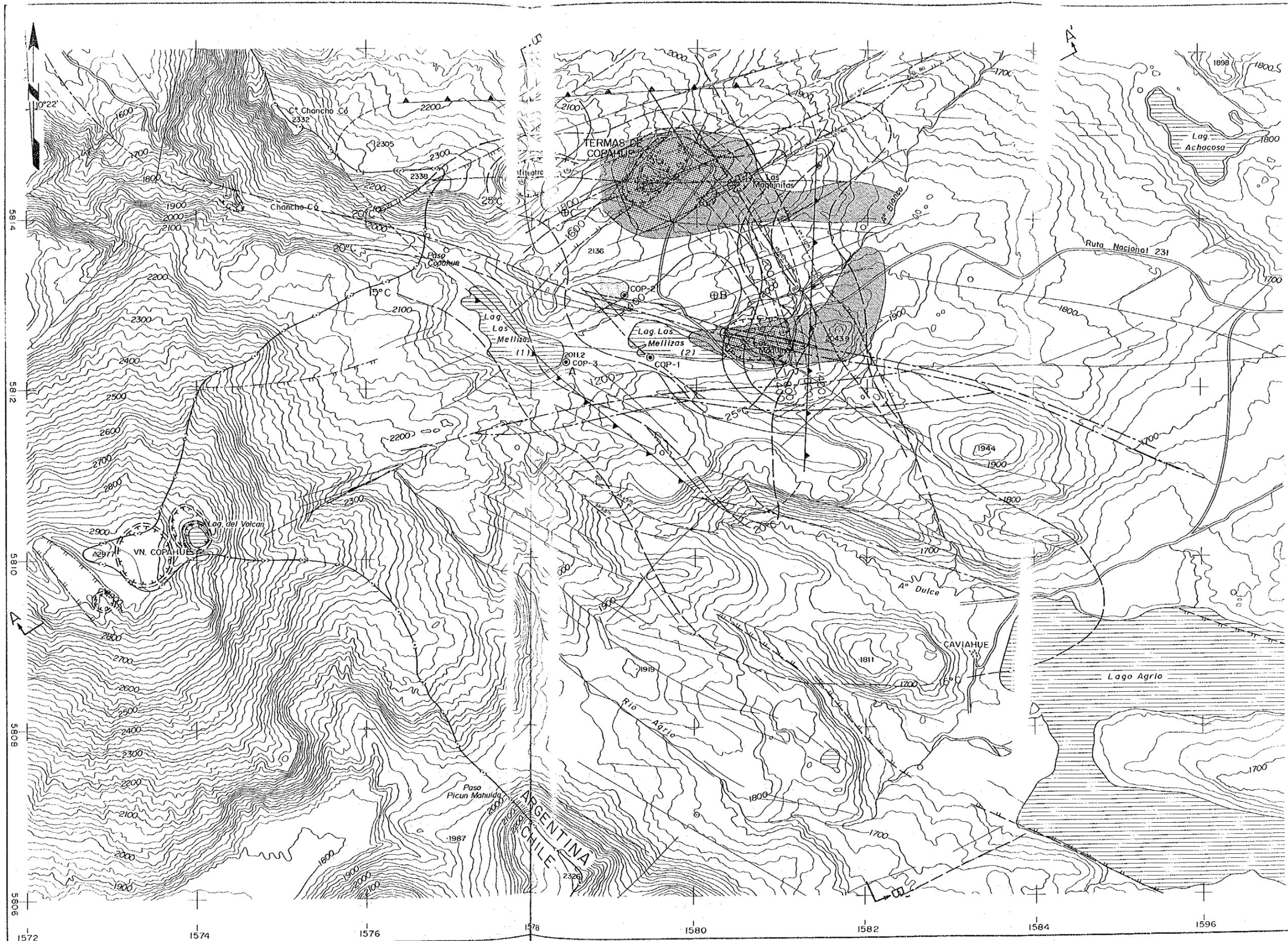
DATE:	Fig. 5-8
-------	----------

1576                      1578                      1580                      1582                      1584                      1596



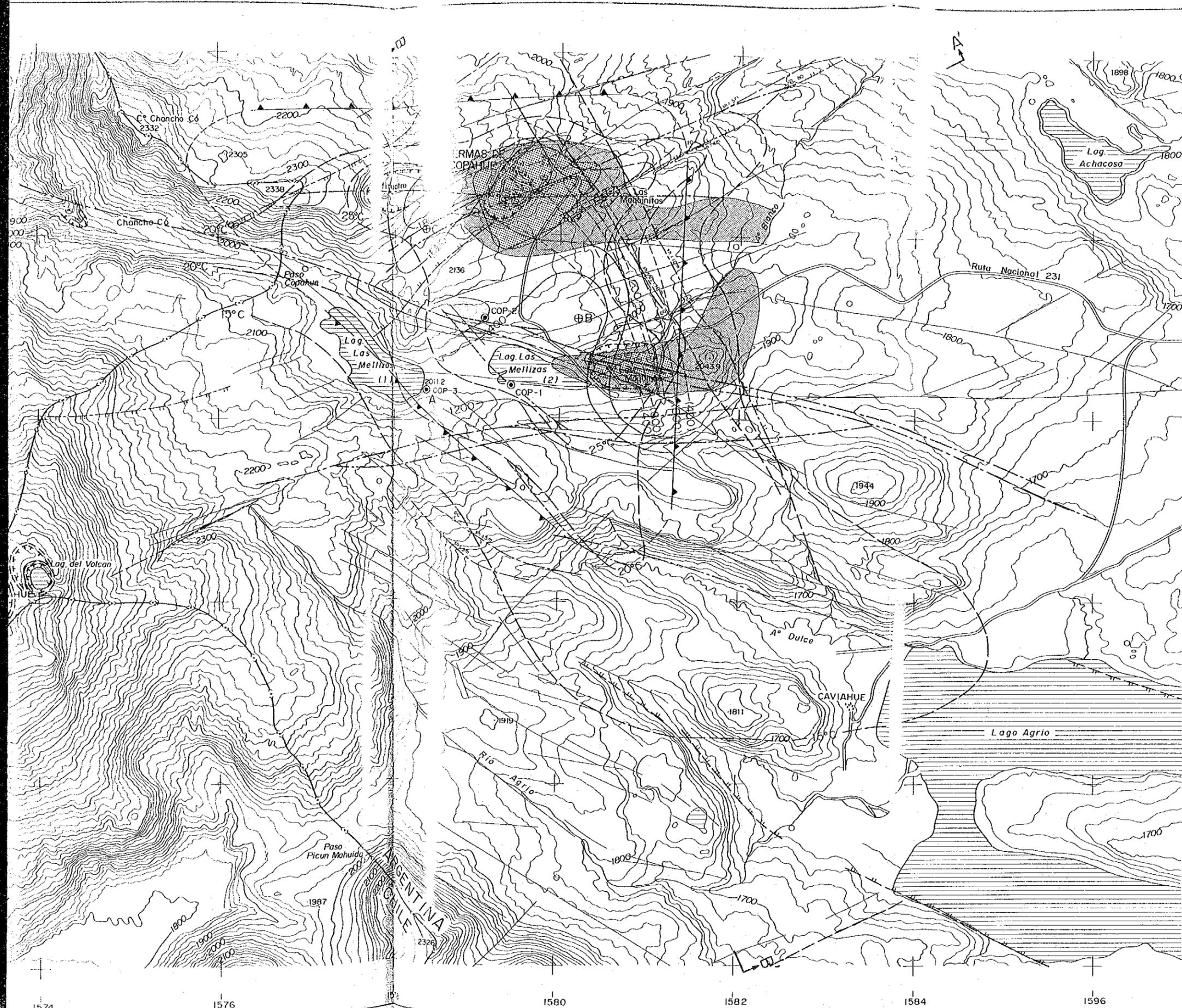
- ① Measurement Date : May 15, 1991 (ST. 8hr)  
Water Level : 900m  
Max Temp : 240°C (1.002m)
- ② Measurement Date : May 16, 1991 (ST. 24hr)  
Water Level : 867m  
Max Temp : 241°C (1.002m)
- ③ Measurement Date : May 17, 1991 (ST. 48hr)  
Water Level : 875m  
Max Temp : 242°C (1.002m)
- ④ Measurement Date : May 9, 1991 (ST. 96hr)  
Water Level : 870m  
Max Temp : 242°C (1.002m)
- ⑤ Measurement Date : May 31, 1991 (ST. 390hr50m)  
Water Level : about 1.010m  
Max Temp : 236.9°C (1.000m)
- ⑥ Equilibrium Temperature Calculated by  
①, ②, and ③ (1.000m ~ 1.065m)

Fig. 5-38 Columnar Section of COP-3



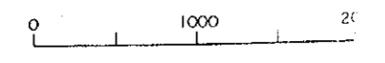
- LEG:**
- Fault
  - Fault (Assumed)
  - Strike and Dip of ...
  - Strike and Dip of ...
  - Lineament (from ...)
  - Hydrothermal Alteration
  - Crater
  - Fumaroles
  - Contour of T. Resistivity
  - Contour of Resistivity
  - Isotherm (°C)
  - Anomaly of soil
  - Thermal Gradient
  - Exploratory well
  - Alternative
  - Upheaval of Resistivity
  - Laguna

CENTRO REGIONAL DE  
 DEL N.  
 REPUBLICA  
 FEASIBILIDAD  
 COPAHUE GEOTHERMAL  
 COMPILADO  
 SHC  
 RESULT OF  
 JAPAN INTERNATIONAL  
 D



**LEGEND**

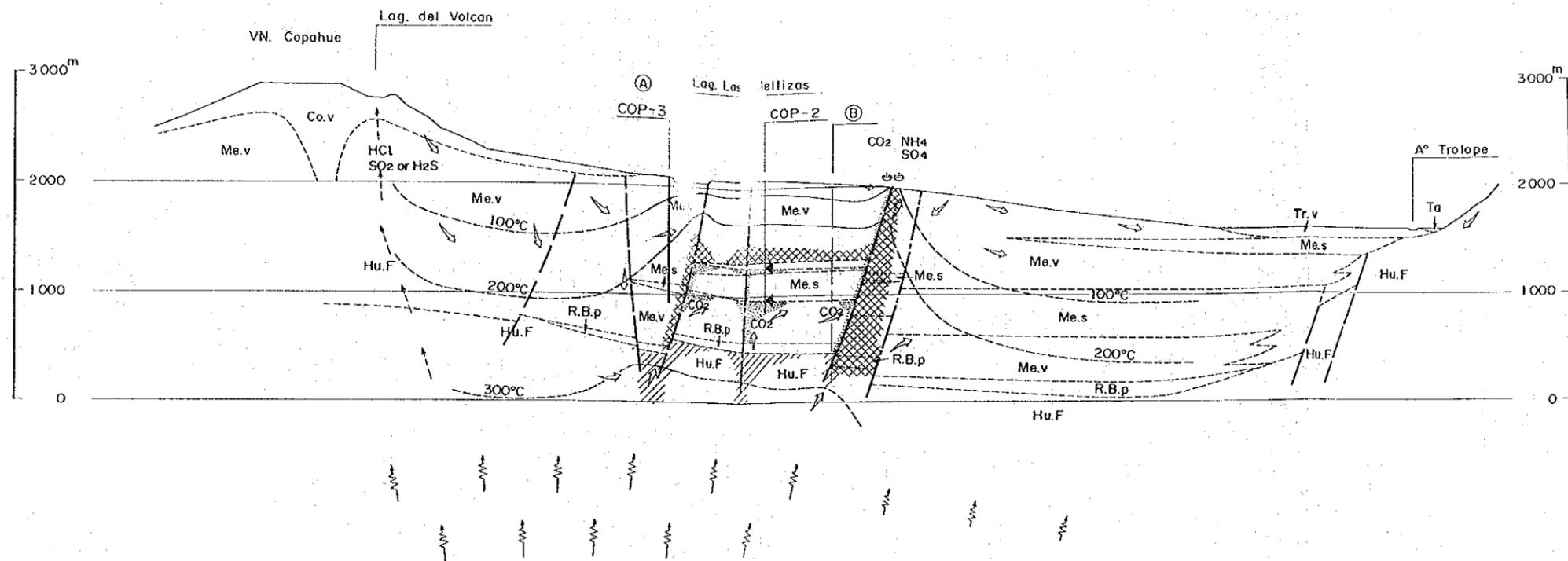
- Fault sh:Shear Zone (cl:Fault Clay(m))
- Fault (Assumed)
- Strike and Dip of Normal Fault
- Strike and Dip of Reverse Fault
- Lineament (from Aerial Photographs)
- Hydrothermal Alteration Zone
- Crater
- Fumaroles
- Contour of Top of Intermediate Depth High Resistivity Layer (EL.m)
- Contour of Detected Depth of Deep Low Resistivity Layer (EL.m)
- Isotherm (C) of 50m Depth
- Anomaly of soil Mercury (ppb)
- Thermal Gradient Hole
- Exploratory well
- Alternative Location of COP-3
- Upheaval Zone of High Resistivity Basement
- Location of Section



**CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA**  
**DEL NEUQUEN**  
 REPUBLICA ARGENTINA  
 FEASIBILITY STUDY  
 OF  
 COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT  
  
**COMPILED MAP**  
**SHOWING**  
**RESULT OF EACH SURVEY**  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY  
 DATE: \_\_\_\_\_ Fig. 5-50

1574      1576      1580      1582      1584      1596

Profile A - A'

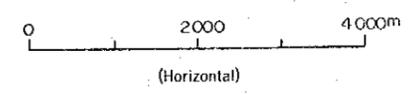
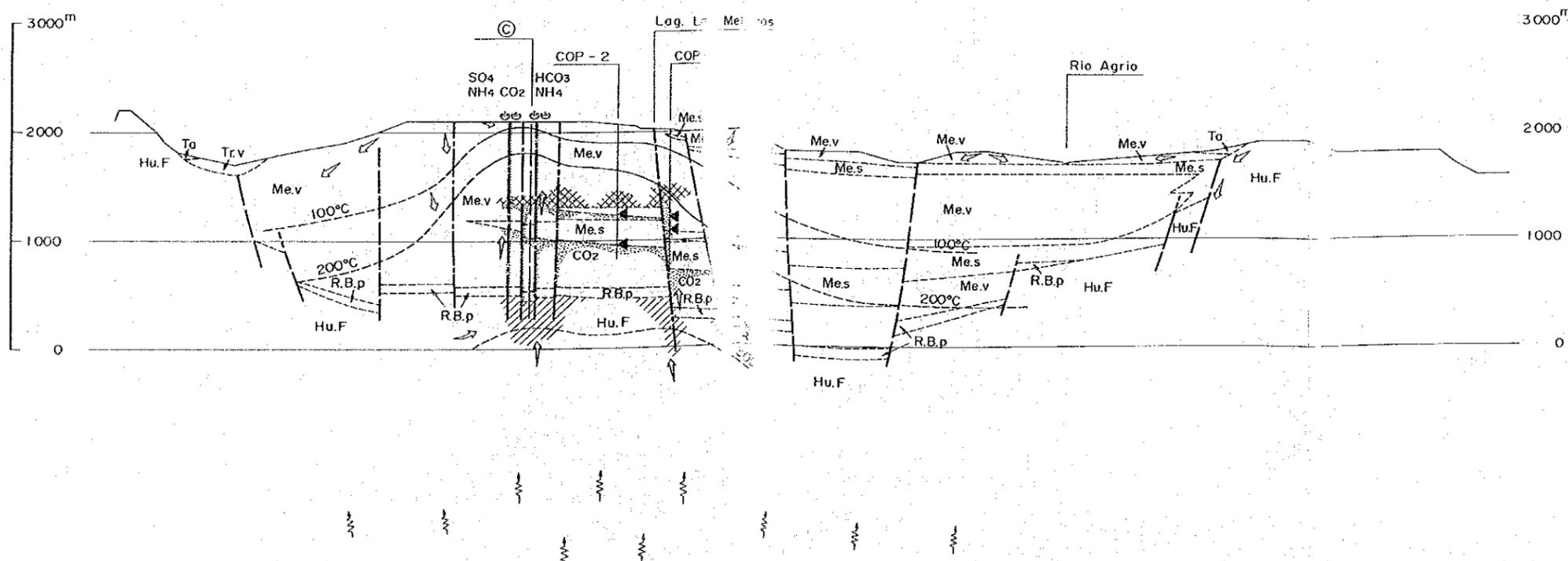


LEGEND

- Ta Talus  
Gravel, Sand and Mud
- Co.v Copahue Volcanic Rocks  
Pyroxene Olivine Basalt, Liparite and  
Pyroclastic Rocks
- Tr.v A° Trolope Volcanic Rocks  
Pyroxene-bearing Plagioclase Andesite
- Me.v } Olivine Pyroxene Basaltic Andesite,  
Pyroxene Andesite and Agglomerate etc.
- Me.s } Las Mellizas  
Formation  
Lake Sediments and Glacial Deposits  
Conglomerate, Sandstone and Mudstone
- R.B.p Riscos Bayos Pyroclastic Flow Deposits
- Hu.F Hualcupen Formation  
Fine Pyroxene Andesite, Agglomerate,  
Tuff Breccia, Tuff etc.
- Geologic Boundary
- Fault
- Fault (Assumed)
- Fumarole and Hot Spring
- Isotherms
- Heat Conduction
- Meteoric Water Flow
- Hydrothermal Fluid Flow
- Volcanic Gas
- Vapor dominated Reservoir
- Hot Water Reservoir
- Alteration Zone
- Production Zone
- Alternative Location of COP-3

Fig. 2-1

Profile B - B'



CENTRO REGIONAL DE ENERGIA GEOTERMICA  
DEL NEUQUEN  
REPUBLICA ARGENTINA

---

FEASIBILITY STUDY  
OF  
COPAHUE GEOTHERMAL DEVELOPMENT PROJECT

---

MODEL OF GEOTHERMAL SYSTEM

---

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

---

DATE: \_\_\_\_\_ Fig. 5-51

