

ペルー共和国

アリコータ湖水補給

および

アリコータ第3水力発電開発計画

調査報告書

1983年12月

国際協力事業団

ペルー共和国アリコータ湖水補給およびアリコータ第3水力発電開発計画調査報告書 83-12 国際協力事業団

709  
64.3  
MPN





ペルー共和国

# アリコータ湖水補給

および

# アリコータ第3水力発電開発計画

調査報告書

JICA LIBRARY



1030343061

1983年12月



国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3. 10	709
登録No 10052	64.3
	MPN

## は し が き

日本国政府は、ベルー共和国政府の要請に基づき、同国のアリコータ湖水補給及びアリコータ水力発電開発計画に関するフェージビリティ調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。当事業団は、榎並敏夫氏を団長とする調査団を編成し、1982年10月15日より1983年3月25日まで現地調査を実施した。

調査団は、ベルー共和国政府及び関係機関の協力を得て、同国南部プロジェクト関連地域における現地調査、関係資料の収集等を実施し、その結果に基づきデータの検討、解析等の国内作業を行った。

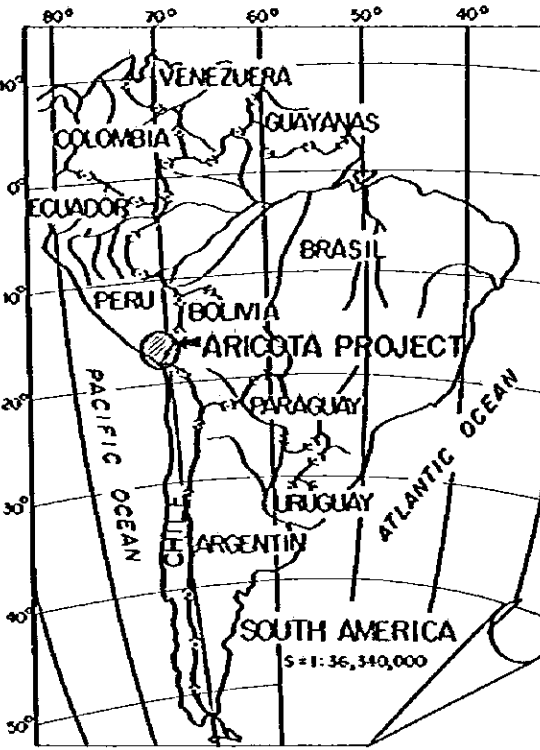
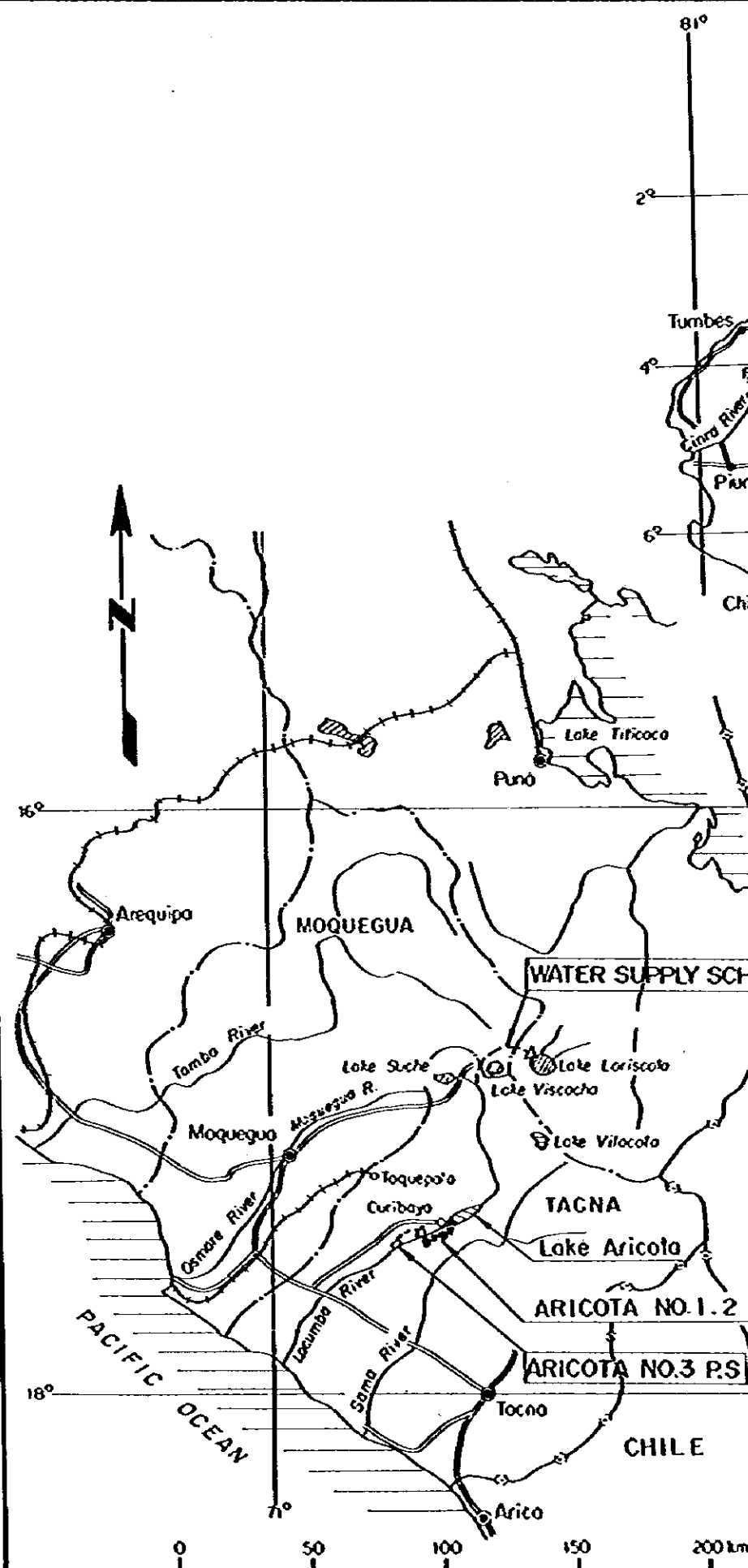
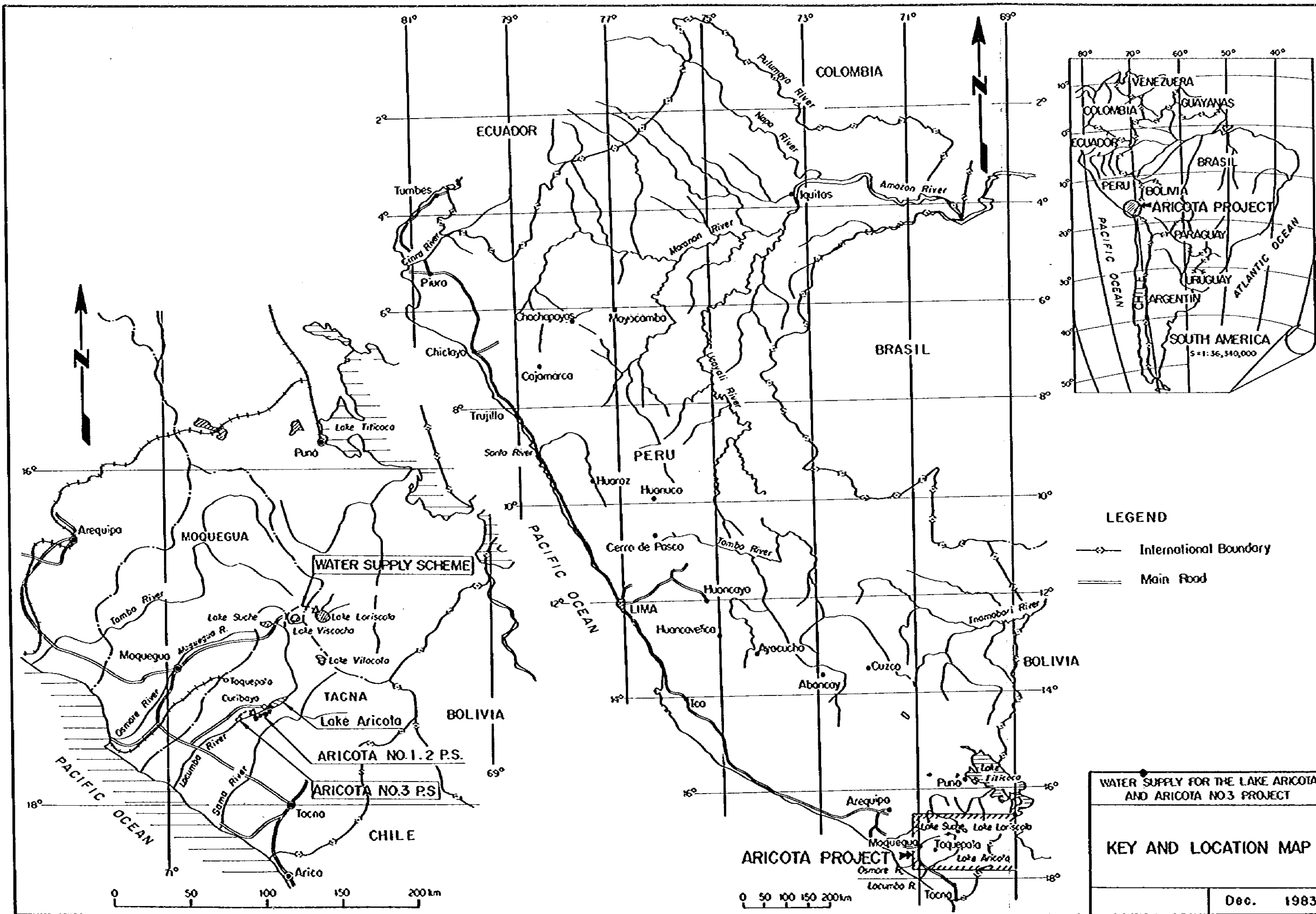
本報告書は、この成果を取りまとめたものである。本報告書がベルー共和国の電源開発に寄与すると共に、わが国との友好親善の一助となれば幸いである。

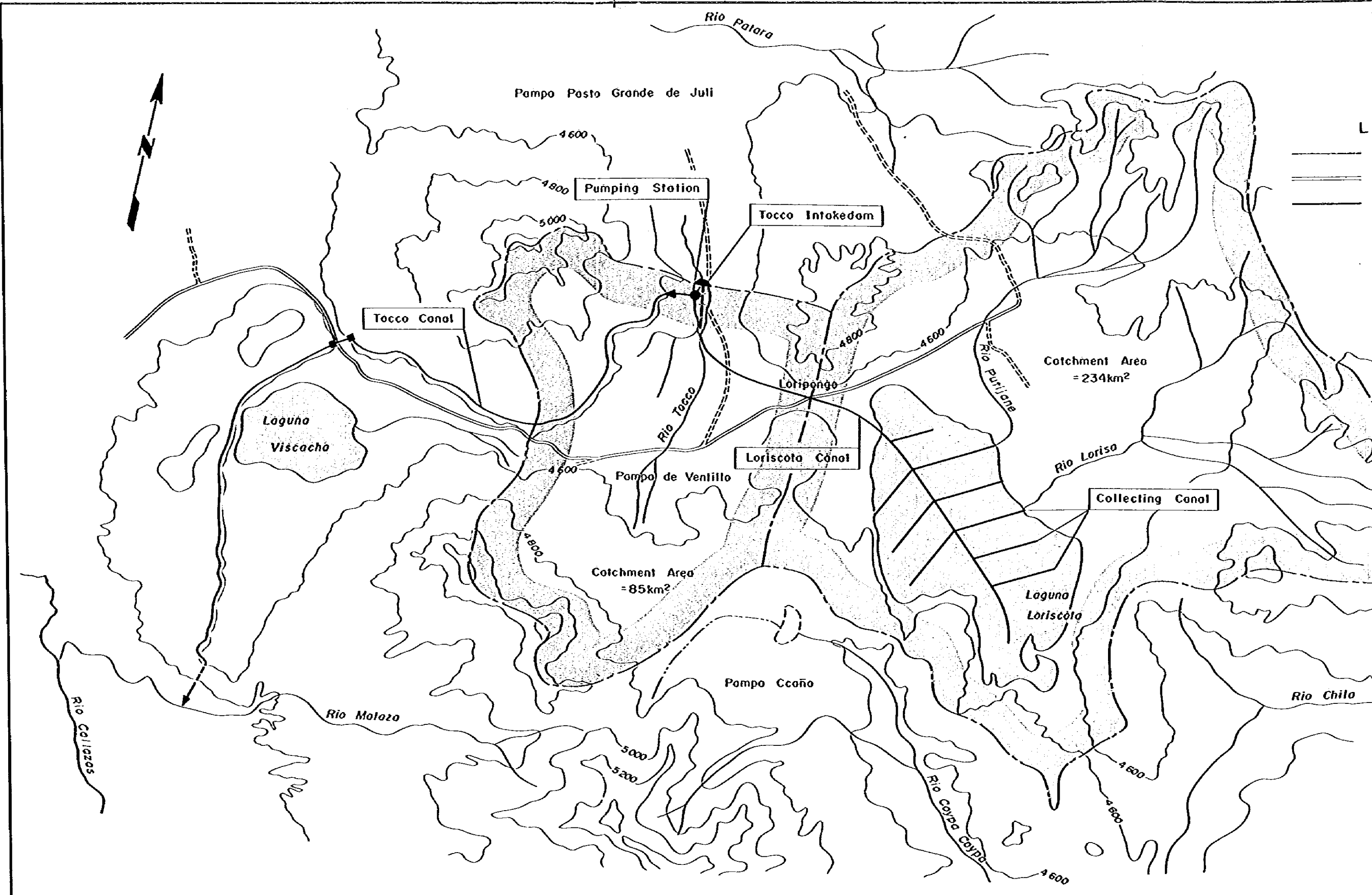
終りに、調査に際し多大の協力をいただいたベルー共和国政府、在ベルー共和国日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、心から謝意を表すものである。

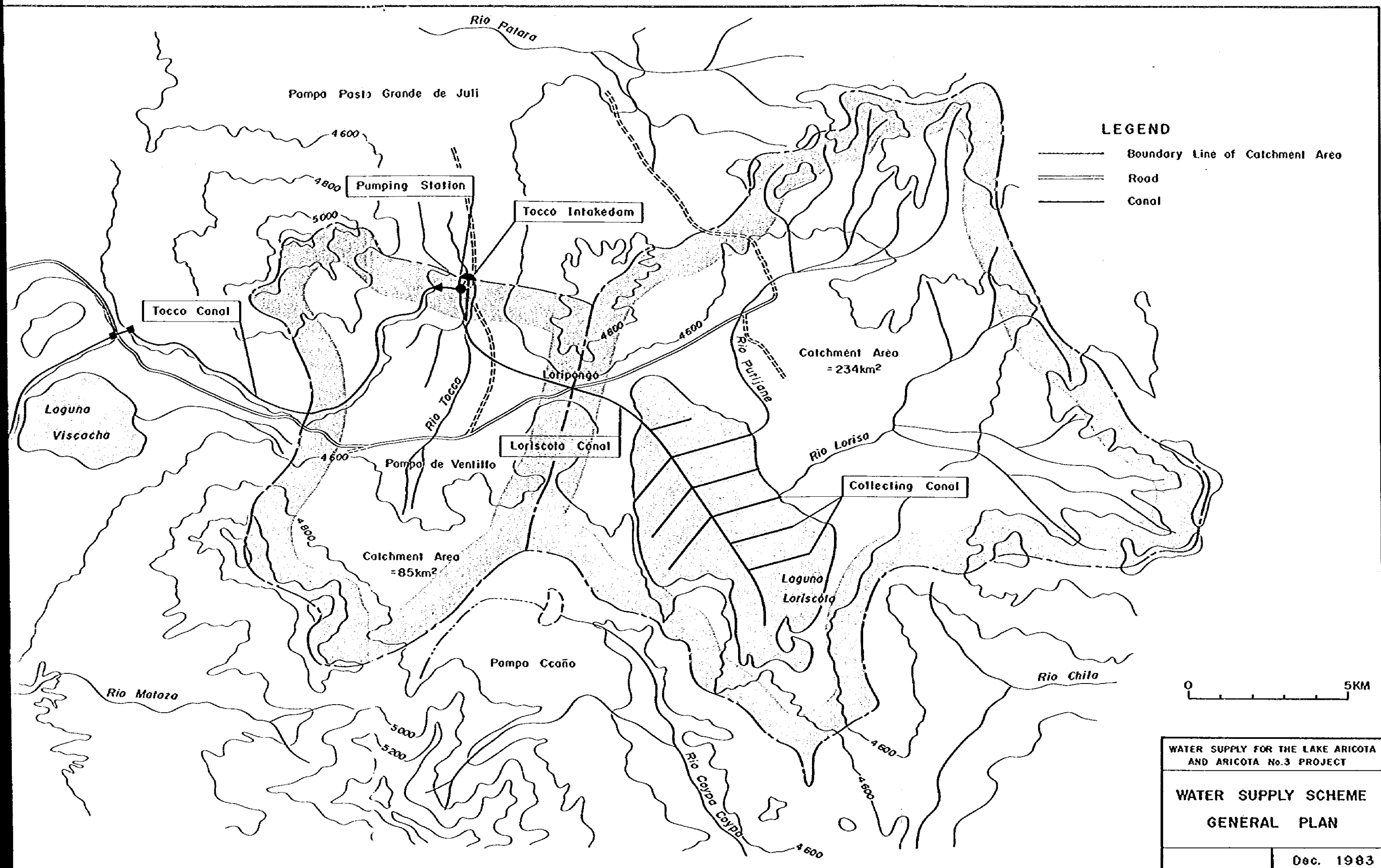
1983年12月

国際協力事業団

総裁 有田 主 輔

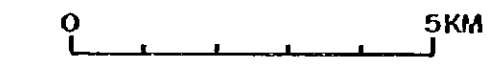






**LEGEND**

- Boundary Line of Catchment Area
- ==== Road
- Canal



WATER SUPPLY FOR THE LAKE ARICOTA AND ARICOTA No.3 PROJECT	
WATER SUPPLY SCHEME GENERAL PLAN	
	Dec. 1983

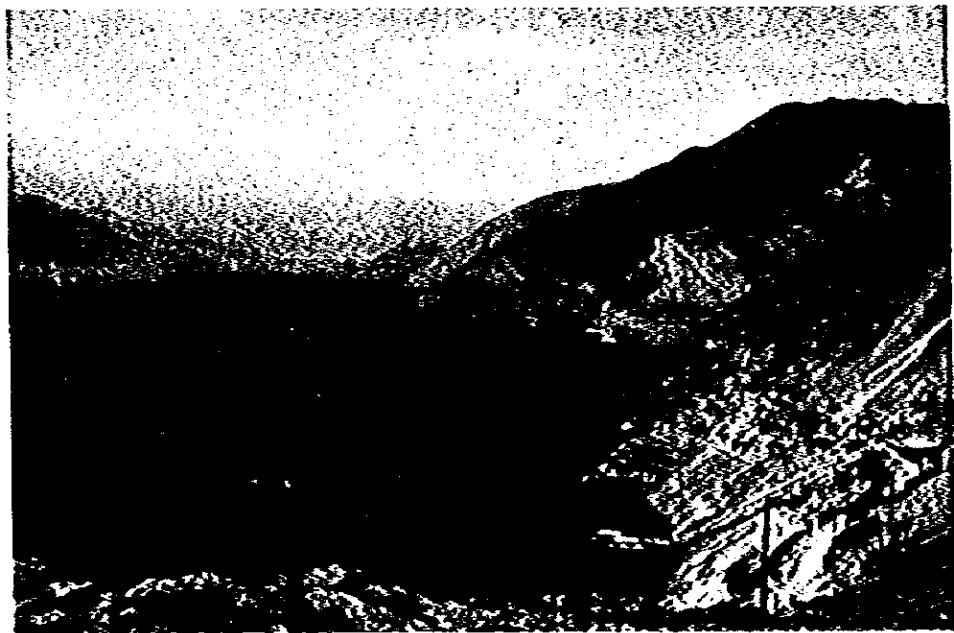




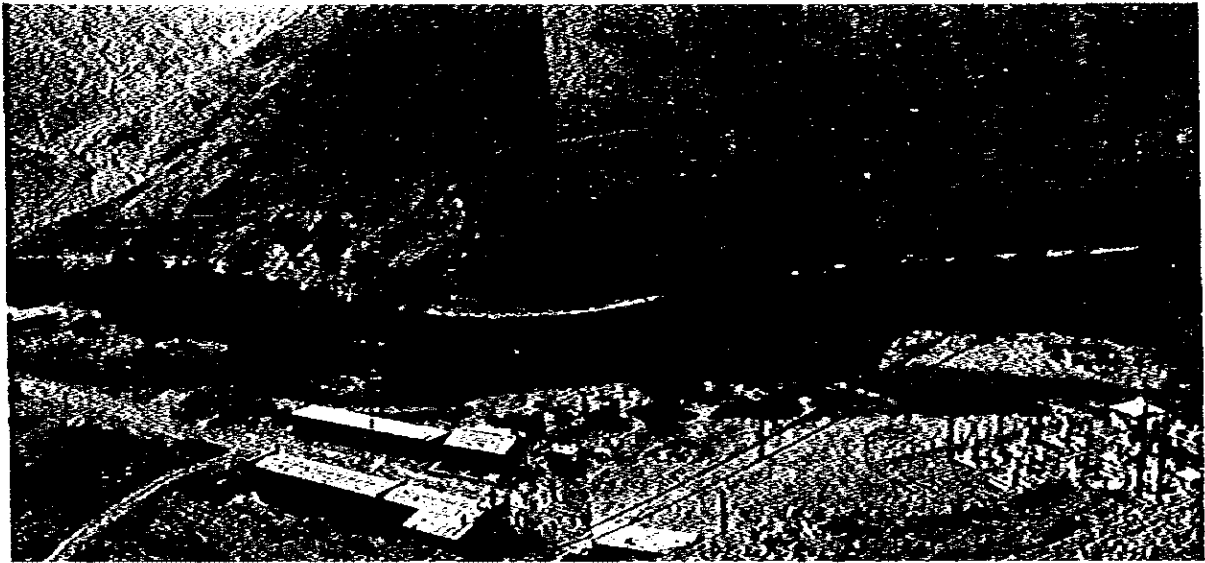
LAGUNA LORISCOTA



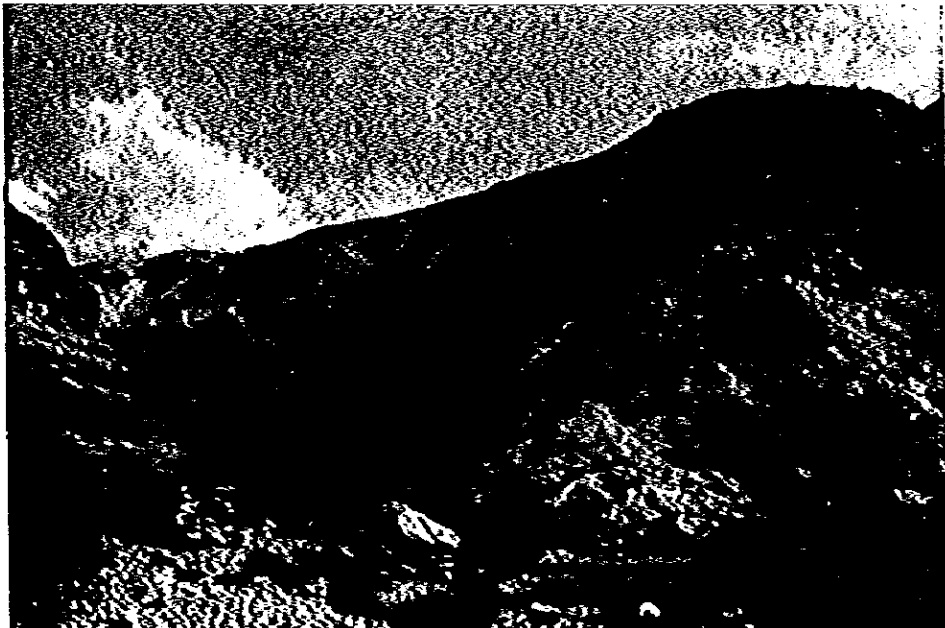
**TOCCO DAM SITE VIEWED FROM DOWNSTREAM**



**LAGUNA ARICOTA AND EXISTING PUMP STATION**



**ARICOTA NO.3 INTAKE DAMSITE VIEWED FROM LEFT BANK**



**ARICOTA NO.3 POWER STATION SITE**

## 目 次

第 1 章	緒 論	.....	I-1
第 2 章	結論と勅告	.....	II-1
第 3 章	開発計画	.....	III-1
第 4 章	電力需要想定	.....	IV-1
第 5 章	流域の気象と水文	.....	V-1
第 6 章	地質および材料	.....	VI-1
第 7 章	アリコータ湖水補給計画	.....	VII-1
第 8 章	アリコータ第 3 水力発電計画	.....	VIII-1
第 9 章	送電計画および電力系統解析	.....	IX-1
第 10 章	環 境	.....	X-1
第 11 章	工事工程と施工計画	.....	XI-1
第 12 章	建設工事費	.....	XII-1
第 13 章	経 済 評 価	.....	XIII-1
第 14 章	融資返済計画	.....	XIV-1

# 第1章 緒 論

## 第1章 緒 論

1.1 経 緯 .....	I-1
1.2 過去に実施された調査 .....	I-2
1.3 本調査の目的と範囲 .....	I-4
1.3.1 目 的 .....	I-4
1.3.2 範 囲 .....	I-4
1.4 本調査の基本方針 .....	I-4
1.5 調査団の構成および調査日程 .....	I-5



# 第1章 緒 論

## 1.1 経 緯

### (1) 本調査の背景と経緯

本計画の属するペルー南西地域は、独立した電力系統を持ち、これまで電力需要は年約12%で増加している。Aricola-SPCC系統の1982年に於ける供給力は146.8MWで水力24%火力76%の割合となっている。近年に至り石油の需給が逼迫し1985年頃には輸出余力がなくなるものと推定されており、ペルー政府は石油を燃料とした電力開発を極力抑制し水力開発を優先させることを新規開発の基本方針として来た。

また、この地域には1966～67年日本の協力により完成したアリコータ第1および第2発電所があり、Aricola湖水を利用して電力供給を行っている。しかし、長年に亘るTacna県の電力供給とかがい利水のために、1987年頃には湖水が潤渇し水不足の危機に直面する状況となり、可及的速やかにAricola湖への水供給を実現し、かがい用水の確保とアリコータ第3発電所建設による電力供給の必要に迫られて来た。

ペルー政府は本計画地域が国境辺境地帯であり、これまで民生安定のための経済開発を重点として来たこともあり、緊急に計画推進することとし、1982年3月、日本政府に対し本計画のフィジビリティ調査についての技術協力を要請してきた。

この要請に基づき、日本政府は協力方針を決定し国際協力事業団(JICA: Japan International Cooperation Agency)に対し調査実施を委託した。

JICAは1982年6月本件調査の実施方法を検討するため、専門家6名から成る事前調査団を現地に派遣した。

事前調査の結果を踏まえ、JICAは1982年10月中旬から1983年3月末まで電源開発株式会社(EPDC: Electric Power Development Co., Ltd.)の専門家によるフィジビリティ調査団をペルー国に派遣し必要な現地調査を実施した。

同調査団は現地調査工事、現地踏査、資料収集およびペルー側関係機関との協議等の現地調査に基づき国内解析作業を実施すると共に、1983年7月中旬から1ヶ月間にわたりペルー側関係機関に対し水供給計画代案の選定について説明した。本調査報告書は以上の現地調査、国内作業およびペルー側関係者との意見調整に基づき作成されたものである。

### (2) アリコータ第1および第2発電計画の経緯

1959年12月、ペルー政府は国内の電源開発計画に関し技術協力を日本政府に要請してきた。

この要請に応じて海外電力調査会(Overseas Electrical Industry Survey Institute, Inc.)は、①Mantaro川Pongo地点の電源開発計画 ②Tacna県の総合開発計画、③その



他に関する調査を行うこととなった。

1960年8月、調査団はMantaro川開発計画を主とした調査報告書を取りまとめペルー政府と協議した結果、Tacna県総合開発計画についての協力を要請された。この要請に応え1961年3月、EPDCはMaure川およびAricota湖両水系における発電計画に関するプレリミナリイ調査を開始した。引続き1962年4月、COPDET (Corporación de Fomento y Desarrollo Económico del Departamento de Tacna) との基本契約を結び、Aricota湖その他の水資源を利用する発電計画ならびにLa Yaradaその他の地区におけるかんがい計画に関する実施設計、機械設備および資材の供給、工事施工の監理を含むコンサルタント業務を実施した。これによってアリコータ第2発電所(出力11,900kW)および第1発電所(出力23,800kW)がそれぞれ1966年8月と1967年1月に完成し、以来ペルー国最南部のTacna市および周辺の電力需要を満たす重要な電源として運転され、1982年12月末までに1,315GWhの発電を行い今日に到っている。

## 1.2 過去に実施された調査

アリコータ湖水補給計画およびアリコータ第3発電計画に関する調査検討は、1959年より各種機関により実施されているが、何れもプレ・フィジビリティ調査段階のものである。

現在までに作成された調査報告書は下記の通りである。

- (1) "Estudio de Reconocimiento para Irrigación, Mejoramiento de Riego y Aprovechamiento Hidroeléctrico en Moquegua" - Ingeniero Guillermo Banda Reyes, 1960  
(内容要旨)

ペルー国南部地域の水問題の解決策を得るために調査検討が1948年以来行われており、この報告書はそのうちの一つである。

- (2) "Estudio de Factibilidad de Irrigación del Valle de Moquegua" - MC Greary Koretsky Engineers, California, 1966  
(内容要旨)

この報告書はViscachas川のPasto Grande地点からMoquegua県へ分水する計画について述べられている。

- (3) "Report on Modified Second Stage Development of Plan Tacna" - Electric Power Development Company, (EPDC). Japan, 1972.  
(内容要旨)

この調査報告書はAndes山脈水源地帯のLoriscota流域、Coypacoypa川、Vilacota湖およびYabroco川から2.0m<sup>3</sup>/secの水を分水し、Aricota湖へ補給しアリコータ第2発電所の下流にアリコータ第3(14MW)および第4発電所(4.8MW)を建設する計画について述べられている。

- (4) " Investigación y Desarrollo de Recursos Hídricos Subterráneas y Sistema Planificado de Producción Para el Abastecimiento de Agua" - Southern Peru Copper Corporation (SPCO), 1974.

(内容要旨)

この調査報告書は、SPCOが所有するQuajoneおよびQuellaveco 鉱山の新規開発計画とToquepala 鉱山の拡張計画のために必要な水源の確保を検討したものである。

- (5) " Proyecto de la Central Hidroeléctrica de Coralque" - Ingeniero Tsuguo Nozaki, 1976.

(内容要旨)

この報告書は、Tambo川の水力発電計画に関する予備調査報告書である。

- (6) " Afianzamiento Hídrico de la Laguna Aricota" - Instituto Nacional de Investigaciones Energéticas (INIE), 1979.

(内容要旨)

この報告書は、アリコータ湖水補給計画について検討したもので2つの比較案よりなり、そのうちの1つは5通りの組み合わせがある。

- (7) " Afianzamiento Hídrico de Aricota" - (INIE Y ORDETAM) 1980.

(内容要旨)

この報告書は、Moquegua, IloおよびLocumba谷の水問題とともに、既計画案の分析および評価を行っている。

- (8) " Planeamiento del Sistema Eléctrico Interconectado, Sur - Oeste, Period 1981 ~1990" - ELECTROPERU.

(内容要旨)

この報告書は、ペルー南部における電力開発について調査し開発計画案を検討しており、結論としてはユタ水力(210 MW)の開発を最優先しArequipa - Moquegua - Tacna連系を急ぐべきだとしている。

- (9) " Afianzamiento Hídrico de Aricota, Estudio de Pre - Factibilidad" - Ministerio de Agricultura, 1981.

(内容要旨)

この報告書は、Loriscota流域およびViscachas川のPasto Grande 地点からの取水により、アリコータ第1および第2発電所の発生電力量の保証、Aricota湖から流下するLocumba川水系と、Moquegua 川水系のかんがい開発およびIlo市への上水道用水の供給計画について述べている。

- (10) " Informe sobre la Problemática y el Mejor Uso de los Rios Tambo, Moquegua y Aricota" - Comisión Multisectorial, 1982.

### (内容要旨)

この報告書は、ペルー政府関係者からなる委員会で作成されたもので、そのメンバーは農業省、動力鉱山省、電力公社、住宅省、国境地区農業振興庁の各代表からなり、報告書の結論は過去の各種調査、検討を踏まえ総合的に判断した結果として Moquegua 県へ 1.78 m<sup>3</sup>/sec および Tacna 県へ 1.44 m<sup>3</sup>/sec の水を Pasto Grande から各々に配分し、加えてアリコータ第3発電計画を推進すべきであるとなっている。

## 1.3 本調査の目的と範囲

### 1.3.1 目的

本調査は Andes 山脈の流域から Aricota 湖へ水補給することにより、既設アリコータ第1、第2発電所の負荷対応能力の向上をはかり、下流へのかんがい用水を確保するとともに、アリコータ第3発電所を建設するためのフィジビリティ調査である。したがって調査は最適な開発計画案を策定し、技術的、経済的および社会的に開発の可能性を検討し、その結果をフィジビリティ調査報告書としてとりまとめることである。

### 1.3.2 範囲

本調査の範囲は水補給計画として Andes 山脈の Chila 川、Coypacoypa 川、Loriscota 流域 Tocco 川および Viscachas 川などの水源流域から、Mataza 川または Calientes 川を流下して Aricota 湖に導水することと、アリコータ第3発電所計画として既設アリコータ第2発電所下流に設けられる取水設備、導水路トンネル、水槽、水圧管路、発電所、放水路、関連送変電設備による発電を行うことの二つの計画である。

尚、本調査は1982年7月2日、JICA と CORDETACNA との間で締結された Scope of Work に基づき実施されたもので、Andes 上流域における地下水を利用する水補給計画は本調査には含まれていない。

## 1.4 本調査の基本方針

- (1) 本調査は、フィジビリティ調査のレベルとし、建設工事費については1982年12月末時点として積算する。
- (2) アリコータ第3発電所は、ペルーの電力区分の南西系統 (SPCC-Aricota 系統) に連系され、主として、Tacna, Yarada, Locumba, Moquegua, Ilo 等に対する電力供給源となる。
- (3) Aricota 湖が今後数年間で渇涸すると予想されていることから、上流域からの水補給計画は早期完成が要請される。

- (4) 融資返済計画に採用する借款条件は、政府間借款および世銀等の国際金融機関からの融資を前提に分析する。

### 1.5 調査団の構成および調査日程

現地調査は、次の如く大別される。

- (1) 1982年10月中旬～1983年3月上旬：調査工事の工事計画策定、現地業者との工事契約および技術指導を含む施工監理。
  - (2) 1983年1月下旬～同年3月下旬：フィジビリティ現地調査
  - (3) 1983年7月中旬～同年8月中旬：中間説明および経済調査
  - (4) 1983年11月下旬～同年12月中旬：報告書ドラフト説明
- 調査団の団員および担当は次表のとおりである。

構成	氏名	担当	所属
団長	榎 並 敏 夫	総 括	電 源 開 発 協 会
団員	中 島 功	調 査 工 事	電 源 開 発 協 会
団員	角 田 進	土 木 設 計	電 源 開 発 協 会
団員	加 藤 憲 司	水 文	電 源 開 発 協 会
団員	三 島 耕 二	計 画 お よ び 調 査 工 事	電 源 開 発 協 会
団員	尾ノ井 芳 樹	積 算	電 源 開 発 協 会
団員	小 倉 正	送 電	電 源 開 発 協 会
団員	和 田 文 雄	電 気	電 源 開 発 協 会
団員	柏 木 日出治	地 質	電 源 開 発 協 会 土 木 コ ン サ ル タ ン ト
団員	村 上 徹	地 質 お よ び 調 査 工 事	電 源 開 発 協 会 土 木 コ ン サ ル タ ン ト
団員	佐 藤 博 文	経 済 (一 般)	電 源 開 発 協 会
団員	浜 田 勝	経 済	電 源 開 発 協 会

調査団は1983年4月より11月までの間、現地で収集した資料およびCORDETACNAをはじめELECTROPERU, INAP 等関係機関との打合せに基づいて検討を行い本報告書を作成した。

## 第2章 結論と勧告

## 第 2 章 結論と勧告

2.1 結 論 .....	II - 1
2.2 勧 告 .....	II - 3

**FIGURE LIST**

**Fig. 2-1            Whole Schedule of the Project**

## 第2章 結論と勧告

### 2.1 結論

アリコータ湖水補給計画およびアリコータ第3水力発電計画についての調査研究の結果、以下に述べる結論が得られた。

- (1) ベルー南西地域における主要な電源であるアリコータ第1とアリコータ第2発電所は、1967年1月と1966年8月にそれぞれ完成し年間約12%で伸びてきた同地域の需要に対応してきたが、湖水涵揚が具体的スケジュールとなってきた。
- (2) 1982年11月18日に CORDETACNA, Ministerio de Agricultura および ELECTROPERU によって協定が結ばれた湖水使用計画によれば、湖水標高は1987年12月までに標高2740mまで低下する予定であり、至近年における流況はこれを充分想定させうる状態である。
- (3) この様な現在の状況は、南西地域の電力源の確保と Aricota 湖下流域におけるかんがい農業用水の確保の面から危機的な状態にあり、中間報告(1983年7月)ですでに述べたように B-III 案による水補給計画およびアリコータ第3水力発電計画が可能なかぎり早期に実施されねばならない。
- (4) 本計画を実施する上で土木構造物および電気機器等の設計と施工において特に困難な問題は存在しないと考える。Loriscota 湖流域における取水方法に関しては、現在までに入手された資料に基づく検討によれば、希釈排水を行いその後湖底地域での集水による計画が最良であると考えられる。これに伴う排水、湖底処理等の具体的方法については、今後の追加調査と詳細設計で充分対応可能であると判断される。

本計画による土木構造物、電気機器、送電線等の計画諸元を以下に示す。

#### a) Water Supply Scheme

##### 1) Civil Facilities

Loriscota Canal	; Including Collecting Canal, L=32km
Main Canal	; Tocco Canal L=30km
Tocco Intake Dam	; Rockfill Dam with Asphalt Concrete Facing H=11.5m L=135.0m
Tocco Pumping Station	; Semi underground Type
Pipe Line	; Welded Steel Pipe L=1250m, $\phi=1.20m$

##### 2) Electrical Facilities

Motor	; 1600kW $\times$ 2, 3.3 kV
Transformer	; 4500kVA $\times$ 1, 69kV/3.3 kV
Transmission Line	; 69kV, 1cct, 35km



b) Aricota No.3 Scheme

I) Civil Facilities

- Intake Dam ; Rockfill Dam with Asphalt Concrete Facing  
H= 5.0m, L= 56.0m
- Waterway ; Tunnel, Lined by Concrete or Shotcrete  
L= 7,245m H= 1.90m B= 1.70m
- Penstock ; Welded Steel Pipe L= 819m,  $\phi=1.40 \sim 1.20$ m
- Power Station ; Semi - underground

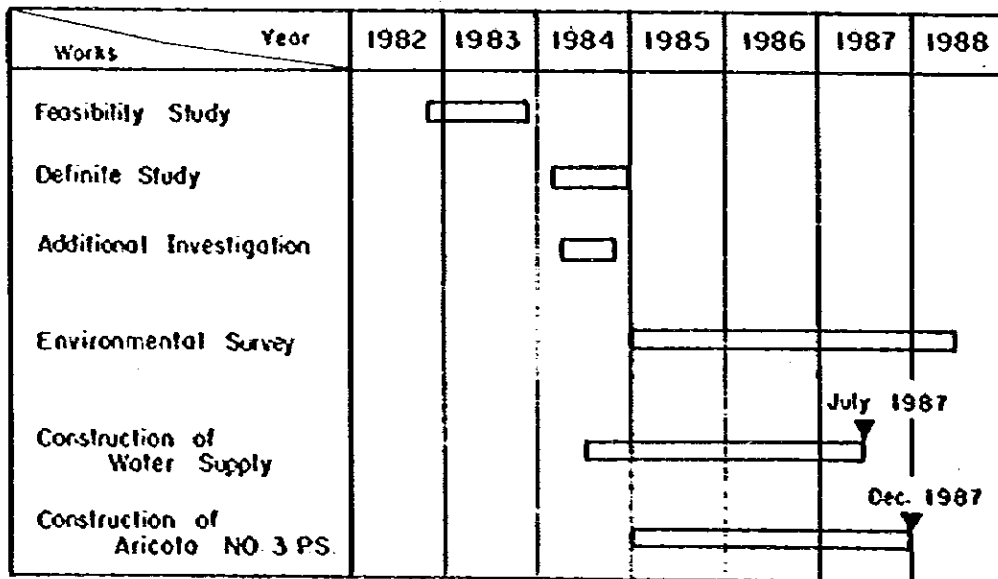
II) Electrical Facilities

- Turbine ; Vertical Shaft, 4 - Nozzles, Pelton Turbine  
15000kVA  $\times$  4.60m<sup>3</sup>/sec
- Generator ; 15000kVA  $\times$  1, 514rpm, 60Hz
- Transformer ; 15000kVA  $\times$  1 10.5kV/138kV
- Transmission Line ; 138kV, 1cct, 8km

(5) 至近未来における湖水利用状況, Tacna市およびその周辺の電力需要などから, 水補給計画は1987年6月までに建設完了, 第3水力発電計画は1987年12月までに建設が完了していなければならない。このためには水補給計画は1984年7月に, また第3水力発電計画は1985年7月それぞれ建設が着手されなければならない。

この工程表をFig 2-1に示す。

Fig. 2-1 Whole Schedule of the Project



Note : ▼ Commencement of Operation

(6) この工事に必要とする総工事費は1982年12月末価格で67.4百万U S ドルと見積られる。このうち内貨と外貨はそれぞれ33.3百万U S ドルと34.1百万U S ドルである。

このうち水補給計画の所要資金は外貨18.5百万U S ドル、内貨19.9百万U S ドルあわせて38.4百万U S ドルであり、一方、アリコータ第3水力発電計画のそれは外貨15.6百万U S ドル、内貨13.4百万U S ドルあわせて29.0百万U S ドルである。

(7) この計画の実施によってAricota湖に補給される水量(年平均 $1.66\text{m}^3/\text{sec}$ )によって、既設発電所群が得られる増加電力量と新設発電所によって得られる電力量の合計は155.0 GWh/年である。また、この水補給と発電放流によってLocumba谷およびIte Norteにひろがる既耕地約3,000 haのかんがい用水と $0.5\text{m}^3/\text{sec}$ のIlo市の水道用水源が確保されることになる。

(8) 既設発電所群による増分電力量、新設発電所による電力量および発電放流水を利用する下流域かんがい農業による便益を総合して経済評価を行うと、本計画の経済的内部収益率は13.1%である。

(9) 本計画により得られる電力と同等のサービスを提供する代替施設として、Ilo市付近にディーゼル発電施設を想定する。これと、農業便益を総合した便益費用比(B/C)は1.53である。またこの場合の等価割引率は17.1%である。

したがって、本計画は十分に企業化可能である。

(10) 所要資金のうち外貨、内貨をそれぞれ政府開発援助および世銀などの国際金融機関によってまかなうとし、電力料金収入のみによる返済計画を立ててみると、計画が実際に運転開始されて17年目の2004年から累積キャッシュフローが黒字となり財務的にみても妥当な計画である。

## 2.2 勧告

前節の「結論」に基づき、以下に述べる事項を勧告する。

### (1) 建設工程について

a) Aricota湖の水利用の現状から、水補給計画は可能なかぎり早期に実施され、おそくとも1987年7月に通水が行われねばならない。

b) また、アリコータ第3水力発電計画は、Tacna市およびその周辺の電力需要の伸びに対応するため、おそくとも1987年12月に建設を完了し運転開始されねばならない。

c) このために水補給計画は1984年7月に、アリコータ第3水力発電計画は準備工事も含めて1985年1月に着手されねばならない。

d) 計画実施のため今後必要な調査、詳細設計は請負付託のための書類準備も含め1984年中に完了せねばならない。

一方、Loriscota湖の希釈排水期間も含めたLoriscota水路の工期は3年であるので、

Loriscota 湖開発に関する基本的検討は追加調査も含め可能なかぎり短期間で実施し、請負工事の一部は先行して実施されること。

(2) 追加調査と詳細設計について

- a) 詳細設計のために必要な追加調査に関して、主として Loriscota 流域と Tocco 流域での地形測量、ピットとボーリングによる地質調査、Loriscota 湖底物質の調査などを中心として進められるべきである。なお、この詳細は Appendix-1 「詳細設計のための追加調査」に述べられている。
- b) 特に Loriscota 排水後の流域の流出形態、これに対応する集水設備および湖底処理の研究は、今後とも継続して行われる必要がある。したがって、現在 CORDETACNA が実施している上流域での地下水調査の解析、補足調査は主として Loriscota 流域と Tocco 流域で集中的に実施されるべきである。
- c) Loripongo における水路建設工法は追加調査資料に基づき経済的で、かつ、最も短期間で建設できるものが採用されねばならない。
- d) Loriscota 湖の希釈排水に先立って、1～2年間 Tambo 川の水質、流量、最下流域におけるかんがい取水と農業、漁業実態の調査が行われること。排水工程はこれを基にして詳細に検討されねばならない。
- e) 導水経路として採られる Matara 川より下流の Callazas 川の河道の現況は詳細に検討されねばならない。特に、現在 Colanchay から Ihuauara および Cairani へ分水されているかんがい導水路との調整は、管理方法も含めて充分に行われねばならない。

## 第3章 開発計画

## 第3章 開発計画

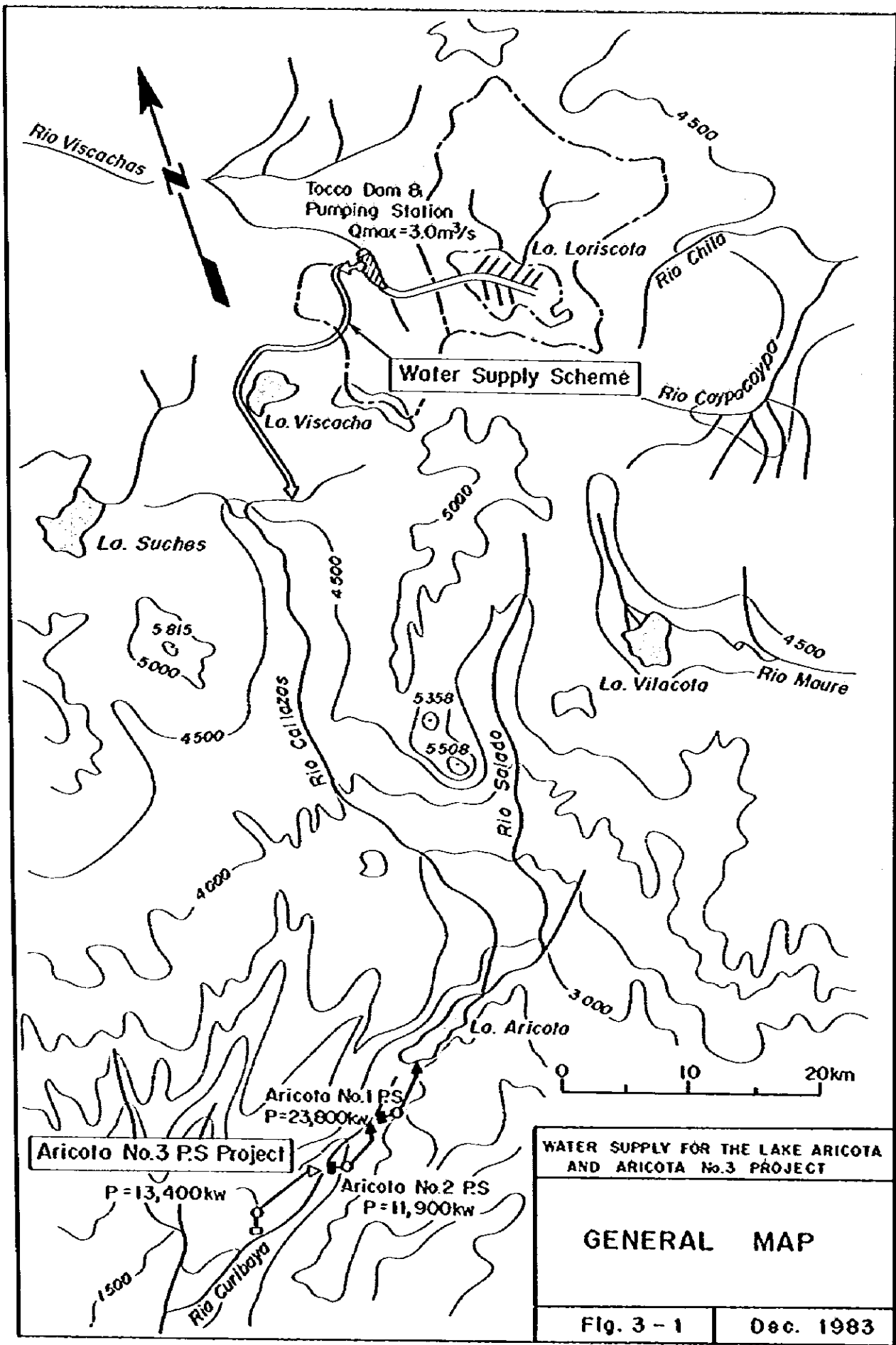
3.1 計画地域の位置と概要 .....	Ⅲ-1
3.1.1 計画地域の位置 .....	Ⅲ-1
3.1.2 計画地域の概要 .....	Ⅲ-1
3.2 開発計画の概要 .....	Ⅲ-2
3.2.1 経 緯 .....	Ⅲ-2
3.2.2 アリコータ湖水橋給計画 .....	Ⅲ-2
3.2.3 アリコータ第3水力発電計画 .....	Ⅲ-3

**TABLE LIST**

**Table 3-1      Project Feature**

**FIGURE LIST**

**Fig. 3-1      General Map**



Tocco Dam & Pumping Station  
 $Q_{max} = 3.0 m^3/s$

**Water Supply Scheme**

**Aricota No.3 P.S. Project**

Aricota No.1 PS  
 $P = 23,800kw$

$P = 13,400kw$

Aricota No.2 PS  
 $P = 11,900kw$

WATER SUPPLY FOR THE LAKE ARICOTA AND ARICOTA No.3 PROJECT

**GENERAL MAP**

Fig. 3 - 1

Dec. 1983

## 第3章 開発計画

### 3.1 計画地域の位置と概要

#### 3.1.1 計画地域の位置

アリコータ湖水補給およびアリコータ第3水力発電開発計画は、ペルー南部Andes山脈高原地帯のLoriscota流域およびTocco川の年平均 $1.66\text{m}^3/\text{sec}$ の水を約60km南のAricota湖に補給することおよび1966年8月に完成したアリコータ第2発電所の約7km下流にアリコータ第3発電所を建設し出力13,400kWの電力を得ることから成る。

計画は、ペルー南部のPuno県とTacna県にまたがり、計画の中心であるAricota湖は、南緯 $17^{\circ}20'$ 、西経 $70^{\circ}17'$ 付近に位置する自然湖である。この地域は、南東および東部でそれぞれチリ共和国とボリビア共和国と接しており、計画地点から最も近いチリ国境までは南東約60kmの位置にある。

#### 3.1.2 計画地域の概要

(1) ペルー共和国の地理的特徴は、海岸線にはほぼ平行にAndes山脈(Cordillera Andes)を形成する西部、中央、東部山脈が南北に走り、これにより地形は海岸帯(Costa)、山岳帯(Sierra)、森林帯(Selva)に分けられる。

計画地域は、山岳帯の西側斜面である標高4,500mの高原地帯から漸移帯を経て標高1,300mまでにわたっている。

(2) 水補給計画が位置する高原地帯は、標高4,000mから4,500m程度のパンパ(荒地)であり、Loriscota湖(標高4,549m)、Viscacha湖(標高4,575m)やSuches湖(標高4,450m)などの湖沼を持っている。これらの高原周辺には標高5,000m~6,000mにおよぶ高山がそびえ、この地帯における年間400mm~600mmの降雨は、Tambo川、Aricota湖(Locumba川)、Ilave川などの源流域を形成している。このうち、流域面積が231km<sup>2</sup>のLoriscota流域は流出河川を持たない閉鎖流域であり、弱塩性水を滞留するLoriscota湖面からの蒸発によって水収支を均衡させていると見られる。Callazas川とSalado川は源流域からAricota湖に向けて流れLocumba川の源の一つとなっている。

(3) Aricota湖、Curibaya川、Ilavaya川およびCinto川からなるLocumba川は、漸移帯では一般に深い溪谷を形成している。

Curibaya川ではこの様に急峻な地形が地質時代の地質や火山活動に誘発されて形成されたと推定される地すべりや堰止め湖の形跡が見られる。現在のAricota湖はそのうちのひとつと見られ、1982年12月、水位2,800.04mにおける貯留量は $430 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。



アリコータ第1と第2発電所はそれぞれ1967年1月と1966年8月に完成し運転を続けているが、こうした地形における落差と自然湖の水資源を利用したものである。この二つの発電所の発電放流が流量の大部分を占めるCuribaya川は、Locumba付近でIlavaya川とCinto川を合流してLocumba川となり太平洋に注いでいる。

海岸帯では降雨はほとんどなく、例えば、La Yaradaでは年間10mm以下である。Locumba川はCallazas川も含めて源流域から約150km流下し、支流域を含め流域面積約5,700km<sup>2</sup>の河川である。

## 3.2 開発計画の概要

### 3.2.1 経緯

- (1) 水補給計画に関する基本計画の検討結果は中間報告(1983年7月)として報告されている。すなわち、Pasto Grandeに貯水池を築造しMbuegua溪谷およびアリコータ湖水補給計画で配分するA案、Loriscota流域を主要な水源としCallazas川を経てAricota湖に導水するB案およびB案の導水経路をSalado川とするC案の基本案の検討である。三つの基本案に基づく協議の結果、Loriscota流域とTocco川を取水流域とするB-C案を採用する事にした。
- (2) また、アリコータ第3水力開発計画に関して"Report on Modified Second Stage Development of Plan Tacna, 1972"において水路ルート、発電所位置、出力などの基本検討が5ケースなされている。ここでは報告書で最も有利な計画とされたAlternativa B-Cに基づく検討を行う。これはアリコータ第2発電所の放水路から取水し、Curibaya川の右岸沿いに約7km導水してChulibayaの地点に発電所を設ける計画である。

### 3.2.2 アリコータ湖水補給計画

- (1) 本計画はAndes高原地帯の水資源を取水し、取水ダム、揚水所、導水路および自然河川によって約60km離れたAricota湖に導水する計画である。これによって急速に潤滑の速度を早めているAricota湖への水補給を行い、現在運転中のアリコータ第1および第2発電所の発電用水とLocumba溪谷に広がるかんがい農地のための用水を確保する目的を持っている。
- (2) かんがい不適水を滞留しているLoriscota湖の約 $70 \times 10^6 \text{ m}^3$ を排水した後のLoriscota流域(流域面積231km<sup>2</sup>)と、Pampa de Pasto Grandeの上流域の一つTocco川(流域面積85km<sup>2</sup>)から年平均流量1.66m<sup>3</sup>/secが集水される。この二つの流域を隔てているLoripongoの低い丘は、開削水路か他の適当な方法で連結されねばならない。湖底区域での集水用開削Loripongoの開削水路およびTocco取水ダム地点までの導水路は、こう配3000分の1と

し、土工量は最大  $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$  と見られる。

この集水地域を覆う第三紀後期に形成された湖成堆積の礫岩～シルト岩よりなる Maure 層や Capillune 層はきわめて良好な滞水層であるが、継続揚水量、地表水との関係などの調査が充分でないので今回は取水源として考慮しない。

- (3) Loripongo(Loriscota 湖北西岸) 地点から北西約 4km の Tocco 川に取水ダムを設ける。これは高さ 11.5m、頂長 135m であり調整能力をほとんど持たない規模のものが考えられる。なぜならば、①高いダムによる堰上げ背水は Loriscota 湖まで週行し、これが旧湖底区域での集水に影響を与えるかもしれない。②流況に応じて約 80m 揚水して導水路に放流する揚水施設が充分経済的に設備可能であるからである。

揚水所の能力は最大揚程 85m、最大揚水量  $3.0 \text{ m}^3/\text{sec}$  出力 3200kW である。

- (4) 揚水所と約 1250m の揚水管路により、約 80m 揚水された水は開水路により Viscacha 湖の西岸を経て Mataza 川に放流される。この導水路はその途中において逆サイフォンとトンネルをそれぞれ 1ヶ所設けなければならない。Mataza 川から Aricota 湖までは自然河川(Mataza 川-Caltazas 川)を約 60km 流下する。
- (5) Aricota 湖からの浸透流量と Ilavaya 川および Cinto 川からの還元流に依存した Locumba 谷におけるかんがい農業は古くから行われてきた。

さらに、1967年1月のアリコータ第1発電所の完成と引続き行われた Ite Norte のかんがい施設整備により農地は一層拡大された。

現在 Locumba 渓谷および Ite Norte 地域合わせて約 4,300ha の農地でかんがいが行われ、アルファルファ、マメ類、アヒ、ジャガイモなどが栽培されている。水補給計画は Locumba 渓谷のかんがい農地への用水を安定的に供給することと、現在 Ilo 市に供給されている水道用水  $230 \text{ l}/\text{sec}$  を  $500 \text{ l}/\text{sec}$  に増強する場合の水源を保証するものである。

### 3.2.3 アリコータ第3水力発電計画

Aricota 湖を源とする Curibaya 川(Locumba 川水系)のアリコータ第2発電所(Chintari)より下流に残る利用可能な落差約 400m によってアリコータ第3発電所で出力 13,400kW を得る。

第2発電所放水路終端近くに容量約 6,000  $\text{m}^3$  の調整池がまず設けられる。地形および地質調査の結果から、アスファルトフェーシング型でプール型の調整池を建設することが有利と判断された。

ここから取水口を経て Curibaya 川右岸に設ける導水トンネルによって Chulibaya まで導水する。トンネルの規模は延長 7.2km、高さ 1.90m、幅 1.70m の上円下方断面であり最大  $4.6 \text{ m}^3/\text{sec}$  の通水能力を持つ。地表踏査および第1、第2発電所建設の記録から、地質が良好な部分は巻立工を簡易な工法で代用できることが考えられる。

導水路トンネルからは、オープン型水槽と延長約 820 m の露出式水圧管路を経て設備出力 13,400 kW の発電所につづく。発電所は容量 15,000 kVA の発電機 1 台、ガントリークレーンをそなえた半地下式発電所であり、主要諸元は高さ 18.50 m、長さ 16.00 m、幅 13.00 m である。

発生電力は第 2 発電所に設けられる増設開閉所まで、約 8 km、138 kV の新設送電線で送られる。ここから Ilo 向けに 138 kV 送電線、Tacna 向けに 66 kV 送電線により ELECTROPERU の負荷に送電される。

Table 3-1 Project Feature

Item	Unit	Feature
<b>A. Water Supply Scheme</b>		
1. River		Rio Putijane (Loriscota Basin) Rio Lorisa ( " " ) Rio Tocco
2. Catchment Area		
Laguna Loriscota	km <sup>2</sup>	234
Rio Tocco	km <sup>2</sup>	85
3. Collecting Canal		
Collecting Canal	km	20
Loriscota Canal	km	12
Slope		1 : 3,000
4. Tocco Intake Dam		
Type		Rockfill Dam with Asphalt Concrete Facing
Height	m	11.5
Crest Length	m	135
Water Level	E.L. m	4,542
5. Pumping Station		
Type	m	Semi-underground
Pumping Head (Max.)	m	85
Output	kW	3,200
6. Pipe Line		
Type		All-welded Steel Pipe, Exposed
Length	m	1,250
Diameter	m	1.20
7. Tocco Canal		
Type		Open Canal
Capacity	m <sup>3</sup> /sec	3.0
* Length	km	30
Slope		1 : 1,500
8. Increased Energy Production	GWh	84.19

\* Length of Tocco Canal is including Inverted Syphon of 500 m and Kataza tunnel of 600 m

Item	Unit	Feature
<b>B. Aricota No. 3 Scheme</b>		
1. River		Rio Curibaya of Rio Locumba System
2. Pound		
Water Level	E.L. m	1,749.50
Storage Capacity	m <sup>3</sup>	6,000
3. Intake dam		
Type		Rockfill Dam with Asphalt Concrete Facing
Height	m	5
Crest Length	m	56
4. Headrace Tunnel		
Type		Top-round, bottom-rectangular Concrete or Shotcrete Lining
Length	m	7,245.35
Height x Width	m	1.90 x 1.70
Slope		1 : 800
5. Penstock		
Type		All-welded Steel Pipe, Exposed
Length	m	819.11
Diameter	m	1.40 - 1.20
6. Powerhouse		
Type		Semi-underground
Effective Head	m	357.00
Maximum Discharge	m <sup>3</sup> /sec	4.6
Installed Capacity	kW	13,400
Energy Production	GWh	70.82

## 第 4 章 電力需要想定

## 第4章 電力需要想定

4.1 電気事業の現状 .....	N-1
4.1.1 エネルギー資源 .....	N-1
4.1.2 電気事業 .....	N-1
4.2 アリコータ第3発電計画の対象地域 .....	N-4
4.2.1 南西地域の現状 .....	N-4
4.2.2 SPCO - Aricota 系統の現状 .....	N-6
4.2.3 対象地域の現状 .....	N-11
4.3 電力需要想定 .....	N-13
4.3.1 基本的条件 .....	N-13
4.3.2 調査資料および想定期間 .....	N-13
4.3.3 需要想定 .....	N-14
4.3.4 需給バランス .....	N-17

## TABLE LIST

Table 4-1	Transitions of Generating Capacity
Table 4-2	Breakdown of Energy Sold of ELECTROPERU in 1981
Table 4-3	Energy Production and Installed Capacity of ELECTROPERU in 1982
Table 4-4	Breakdown of Energy Sold of South West Region in 1982
Table 4-5	Generating Facilities of SPCC-Aricota System
Table 4-6	Energy Demand of SPCC-Aricota System
Table 4-7	Maximum Power Demand of SPCC-Aricota System
Table 4-8	Comparison of Demand Growth Rate of Aricota System
Table 4-9	Power Demand Forecast for Aricota System
Table 4-10	Demand and Supply Balance of Aricota System

## FIGURE LIST

Fig. 4-1	Service Area
Fig. 4-2	SPCC-Aricota System Transmission System Diagram
Fig. 4-3	Estimated Demand and Installed Capacity in Aricota System





## 第4章 電力需要想定

### 4.1 電気事業の現状

#### 4.1.1 エネルギー資源

ペルーの石油産出量は、1977年4月に北部パイプラインが完成したことにより年20%の割合で増大し1981年における1日平均産出量は19万4,000バレルに達している。

1982年時点での確認埋蔵量は9億バレルで、この内訳は東部密林地帯に6億1,000万バレル、北部海岸地帯に9,000万バレルおよび大陸棚に2億バレルである。しかし、この埋蔵量は現在の産出量のペースで12年分にすぎず、このことが電源構成に占める火力発電の水力転換をいそがせている原因のひとつとなっている。

この他、天然ガスの埋蔵量は350億<sup>3</sup>、石炭の埋蔵量は1億1,000万<sup>1</sup>と推定されており、包蔵水力については西独のエネルギー調査団による報告によれば経済的に開発可能な地点として約330を数え、それらの合計出力は約5,800万kWと見積られている。

#### 4.1.2 電気事業

ペルー国の電気事業は、従来国営のものとして国家電気供給機関 (SEN: Servicio Eléctrico Nacional) が国内28地区に電力供給を行っていた。その他、公営としてSANTA 公団、MANTARO公団、CUZCO 公団、TACNA 公団、AREQUIPA 公団および市町村の経営によりそれぞれの地区に電力を供給していた。

1972年ELECTROPERUが設立され、SEN、各公団およびその他公営電気事業はすべてELECTROPERUに吸収された。この他に、当時25の民間会社があったが、現在 Lima 電力会社ほか一部を除いてELECTROPERUに合併されつつある。

また、自家発電設備を有する業者としては、鉱山、農業関係の大企業のものおよび多数の小規模なものが全国各地にある。

1981年における全発電設備は3,300MWであり、そのうち水力発電は57.6%の1,900MWであり、火力発電は42.4%の1,400MWである。

水・火力別の全発電設備出力の推移をTable 4-1に示す。

Table 4-1 Transitions of Generating Capacity

Year	Unit: MW					
	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Hydro	1,406	1,413	1,409	1,633	1,831	1,918
Thermal	1,110	1,127	1,161	1,280	1,331	1,364
Total	2,516	2,540	2,570	2,913	3,192	3,282

Source: World Energy Statics, 1981

年間発生電力量については、1981年には10,100QWhに達しているが人口1人当りに換算すると553kWhであり中南米諸国の中では中位にランクされる。ELECTROPERUはペルー最大の一般電力供給事業者であり、1981年において全体発電設備の42.5%、1,396MWを有し年間発生電力量の40.5%、4,250QWhを占めている。

1981年におけるELECTROPERUの販売電力量の内訳はTable4-2に示す通りである。

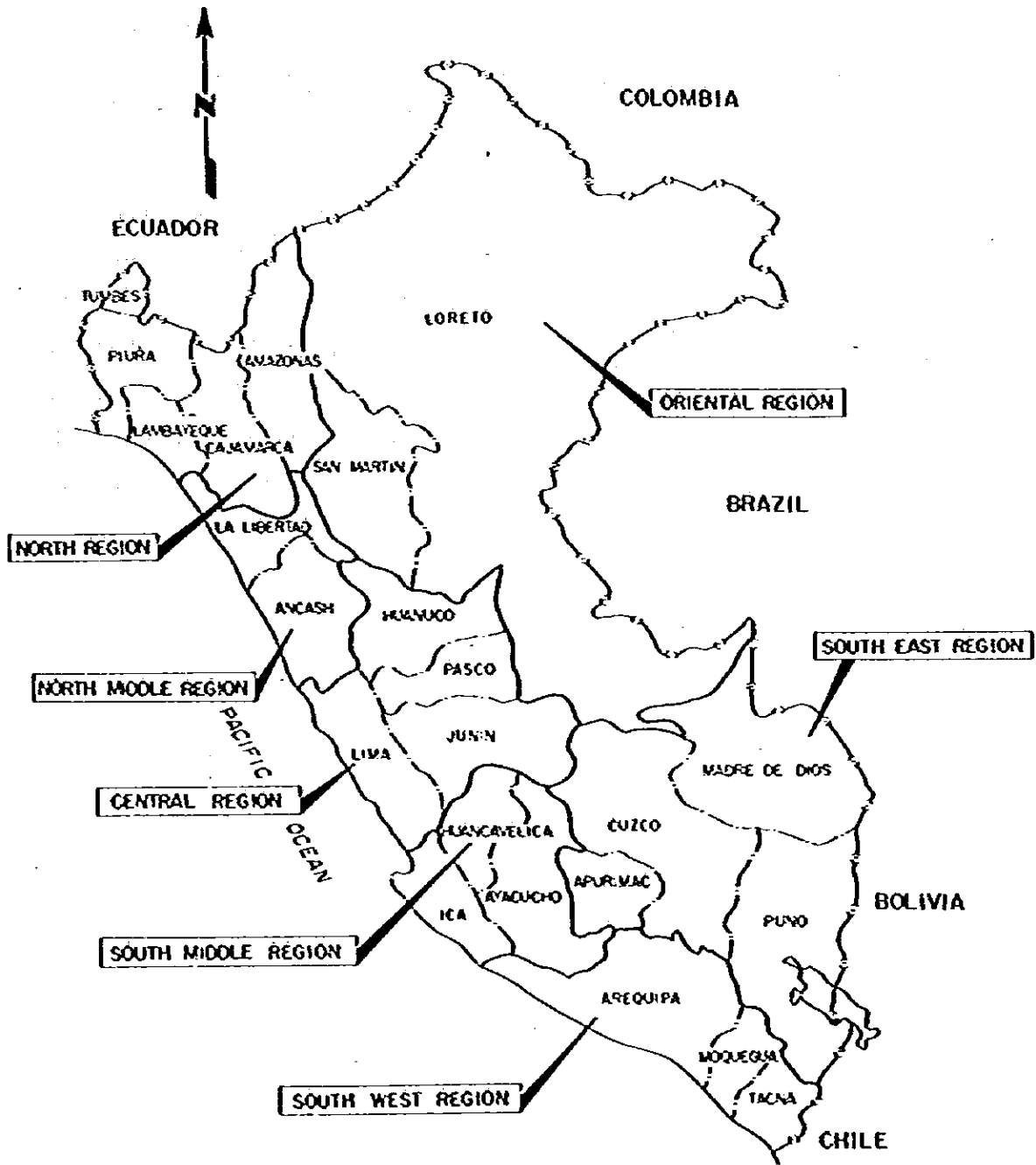
Table 4-2 Breakdown of Energy Sold of ELECTROPERU in 1981

	Energy Sold (GWh)	Ratio (%)
<b>Major Mine and Industry</b>		
Mining	332.3	7.8
Iron Industry	244.6	5.8
Fertilizer Industry	131.7	3.1
Paper Industry	75.0	1.7
Agriculture	11.0	0.2
Cement Manufactory	10.8	0.2
Fisheries	10.3	0.2
Others	118.8	2.8
Sub-Total	934.5	21.8
<b>Public Use</b>		
Residential	264.3	6.2
Commercial	72.6	1.7
General	55.8	1.3
Street Lamp	49.3	1.1
Pump	44.0	1.0
Minor Industry	15.6	0.4
Others	8.1	0.2
Sub-Total	509.7	11.9
Loss, Station Service, Inter-connected System	624.0	14.5
<b>Interchange of Electricity</b>		
ELECTROLIMA	1,946.6	45.5
OGEH	99.7	2.3
COSERELEC	94.9	2.2
HIDARANDINA	73.8	1.7
Sub-Total	2,215.0	51.7
TOTAL	4,283.2	100

Source; Informacion Estadistica de ELECTROPERU, 1981

Fig. 4-1

SERVICE AREA



## 4.2 アリコータ第3発電計画の対象地域の現状

### 4.2.1 南西地域

ペルー国の電力供給地域はFig4-1に示すように北部地域 ( North Region ) , 中北部地域 ( North Middle Region ) , 東部地域 ( Oriental Region ) , 中央地域 ( Central Region ) , 中南部地域 ( South Middle Region ) , 南東地域 ( South East Region ) , および南西地域 ( South West Region ) の7つの地域に分けられる。

今回のアリコータ第3発電開発計画は南西地域のSPCC-Aricota系統に位置し、このプロジェクトの対象となる電力供給地域はSPCC-Aricota系統が対象となる。南西地域の電力系統はArequipa-Cerro Verde系統、SPCC-Aricota系およびPuno-Juliaca系統に分けられ、現時点においてはそれぞれ独自の系統を形成している。一方、南西地域のそれぞれの独立系統の連系を計るべくArequipa-Cerro Verde系統とSPCC-Aricota系統を連系するArequipa-Toquepala連系送電線計画 ( 1983年完成予定 ) が立案されていたが、資金調達などの理由によって1983年8月現在まだ建設に着手していない。1982年におけるELECTRO-PERUの各地域別発生電力量および設備容量はTable 4-3に、また南西地域の販売電力量の内訳はTable 4-4に示すとおりである。

Table 4-3 Energy Production and Installed Capacity of ELECTROPERU in 1982

Region	Type	Energy Production		Installed Capacity	
		(GWh)	(%)	(MW)	(%)
North and North middle	Hydro	615.2		157.8	
	thermal	178.5		193.6	
	Sub-total	793.7	17.1	351.4	25.0
Central and South middle	Hydro	3,214.4		811.0	
	thermal	56.4		54.4	
	Sub-total	3,270.8	70.6	865.4	61.4
South east	Hydro	196.5		45.1	
	thermal	39.1		35.8	
	Sub-total	235.6	5.1	80.9	5.7
Oriental	Hydro	-		-	
	thermal	141.8		63.3	
	Sub-total	141.8	3.0	63.3	4.5
South west	Hydro	178.2		36.2	
	thermal	14.5		11.2	
	Sub-total	192.7	4.2	47.4	3.4
Total	Hydro	4,204.3		1,050.1	
	thermal	430.3		358.3	
	total	4,634.6	100	1,408.4	100

Source: ELECTROPERU: GERENCIA DE OPERACION

Table 4-4 Breakdown of Energy Sold of South West Region in 1982

Item	Energy Sold (GWh)	Rate (%)
<b>Public Use</b>		
Street Lamp	6.01	4.2
Residencial	30.60	21.3
Minor Industry	1.06	0.7
Commercial	6.29	4.4
General	6.86	4.8
Pump	14.86	10.3
Sub-total	65.68	45.7
<b>Major Industry</b>		
	78.18	54.3
<b>Total</b>	<b>143.86</b>	<b>100</b>

Source: GERENCIA DE DISTRIBUCION COMERCIALIZACION by ELECTROPERU

#### 4.2.2 SPCC-Aricota 系統

SPCC-Aricota 系統はその電力供給区分からU.S.A系資本の Southern Peru Copper Corporation (SPCC) 所有の自家用発電設備により電力供給が行われているSPCC系統とELECTROPERUが電力を供給しているAricota系統に分けられる。

SPCC系統とAricota系統は、系統相互の電力融通は行われているものの、基本的にはそれぞれの系統の電力需要に対しては独自の発電設備で賄っているのが現状である。

1983年におけるSPCC-Aricota系統の発電所設備はTable 4-5に示す通りであり、総設備有効出力は145.2MWである。その内ELECTROPERUの所有発電設備はAricota第1および第2発電所で合計出力35.7MWである。

Table 4-5 Generating Facilities of SPCC-Aricota System

Power Station	Type	Unit x Installed capacity (MW)	Effective output (MW)	Commence- ment	Fabricator	Owner
Aricota No. 1	Hydro	2 x 11.9	23.8	1966	Toshiba	ELECTROPERU
Aricota No. 2	Hydro	1 x 11.9	11.9	1967	Fuji	-
Ilo	Thermal	2 x 22 2 x 66	105	1959 1970,1979	BB GE	SPCC -
Botiflaca	Hydro	1 x 4.5	4.5	1978	GE	-
Ruapunco	Hydro	1 x 4.5		1978	GE	-
*Toquepala	Diesel	5 x 1	-	1959	-	-

\* Diesel plant of Toquepala is for emergency use and then it is not usually operated.

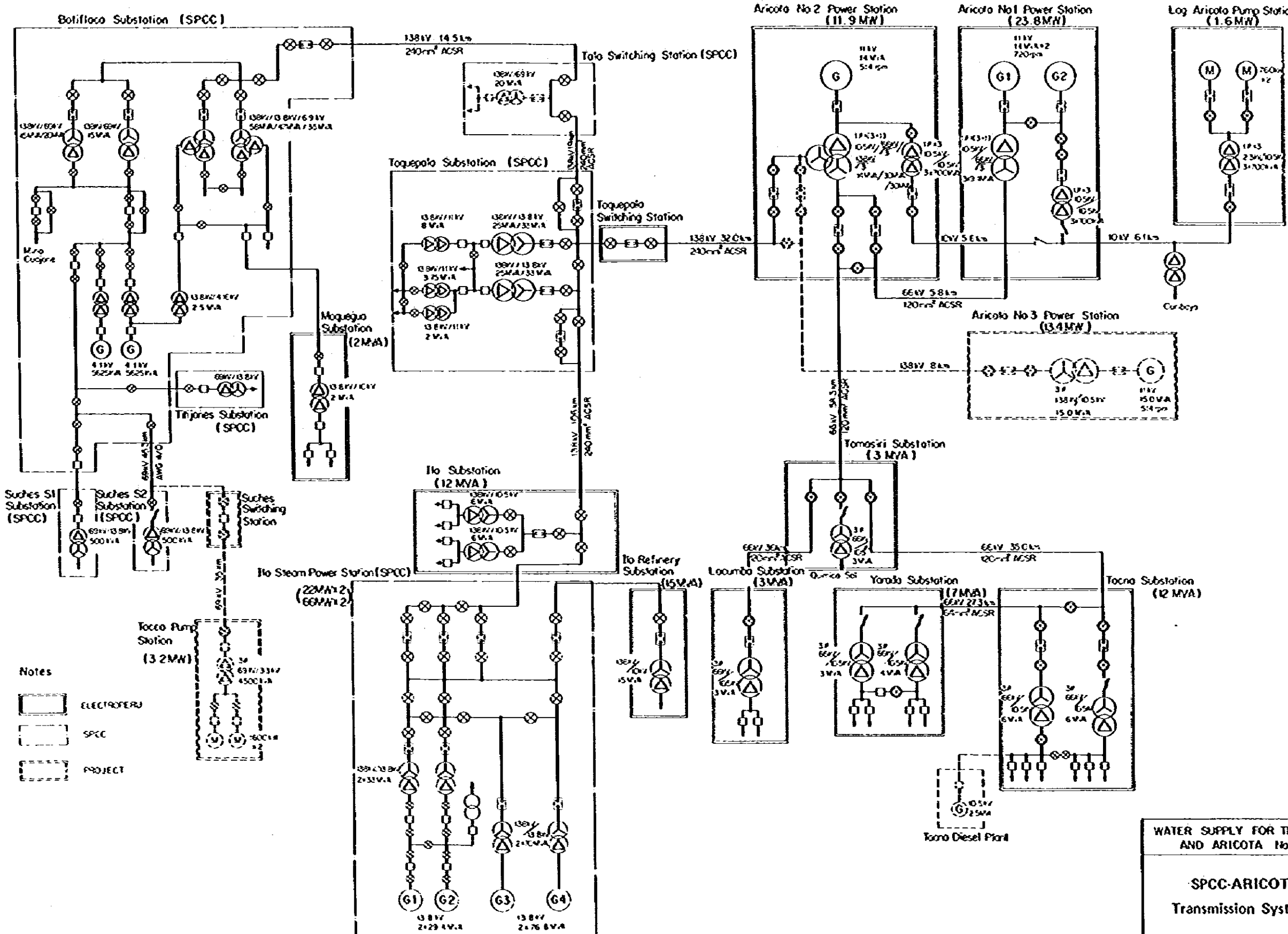
次に本計画における電力供給対象地域での1971年から1982年までの電力量および最大電力をTable 4-6およびTable 4-7に示す。

1982年におけるAricota系統の最大電力は30.75MW、年間電力量は147.05GWhであり負荷率は54.6%となっている。

なお、SPCC-Aricota系統の送電系統図をFig.4-2に示す。







- Notes
- ELECTROFERRO
  - SPCC
  - PROJECT

WATER SUPPLY FOR THE LAKE ARICOTA AND ARICOTA No 3 PROJECT

SPCC-ARICOTA System  
Transmission System Diagram

Fig. 4-2      Dec. 1983





Table 4-6 Energy Demand of SPPC-Aricota System

Unit: GWh

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Increase (2)
<b>Aricota System</b>													
Tacna Substation	9.65	11.14	12.63	14.03	16.60	19.67	21.16	22.92	23.90	27.11	30.88	34.00	12.1
Yarada Substation	-	-	-	6.94	7.69	8.56	9.88	10.14	13.08	19.56	21.60	21.22	15.0
Locumba Substation	-	-	-	-	1.02	3.58	7.25	9.09	9.54	9.03	9.12	10.27	19.2
Tomarizi Substation	-	-	-	-	0.34	0.26	0.23	0.50	0.30	0.42	0.42	0.46	4.4
(Tacna System Total)	(9.65)	(11.14)	(12.63)	(20.97)	(25.65)	(32.07)	(38.52)	(42.45)	(46.82)	(56.12)	(62.02)	(65.92)	(19.1)
Ilo Substation	13.85	15.20	9.51	14.24	12.46	13.67	10.85	14.35	16.35	18.54	22.99	17.65	2.2
Copper Refinery Substation	-	-	-	-	10.34	39.42	50.63	46.73	51.00	51.89	48.92	56.54	5.6
Moquegua Substation	-	-	-	-	3.69	4.62	6.01	6.13	6.62	7.36	7.72	8.91	11.6
(Ilo System Total)	(13.85)	(15.20)	(9.51)	(14.24)	(26.69)	(57.71)	(67.49)	(67.23)	(73.97)	(77.79)	(79.63)	(81.10)	(17.4)
<b>Aricota System Total</b>	<b>23.50</b>	<b>26.34</b>	<b>22.14</b>	<b>35.21</b>	<b>52.34</b>	<b>89.78</b>	<b>106.01</b>	<b>109.68</b>	<b>120.79</b>	<b>133.91</b>	<b>141.65</b>	<b>147.05</b>	<b>18.1</b>
<b>SPPC System Total</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>416.29</b>	<b>649.17</b>	<b>647.35</b>	<b>649.06</b>	<b>656.96</b>	<b>609.49</b>	<b>677.98</b>	<b>8.5</b>
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>506.07</b>	<b>755.18</b>	<b>757.03</b>	<b>790.87</b>	<b>751.14</b>	<b>825.03</b>	<b>825.03</b>	<b>825.03</b>	<b>8.5</b>

Table 4-7 Maximum Power Demand of SPCC - Aricota System

Unit: MW

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Increase (%)
<b>Aricota System:</b>													
Tacna Substation	2.14	2.62	2.87	3.09	3.87	4.02	4.46	4.74	6.48	6.74	7.70	8.70	13.4
Yarada Substation	1.13	1.23	-	1.97	1.67	1.97	2.05	2.15	2.79	3.62	4.60	4.14	12.5
Locumba Substation					-	0.85	0.99	1.64	1.19	1.90	1.90	1.00	11.1
Tomasari Substation					-	0.25	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0
(Tacna System Total)	(3.31)	(3.65)	(2.87)	(5.06)	(5.74)	(7.09)	(8.07)	(9.06)	(10.99)	(12.79)	(14.73)	(14.97)	(14.7)
Ilo Substation	5.20	5.40	5.80	5.20	4.95	4.80	4.50	5.00	5.20	5.30	6.70	6.00	1.3
Copper Refinery Substation					-	6.80	7.90	7.81	7.20	7.20	7.20	7.38	1.4
Moquegua Substation					-	1.20	1.80	1.75	1.80	1.95	2.20	2.40	12.2
(Ilo System Total)	(5.20)	(5.80)	(5.80)	(6.26)	(4.95)	(12.80)	(14.20)	(14.56)	(14.20)	(14.45)	(16.10)	(15.78)	(10.6)
<b>Aricota System Total</b>													
	8.51	9.65	8.67	11.32	10.69	19.89	22.23	23.62	25.19	27.24	30.83	30.73	12.4
<b>L. P (%)</b>													
	-	-	-	-	-	55.5	54.4	53.0	54.7	56.1	52.4	54.6	
<b>SPCC System Total</b>													
	-	-	-	-	-	88.0	111.0	106.0	106.0	117.0	110.0	106.0	3.2
<b>Total</b>													
	-	-	-	-	-	107.89	133.20	129.62	131.19	144.24	140.83	136.75	4.0
<b>L. P (%)</b>													
	-	-	-	-	-	53.5	64.7	66.5	67.0	62.3	60.9	68.9	

### 4.2.3 対象地域

#### (1) Tacna 地区

Tacna 県の人口は1981年において13万人に達しており、Tacna 市は県都であり最も大きい需要地である。この地区への電力供給はTacna 変電所から配電されており、Tacna 変電所の容量は1979年に6MVAの変圧器1バンクが増設され合計設備容量は2バンク 12MVAである。

1982年における電力需要は最大電力8.7MW 年間電力量31GWh であり、過去の電力需要の伸び率は1971年から1982年までの11年間で最大電力が年率13.4%、電力量は年率12.1%であった。また、この地区へはアリコータ第2発電所からTacna 変電所まで66kV、1回線、ACSR 120mm<sup>2</sup>、94km送電線により電力が供給されておりTacna, Yarada, Tomasiri および Locumba の各変電所の最大電力合計は1982年において15MWに達している。このような需要の増加に伴い、送電線の電圧維持、送電損失の軽減を計るためには、Tacna 変電所に調相コンデンサを設置する必要があり、既にELECTROPERUによって立案されている。

一方、将来のTacna 地区の電力需要の伸びに対処するためTacna 市郊外にCalana変電所を建設し、アリコータ第2発電所～Calana変電所間に138kV、亘長102.5kmの送電線計画がELECTROPERUにより立案されており、既に調査が終了している。

#### (2) Yarada 地区

Yarada 地区の電力需要は耕地かんがい用に地下水を汲み上げるポンプ負荷が主であり、1979年最大電力は2,790kW年間電力量13.08GWh であったが、1982年時点においては耕地面積3,200ha、最大電力4,140kW、年間電力量21.22GWh に達している。

この電力需要の伸びにより Yarada 変電所の設備は4MVAの変圧器1バンクが増設され合計設備容量は7MVAとなった。

過去の電力需要の伸び率は1971年から1982年の11年間で最大電力が年率12.5%、電力量が年率15.0%であった。しかし、今後は地下水位の低下によりポンプ容量を増すことにより耕地かんがい用水の確保が必要となってくると思われ、これに伴う需要増が想定される。

#### (3) Locumba地区およびTomasiri 地区

Locumba変電所およびTomasiri 変電所は1975年に建設された。Tomasiri 変電所は以前は開閉所であったが、工場が進出による工場負荷と近郊地区の一般負荷に対して3MVAの変圧器が設置された。また、Locumba地区の電化計画に伴いTomasiri 変電所から66kV 1回線36kmの送電線が新設され設備容量3MVAの変圧器が設置されこの地区の一般負荷に電力を供給している。

1976年から1982年までの6年間の電力需要の伸びはLocumba地区において最大電力で年

率 11.1%，電力量で年率 19.2%，Tomasiri 地区においては最大電力の伸びはほとんどないが電力量で年率 4.4%の伸びを示している。

#### (4) Ilo 地区，Copper Refinery および Moquegua 地区

Ilo 地区の電力需要は Ilo 市の家庭・電灯負荷および Fishing Industry の負荷である。Copper Refinery は Ilo の SPCC 銅精錬所で生産された粗銅を精錬するための電気銅精錬設備であり，SPCC の Ilo 火力発電所に隣接してペルー政府により 1975 年に建設された。Moquegua 地区における電力需要は Moquegua 市の家庭・電灯負荷が主である。これら 3 地区はいずれも SPCC 系統内に位置し，Ilo 地区および Copper Refinery は SPCC の 138 kV 送電線，Moquegua 地区は SPCC の Botiflaca 変電所からの 13.8 kV 送電線により供給されているが，電力供給責任は ELECTROPERU が持っている。このため ELECTROPERU は Aricota 系統の電力から，これらの地区に SPCC より供給されている電力量相当分をアリコータ第 2 発電所～Toquepala 変電所間 138kV 送電線を通じ SPCC に送電しており，その電力融通は Toquepala 変電所で相互の電力量がバランスするように調整されている。

1971 年から 1982 年までの 11 年間の Ilo 地区の電力需要の伸び率は最大電力で年率 1.3% 年間電力量で年率 2.2% であり，1976 年から 1982 年までの 6 年間の Copper Refinery の電力需要の伸びは最大電力で年率 1.4%，電力量で年率 5.6%，Moquegua 地区の電力需要の伸びは最大電力で年率 12.2%，電力量で年率 11.6% である。

#### (5) SPCC 系統

SPCC は U.S.A 系資本の企業であり Toquepala 鉱山および Cuajone 鉱山の開発を行っており，必要な電力を自家用発電設備である Ilo 火力発電所および 2ヶ所の水力発電所により賄っている。Ilo 火力発電所の設備出力は 22MW の発電機 2 台と 66MW の発電機 2 台合計 4 台で 176 MW であるが，ボイラーの蒸気発生設備容量から現在 105 MW に出力制限されている。Cuajone 鉱山の近郊にある Botiflaca，Rumipunco の 2 つの水力発電所は，設備出力は 2 台で 9MW であるが，鉱山用水の再利用のため半分の 4.5MW に運転制限されている。なお，Toquepala 鉱山には 1,000kW のディーゼル発電機 5 台の 5MW の発電設備があるが，1959 年に運転開始した老朽設備のため非常用としてのみ使用されている。

SPCC 系統は 1967 年に Toquepala 変電所とアリコータ第 2 発電所間で Aricota 系と 138 kV 送電線 1 回線によって連系されており(4)で述べたとおり SPCC 系統内にある Ilo 地区，Copper Refinery および Moquegua 地区の電力需要に対しては SPCC の 138kV 送電線を經由して ELECTROPERU が電力を供給する形をとっている。また，Aricota 系，SPCC 系とも事故時または点検時等の場合にはそれぞれ電力融通が行われており，融通電力量は年間でバランスするように調整されている。SPCC 系統の電力需要の SPCC-Aricota 全系統の中で占める割合は 1982 年において最大電力で 77.5%，年間電力量で 82.2% である。

## 4.3 電力需要想定

### 4.3.1 基本的条件

具体的な需要想定を行うにあたって、先に述べた対象地域の系統上の特徴から、南西地域にそれぞれ独立的に運営されているうちのひとつSPCC-Aricota系のみを考慮することとした。更に、SPCC-Aricota系にあるふたつのSub系統、すなわちAricota系統とSPCC系統は各々の需要に対して、独自の発電設備で対応していることから本計画の電力需要想定対象負荷としては、Aricota系統のELECTROPERUの供給責任範囲であるTacna市とその近郊、Ilo市、Moquegua市およびIloの銅精錬所等の需要を対象として考えることとした。

この電力供給対象地域の需要規模は1982年時点で最大30MWの小規模なものである。このような状態では地方電化計画や単独プロジェクトの投入計画等地方経済政策により電力需要が大きく左右されることに留意されなければならない。入手されている1971～1982年間の需要実績、現地での実態調査を基礎に分析するとELECTROPERU作成による最新の需要想定（資料-3）は最も妥当な値であると判断され需要想定としてこの資料を採用してさしつかえないと判断される。

### 4.3.2 調査資料および想定期間

計画地域の電力需要想定については、これまで数回にわたりELECTROPERUが過去の電力需要の実績を分析評価し将来の電力需要を想定している。

（資料-1） Planeamiento del Sistema Eléctrica Interconectado Sur Oeste Período  
1981-1990 Noviembre, 1981

（資料-2） Sistema ; Sur Oeste  
Mensaje ; Energía (GWh) Plan Maestro D.G.E/D.D.E Potencia (MW)  
Período ; 1982 ~ 2006  
10/2/1983

（資料-3） Sistema ; Sur Oeste  
Mensaje ; Energía (GWh) Plan Maestro D.G.E/D.D.E Potencia (MW)  
Período ; 1983 ~ 2007  
29/4/1983

今回調査団は、1983年8月の第三次現地調査時においてELECTROPERU企画部から南西地域の電力需要想定について見直した最新のデータ（資料-3）を入手した。データは南西地域の電力需要の伸びを近年の経済情勢を考慮し、各需要地の供給の実態を把握するとともに、将来の地方電化計画および単体の農・工業プロジェクト等による需要予測により見直しを行ったものであり、その想定期間は1983年から2007年に亘る。ここでは電力需要の想定期



間は1983年から1998年までの15年間とした。この期間を採用した理由は、本プロジェクトの規模が小さく Arequipa-Cerro Verde 系統と SPCO-Aricota 系統との連系送電線計画の遅延によりその運用を考慮できないことから、アリコータ第3発電所を投入しても1993年には新規電源の投入が必要と判断されること等から、短期的な電力需要想定区切りである10年から15年を想定期間とすることが妥当であるとの判断によるものである。

なお、今回採用した ELECTROPERU の南西地域の電力需要想定データ（資料-3）および本計画の電力供給地域の電力需要のデータを Appendix-N に示す。

#### 4.3.3 需要想定

電力需要想定の方法については4.3.1項に述べた通りであるが、当電力供給対象地域の過去の需要実績の伸び率と想定値の伸び率を比較した結果を Table 4-8 に示す。

Table 4-8 Comparison of Demand Growth Rate of Aricota System

	Past (%)		Forecast (%)	
	1971-1982 (11 years)	1977-1982 (5 years)	1983-1988 (5 years)	1983-1998 (15 years)
<b>Maximum Demand (MW)</b>				
Tacna System	14.7	13.3	6.0	5.7
Ilo System	10.6	2.1	4.5	5.3
Total	12.4	6.7	5.2	5.5
<b>Energy (GWH)</b>				
Tacna System	19.1	11.4	5.9	6.1
Ilo System	17.4	3.7	3.7	5.4
Total	18.1	6.8	4.7	5.7

上記伸び率の結果から、1971年から1982年の11年間で最大電力で年率12.4%、電力量で年率18.1%と大きな伸びを示している。しかし、過去の至近5年間を見ると最大電力で年率6.7%、電力量で年率6.8%と伸び率が低くなっている。今回 ELECTROPERU の想定値は1983年から1988年の5年間を見ると最大電力年率5.2%、電力量年率4.7%、1983年から1998年の15年間は最大電力5.5%、電力量年率5.7%となっており、過去5年間の実績伸び率から経済状況が大巾に変わらないことを前提とすれば妥当な値と判断できる。なお、需要想定値

として求めた最大電力については、ELECTROPERUの需要想定最大の電力の値が各地区における変電所の最大電力合計値であることからこの合計値をAricota系統の1978年から1982年の過去5年間の実績不等率（個々の最大電力の和／月別の合成最大電力）で除したものを最大電力としその値をTable 4-9に示す。

Table 4-9 Power Demand Forecast for Aricote System

Year	Iacno System		Ilo system		Maximum Demand (a) (MW)	Maximum Demand (b) (MW)	Energy (GWh)	Annual L. F (%)	Diversity Factor (a)/(b) (%)
	Maximum Demand (MW)	Energy (GWh)	Maximum Demand (MW)	Energy (GWh)					
1971	3.31	9.65	5.20	13.85	8.51	21.78	109.68	57.5	108.4
72	3.65	11.14	5.80	15.20	9.45	23.17	120.79	59.5	108.7
73	2.87	12.63	5.80	9.51	8.67	23.82	133.91	64.2	114.4
74	5.06	20.97	6.25	14.24	11.32	29.28	141.65	55.2	105.3
75	5.74	25.65	4.95	26.69	10.69	28.89	147.05	58.1	106.4
76	7.09	32.07	12.80	57.71	19.89	31.1	159.0	58.4	108.6
77	8.03	38.52	14.20	67.49	22.23	32.5	165.4	58.1	108.6
78	9.06	42.45	14.56	67.23	23.62	34.4	173.1	57.4	108.6
79	10.99	46.82	14.20	73.97	25.19	35.9	180.0	57.2	108.6
1980	12.79	56.12	14.45	77.79	27.24	37.6	187.5	56.9	108.6
81	14.73	62.02	16.10	79.63	30.83	40.1	200.4	57.0	108.6
82	14.97	65.95	15.78	81.10	30.75	44.5	221.1	57.2	108.6
83	16.2	70.8	17.6	88.2	33.8	44.5	223.7	57.4	108.6
84	17.1	75.1	18.2	90.3	35.3	46.0	232.0	57.6	108.6
85	18.5	80.5	18.9	92.6	37.4	47.6	239.2	57.4	108.6
86	19.5	85.2	19.5	94.8	39.0	51.2	261.51	58.3	108.6
87	20.6	90.3	20.2	97.2	40.8	54.8	280.8	58.5	108.6
88	21.7	94.4	21.9	106.0	43.6	58.0	300.9	59.2	108.6
89	22.6	98.4	23.3	113.7	45.8	61.7	321.8	59.5	108.6
1990	23.5	102.7	24.8	121.0	48.3	65.7	343.5	59.7	108.6
91	24.5	107.4	25.5	124.6	50.0	69.4	366.1	60.2	108.6
92	25.6	112.1	26.1	127.1	51.7				
93	27.4	122.1	28.2	139.4	55.6				
94	29.4	131.4	30.1	149.4	59.5				
95	31.1	141.0	31.9	159.9	63.0				
96	33.0	151.0	34.0	170.8	67.0				
97	35.1	161.5	36.2	182.0	71.3				
98	37.2	172.3	38.2	193.8	75.4				

Mean  
Diversity  
Factor  
= 108.6(Z)

#### 4.3.4 需給バランス

アリコータ第3発電所計画にともなり Aricola 系統の需給バランスの検討を下記の条件を設定し行った。

- (1) アリコータ第1, 第2発電所の合計出力は, 水補給計画により将来とも最大出力 35.7 MWの運転が可能とする。
- (2) 現在 Tacna 変電所の近郊にディーゼル発電所が建設中であり, 2.5MWのディーゼル発電機1台が1983年11月に運転開始する予定であるので需給バランスに組入れるものとする。さらに需給バランス上1986年に2.5MW1台分の増設のみ考慮した。
- (3) アリコータ第3発電所の運転開始は工期から考えて1987年12月としその出力は13.4MWとした。
- (4) アリコータ第3発電所の電力は138kV送電線, 1回線によりアリコータ第2発電所に送電され, Tacna 系には66kV, 送電線1回線, Ilo 系には138kV送電線, 1回線により送電される。

しかし, Tacna 系の電力需要の増加により66kV送電線の送電容量を越える時期においてはアリコータ第3発電所から Tacna 地区 ( Calana 変電所 ) に新設138kV送電線, 1回線が建設され Tacna 系の電力需要の増加に対処できるものとした。

- (5) Aricola 湖の揚水ポンプ設備1.6 MWは将来とも運転しアリコータ第1, 第2および第3発電所の使用水量を確保するものとした。

さらに, 1987年7月以降, 水補給計画により Tocco 地点に建設される揚水ポンプ設備3.2 MWの電力も Aricola 系統から供給されるものであり, 供給力から差し引いて考えた。

- (6) 1993年以降の Aricola 系統の電力需要の増加により電力供給に不足を生じるので, COR DETACNAより計画されている Villavillane 川の総合開発として第1から第5までの発電所のうち第1発電所4MWを1993年に, 第2発電所7.1MWを1994年に, さらに, 第3発電所19.2MWを1996年に建設するものとした。Villavillane 川に開発が計画されている発電所の諸元は次のとおり。

	有効落差 (m)	使用水量 (m <sup>3</sup> /sec)	発電所出力 (MW)
第1発電所	201	2.5	4
第2発電所	350	2.5	7.1
第3発電所	950	2.5	19.2
第4発電所	393	2.5	8
第5発電所	408	2.5	8.3

以上を基に需給バランスを作成すると Table 4-10 および Fig 4-3 の通りとなり、1988年から1992年まではアリコータ第3発電所計画により電力需要と供給バランスが取れる。なお、1992年以降は SPCC-Aricota 電力系統と Arequipa 電力系統との送電連系計画の進捗状況により、その時点で計画を立てるものとし、ここでは1993年、1994年および1996年に Villavillane 川の総合開発計画にそって、第1、第2および第3発電所を運開するものとし1998年までの電力需要に対し応じることと想定した。

Table 4-10 Demand and Supply Balance of Aricota System

Year	Maximum Demand (MW) (1)	L. F (%)	Project (MW)	Installed Capacity			Maximum Available Capacity (MW) (2)	Balance (MW) (2) - (1)
				Hydro (MW)	Diesel (MW)	Accumulated (MW)		
1983	31.1	58.4		35.7		35.7	3.0	
84	32.5	58.1	2.5	35.7	2.5	38.2	4.1	
			2.5x1*1					
85	34.4	57.4	0	35.7	2.5	38.2	2.2	
86	35.9	57.2	2.5	35.7	5.0	40.7	3.2	
			2.5x1*2					
87	37.6	56.9	0	35.7	5.0	40.7	1.5	
88	40.1	57.0	13.4	49.1	5.0	54.1	9.2	
			13.4x1*3					
89	42.3	57.2	0	49.1	5.0	54.1	7.0	
90	44.5	57.4	0	49.1	5.0	54.1	4.8	
91	46.0	57.6	0	49.1	5.0	54.1	3.3	
92	47.6	57.4	0	49.1	5.0	54.1	1.7	
93	51.2	58.3	4	53.1	5.0	58.7	2.1	
			4x1*4					
94	54.8	58.5	7.1	60.2	5.0	65.2	5.6	
			7.1x1*5					
95	58.0	59.2	0	60.2	5.0	65.2	2.4	
96	61.71	59.5	19.2	79.4	5.0	84.4	17.9	
			19.2x1*6					
97	65.7	59.7	0	79.4	5.0	84.4	13.9	
98	69.4	60.2	0	79.4	5.0	84.4	10.2	

Note - \*1: Commissioning of Tacna Diesel Plant

\*2: Expansion of Tacna Diesel Plant

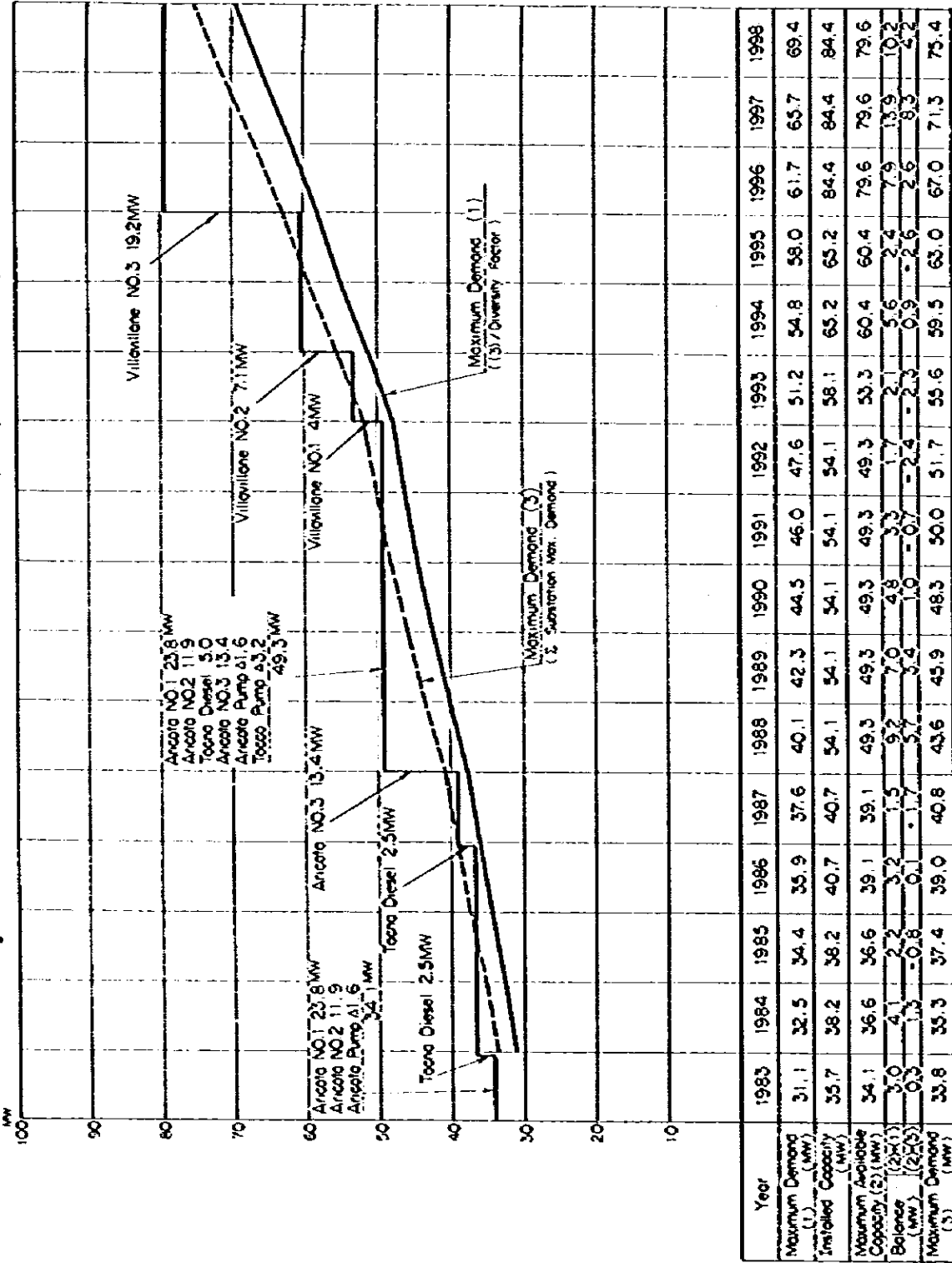
\*3: Commissioning of Aricota No. 3

\*4: Commissioning of Villavillane No. 1 PS

\*5: Commissioning of Villavillane No. 2 PS

\*6: Commissioning of Villavillane No. 3 PS

Fig. 4-3 Estimated Demand and Installed Capacity in Aricota System



## 第5章 流域の気象と水文



## 第5章 流域の気象と水文

5.1 基本的考察 .....	V - 1
5.2 気象および水文の概要 .....	V - 1
5.3 湖水所および気象観測所 .....	V - 4
5.4 観測資料の解析 .....	V - 9
5.4.1 均質性の検証 .....	V - 9
5.4.2 資料の修正 .....	V - 14
5.4.3 水文周期の検討 .....	V - 15
5.4.4 流出特性 .....	V - 18
5.5 地点流量 .....	V - 20
5.5.1 Pasto Grande 地点流量 .....	V - 20
5.5.2 Tocco 地点 .....	V - 20
5.5.3 Loriscota 流域 .....	V - 20
5.5.4 Chila 川 Coypacoypa川流域 .....	V - 25
5.6 Aricota 流域 .....	V - 26
5.6.1 基本的条件 .....	V - 26
5.6.2 Aricota 湖からの浸透量 .....	V - 26
5.6.3 Aricota 湖流入量 .....	V - 28
5.7 設計洪水量 .....	V - 30
5.7.1 一 般 .....	V - 30
5.7.2 Pasto Grande ダム地点 .....	V - 30
5.7.3 Tocco 取水ダム地点 .....	V - 32
5.7.4 Chintari 取水ダム地点 .....	V - 32
5.8 堆 砂 量 .....	V - 33

## TABLE LIST

Table 5-1	Existing Meteorological Data
Table 5-2	Existing Run-off Data
Table 5-3	Average Precipitation
Table 5-4	Relation between Annual Precipitation and Loss
Table 5-5	Annual Average Inflow in Each Case
Table 5-6	Probable Flood Discharge

## FIGURE LIST

Fig. 5-1	Location Map of Run-off and Meteorological Gauging Station
Fig. 5-2	W-Mass Curve of Precipitation of Suches and Tacalaya
Fig. 5-3	W-Mass Curve of Precipitation of Pasto Grande and Tacalaya
Fig. 5-4	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S
Fig. 5-5	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S (Rainy Season: Nov. - May)
Fig. 5-6	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S (Dry Season: Jun. - Oct)
Fig. 5-7	Hydrograph at Coranchay and Candarave G.S.
Fig. 5-8	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Candarave G.S
Fig. 5-9	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Aricota G.S
Fig. 5-10	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Pasto Grande G.S
Fig. 5-11	W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Pasto Grande G.S (Rainy Season: Nov. - May)

- Fig. 5-12**            **W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Pasto Grande G.S (Dry Season: Jun. - Oct.)**
- Fig. 5-13**            **W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Vilacota G.S**
- Fig. 5-14**            **Moving Average Analyses**
- Fig. 5-15**            **Relation between Precipitation and Loss in Coranchay Basin**
- Fig. 5-16**            **Relation between Precipitation and Loss in Pasto Grande Basin**
- Fig. 5-17**            **Relation between Precipitation and Loss in Tocco Basin**
- Fig. 5-18**            **Relation between Precipitation and Loss in Vilacota Basin**
- Fig. 5-19**            **Relation between Precipitation and Loss in Project Area**
- Fig. 5-20**            **Assumed Inflow Model of Lake Loriscota**
- Fig. 5-21**            **Estimated Fluctuation of Water Surface at Lake Loriscota**
- Fig. 5-22**            **Seepage Curve at Lake Aricota**
- Fig. 5-23**            **Rating Curve at Pasto Grande Gauging Station**

## 第5章 流域の気象と水文

### 5.1 基本的考察

本計画に必要な水文資料とは、水補給計画での可能取水量および発電に使用し得る流量の算定に使用する流量資料と、ダム等の土木構造物の設計に必要な洪水資料および Loriscota 湖の希釈排水による環境評価に係る水質の資料である。

調査団は以上の水文資料を整備するのに先立ち、入手資料の選別を行い、それらの観測資料について基礎的な解析を行った。

各取水地点の流量算定には極力実測記録を採用する方針で努めたが、Loriscota 流域については水文資料が皆無であるため、この流域での地形特性を考慮した上で、周辺の近傍観測所資料を用いて水収支の観点からその流入量を算定した。

Aricota 流域については、まず流入出資料が完備されている期間について水収支計算を行い水位と浸透量の関係を求めた。流入量資料がない 1974 年以降については、流出資料および湖水位より流入量を計算した。

洪水解析に必要な水文基礎資料は極めて乏しく、唯一 Pasto Grande 取水所で記録された資料があるのみである。この資料を使用して洪水解析を行っている既存報告書を入手したので、本調査団はこれらの報告書で検討された洪水解析を見直すことにする。

水質に関する調査は計画実施による発電放流が Locumba 谷および Ite norte かんがい用水として再利用されるために量的調査と同様に重要である。

計画流域の水質は Loriscota 湖に滞留するかんがい不適水の希釈排水処理が環境に及ぼす影響予測とともに第 10 章に述べる。

### 5.2 気象および水文の概要

本計画の対象地域はペルー南部の Tacna 県を中心とし Moquegua 県および Puno 県にまたがっており、その集水区域は Andes 山脈の Altiplano に属する地域で低湿多湿地帯である。

また、発電によって使用された水量をかんがい等で利用する区域は集水区域の西側の太平洋沿岸地域に位置し、この地域の気候は熱帯乾燥性気候として特徴づけられる。

Andes 山岳地帯における降雨量は全般的に太平洋沿岸に比べて多く、寒冷前線と気圧変動に大きな影響を受ける。4 月から 11 月の期間は前線が遠のいて高気圧帯に覆われ好天の日が続く。12 月から 3 月までの期間は停滞前線が覆っていて気圧が低く曇天が続き雨も多い。

年間降雨量は概ね標高が高くなるにつれ、および内陸方向に行くに従って多くなり、発電所計画地点付近の標高 2000 m 以下では約 50 mm 以下、Aricota 湖周辺付近の標高 3000 m～3500 m で約 150～250 mm、水補給計画の集水区域である高原地帯の標高 4500 m 程度では約 400～

600mmであり 12 月から 3 月の期間には降雪がみられる。

気温は標高によって異なり、標高約 3,400 m の Candarave における年平均気温は約 9℃で標高約 4,550 m の Pasto Grande では約 3℃である。しかし、日中と夜間では大きな温度差が生じ、特に、標高 4,500 m 程度の高地において日中で 14～20℃前後であるに対し夜間は -5℃～-19℃まで低下する。

集水対象区域における流出の傾向は降雨量のそれに大きな影響を受け乾期流量と雨期流量の差が激しい。年間で最も流量が多い月は 2 月～3 月で年平均流量の 1.6～3.1 倍、最も少ない月は 10 月～11 月で年平均流量の 0.2～0.7 倍程度である。

水補給計画の主な集水源である Loriscota 流域には水文に関する資料はないが、検討結果によると現在の Loriscota 湖は平均 1.4 m<sup>3</sup>/sec 前後の流入出により平衡状態が保たれていると推定される。また Tocco 取水地点での流入量は測水所記録により約 0.50 m<sup>3</sup>/sec と見積られる。Aricota 流域においては、主に Callazas 川でかんがい等のために人工取水がされている事から、それらを含まない流入量として約 2.0 m<sup>3</sup>/sec が Aricota 湖へ流入しているものと考えられる。



### 5.3 測水所および気象観測所

本計画に関する水文気象資料は、主に水補給計画に係わるアンデス高原地帯におけるものと Aricota 流域におけるものおよび本計画によって影響が及ぼされると想定される周辺区域のものから成っている。

主な観測所の位置を Fig. 5-1, その観測期間を Table 5-1 および 5-2 に示す。これらの資料は SENAMHI, ELECTROFERU, SPCC, EICTM および Ministerio de Agricultura 等の機関によって観測されている。

しかし、それらの観測期間はまちまちで本計画に直接使用し得る資料は限定される。調査団は可能な限り入手された水文気象観測資料をもとに、資料の全体的な整合性について地理的ならびに資料の期間等の観点から計画に採用する資料を選定した。以下に主な観測所についてその概要を述べる。

#### (1) 気象観測所

##### a) Tacalaya 気象観測所

当観測所は Suche 湖の南約 15 km, Locumba 川の最上流部標高 4,500 m に位置し、1953 年より SPCC により管理されている。

##### b) Suches 気象観測所

当観測所は Suches 湖岸標高 4,452 m に位置し、1956 年より SPCC により管理されている。

##### c) Pasto Grande 気象観測所

当観測所は Tambo 川の支流 Viscachas 川沿いの標高 4,550 m に位置し、当地点の上流には約 130 km<sup>2</sup> の広大なパンパを形成している。当観測所は 1952 年より SPCC により管理されている。

##### d) Vilacota 気象観測所

当観測所は Maure 川の上流 Vilacota 湖近く標高 4,390 m に位置し、1964 年より SENAMHI により管理されている。

#### (2) 測水所

##### a) Candarave 測水所

当測水所は Aricota 湖に流入する主な河川である Callazas 川の河口付近、湖より上流 3 km 標高 2,850 m に位置する。当測水所地点での河川勾配は約 1/100 で流域面積は 637 km<sup>2</sup> である。しかし、当測水所より上流は大小合せて 17 ヶ所でかんがい取水がされており、中でも Coranchay 測水所の直下流より最大 1.9 m<sup>3</sup>/sec が取水され、更に、その半分は Aricota 流域外の Cairani および Huanuara へ導水されている。したがって当測水所流量は自然河川のそれではなく、これら取水設備地点での蓄水とそれらの還元水および残流域流量から成っているものと考えられる。当測水所は 1963 年以降 ELECTR

OPERUによって管理されていたが1973年以降は観測されていない。

b) Coranchay 測水所

当測水所は Callazas 川の中流部で標高 4,200m の位置にあり、測水所付近での河川勾配は約 1/70、流域面積は 438 km<sup>2</sup> で 1955 年より SPCC によって管理されている。

c) Aricota 測水所

当測水所は Aricota 湖に流入する主な河川である Salado 川の湖より 2 km 上流の標高 2,800m の位置にあり、流域面積は 349 km<sup>2</sup> である。この付近の河川勾配は約 1/100 である。管理は 1963 年より ELECTROPERU によって行われてきたが、1973 年以降の観測は行われていない。

d) Pasto Grande 測水所

当測水所は Tambo 川の支流 Viscachas 川標高 4,510m の位置にあり、流域面積は 560 km<sup>2</sup> である。当測水所付近を境に上流側は広大なパンパで下流側は谷を形成し河川勾配も急である。管理は 1953 年より現在まで SPCC によって行われている。

e) Tocco 測水所

当測水所は Pasto Grande の上流、標高 4,547m に位置しその流域面積は 85 km<sup>2</sup> である。管理は 1970 年から SPCC によって行われている。

f) Vilacota 測水所

当測水所は Vilacota 湖より 5.5 km 上流の標高 4,400m に位置し、流域面積は 76 km<sup>2</sup> で、この付近の河川勾配は約 1/100 である。管理は 1964 年より SENAMHI によって行われている。

g) Chucarapi 測水所

当測水所は Tambo 川の下流部標高 135m で Tambo 谷の開口部に位置し、その流域は Puno, Moquegua および Arequipa の 3県にまたがる広大なものである。流域面積は 12,855 km<sup>2</sup> であるが流出源となる区域はその内の 8,924 km<sup>2</sup> と見積られている。記録は 1933 年以降行われており Ministerio de Agricultura によって管理されている。

(3) その他有効な資料

a) Aricota 揚水所

当揚水所は Aricota 湖の湖水を揚水し、Curibaya 川沿いに設けられているアリコータ第一発電所への導水および Curibaya 地点へのかんがい用水の補給等のために設置されている。管理および運用は ELECTROPERU によって行われ、1967 年以降揚水量および湖水位が記録されている。

b) 既設アリコータ第1および第2発電所

両発電所は 1967 年に発電が開始されて以来、ELECTROPERU によって管理および運用されている。これらの発電実績資料をもとに発電に使用された水量を比較的精度が



高く推定することが出来る。すなわち第1発電所においては揚水量との比較、第2発電所においては第1発電所の放流量および Aricota 湖からの浸透量を含む Curibaya 地点方面からの流量等との比較値として有効である。





## 5.4 観測資料の解析

### 5.4.1 均質性の検証

本計画に関する収集された水文資料についてその均質性をダブルマスカーブ法により調査した。一般的に雨量と流量は時間差を含む相関関係にあると言われている。ダブルマスカーブで描かれるその経年曲線の勾配は対応する値間の平均的相関関係を示すこととなる。その場合経年途中で、その勾配が変わると、両者の関係がその折点の年次以降で変化した事が推測される。その原因として考えられる要素は環境条件によるものと観測条件によるものがある。一般的に前者においては勾配は緩やかに変化するとされており、後者は勾配の折点が比較的明確でそれ以降はほぼ一定の傾向を示すとされている。以上の観点から解析を行い異状が認められた資料については原因を推定し資料の修正の有無を判断した。

#### (1) 降雨量

##### a) Tacalaya と Suches

両観測所間で対応する期間は 1957 年 1 月から 1981 年 8 月までの 25 年である。当期間の年平均降雨量は Tacalaya が 465 mm, Suches が 386 mm である。

Fig. 5-2 に示される様に勾配はほぼ一定の傾向を示している。

##### b) Tacalaya と Pasto Grande

両観測所間で対応する期間は 1953 年 1 月から 1981 年 12 月までの 29 年間である。当期間の年平均降雨量は Tacalaya が 467 mm, Pasto Grande が 534 mm である。

Fig. 5-3 にその関係を示す。1972 年までの 19 年間の勾配が  $S_1 = 1.18$  に対して 1972 年から 1973 年の 2 年間は Suches に対して Tacalaya が 3.4 % 多い傾向を示しているが、それ以降の 8 年間は僅かに 1.8 % の差となっている。したがって両者間の傾向はほぼ一致していると判断される。上記の 3 降雨観測資料間について比較的観測条件が整っているとされる Tacalaya を軸とした関係を分析した結果、Suches および Pasto Grande 両観測資料とも均質であると判断した。なお、流量と降雨量の関係については上記 3 降雨観測資料を平均値として使用するものとし、以降基準降雨量と呼ぶ。

Fig. 5-2 W-Mass Curve of Precipitation of Suches and Tacalaya

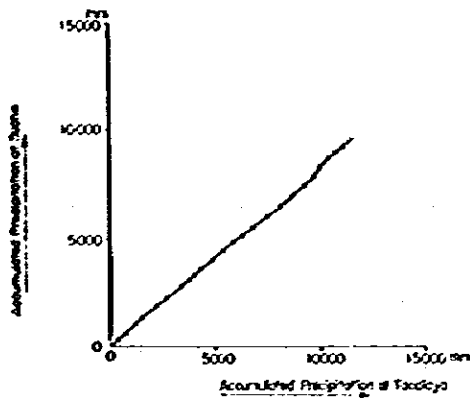
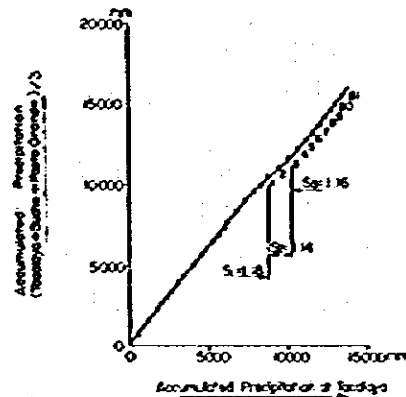


Fig. 5-3 W-Mass Curve of Precipitation of Pasto Grande and Tacalaya

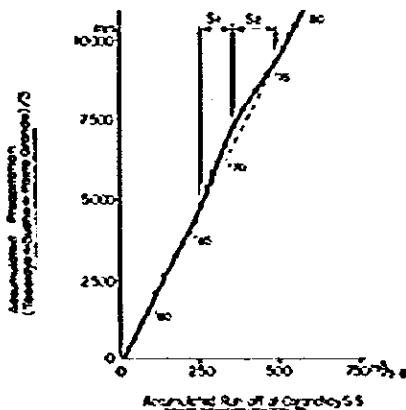


(2) 流量と降雨量

a) Coranchay 割水所流量と基準降雨量

両資料期間が対応する 1957 年 1 月から 1980 年 12 月までの 24 ケ年について分析した。Coranchay 割水所における平均流量は  $1.98 \text{ m}^3/\text{sec}$  (Original Data)

Fig. 5-4 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S



基準降雨量の年平均降雨量は  $451 \text{ mm}$  である。Fig. 5-4 にその結果を示す。1957 年から 1967 年までの 11 年の傾向と 1976 年以降の 5 年の傾向はほとんど一致している。それに対して 1966 年から 1971 年までの 5 年は降雨量に対して流量が約 25% 少なく、それ以降の 1976 年までの 5 年は逆に約 24% 多いものとなっている。

次に流量について雨期と乾期に分けた場合を Fig. 5-5, 5-6 に示す。雨期の傾向は年間を通して行った Fig. 5-4 とほぼ同様である。したがって勾配の変化点が比較的明瞭である事、流域の地勢や植生の变化および土地利用状態の変化となる様な要素は見当らない事などから、1966 年から 1976 年までの期間における雨期流量は観測条件による異状値と判断した。

一方、乾期については数年を除きほぼ全期間一定の傾向を示しており雨期の様な異状は認められない。乾期流量はそのほとんどが地下水流出によるもので、一般的に流出形態が急激に変化する事はない。したがって、乾期流量記録については、ほぼ均一なものであると判断される。

Fig. 5-5 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S (Rainy Season: Nov.~May)

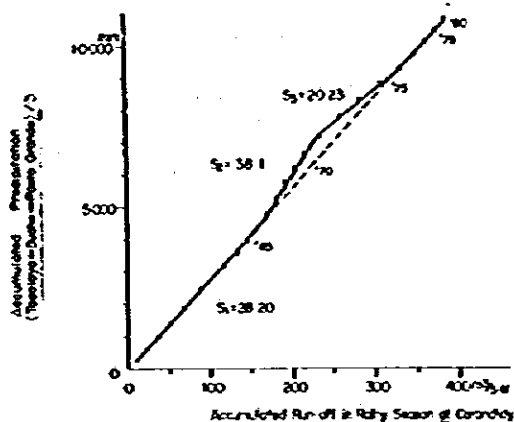
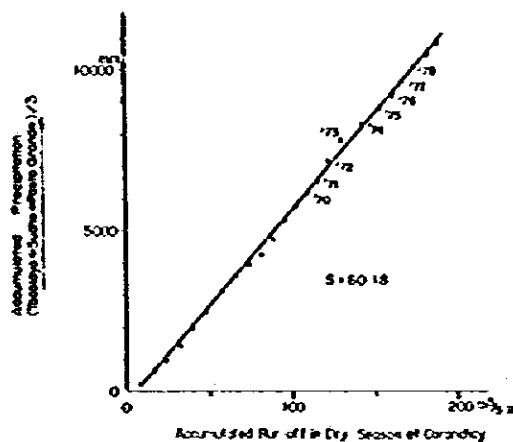


Fig. 5-6 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Coranchay G.S (Dry Season: Jun~Oct.)



b) Candarave 測水所流量と基準降雨量

当観測所は Callazas 川 Coranchay 測水所の下流約 25 km, Aricota 湖河口部に位置する。しかし Coranchay 測水所流量はその測水所の直下流地点から最大  $1.9 \text{ m}^3/\text{sec}$  のかんがい取水がなされている。また、その下流には大小合せて 16ヶ所最大  $0.95 \text{ m}^3/\text{sec}$  の取水がなされている。これらの取水設備は何れも取水制限を行った形跡はない。この事は Fig. 5-7 に示される両測水所におけるハイドログラフの例からも証明される。したがって、当測水所流量は上流において取水が行われているものの、その経年的な傾向は Fig. 5-8 に示される様に一定であり均一性のある資料と判断される。

Fig. 5-7 Hydrograph at Coranchay and Candarave G.S (1967~1971)

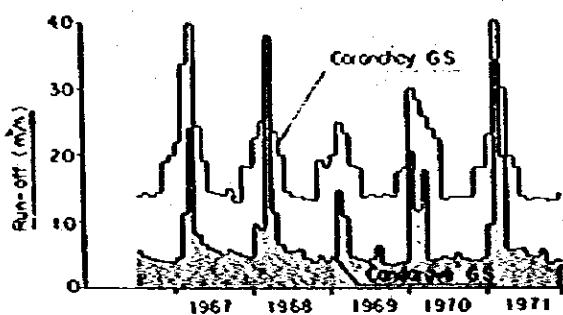


Fig. 5-8 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Candarave G.S

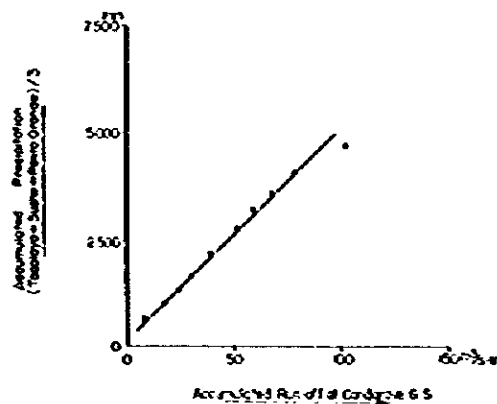
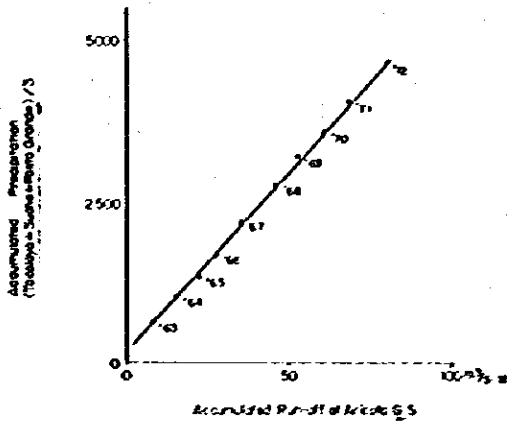


Fig. 5-9 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Aricota G.S



c) Aricota 測水所流量と基準降雨量

実測流量記録のある1963年から1972年までの10ヶ年における両者の関係を Fig. 5-9に示す。勾配は全期間を通じてほぼ一定であり異状は認められない。したがって当測水所流量資料は均一であると判断される。

d) Pasto Grande 測水所流量と基準降雨量

両資料期間が対応する1957年から1980年までの24ヶ年について分析を行った。Pasto Grande 測水所における平均流量 (Orignal) は  $2.91 \text{ m}^3/\text{sec}$  基準降雨量の年平均流量は  $451 \text{ mm}$  である。Fig. 5-10に示される様に、1973年から1978年までの期間の勾配が他の期間に比べて約30%緩く降雨量に対し流量が多い結果となっている。次に流量について雨期と乾期に分けた場合を Fig. 5-11~12に示す。前記の5ヶ年において、雨期と乾期ではその勾配に大きな差が認められる。すなわち雨期においては1973年以前に比べて流出率が約1.4倍大きいものに対して乾期のそれは約3.3倍となっている。当地点の乾期の降雨量は他の近傍流域と同様に、年間降雨量に占める割合が小さく約8%程度である。したがって当期間における大部分の流出量は地下水流出および融雪によるものである。

Fig. 5-10 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Pasto Grande G.S

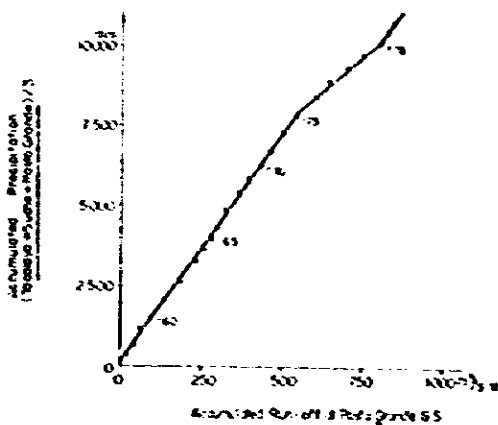


Fig. 5-11 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Pasto Grande G.S (Rainy Season: Nov.~May)

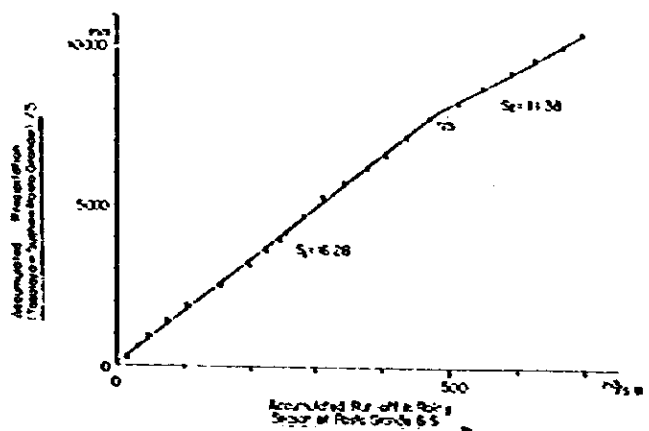
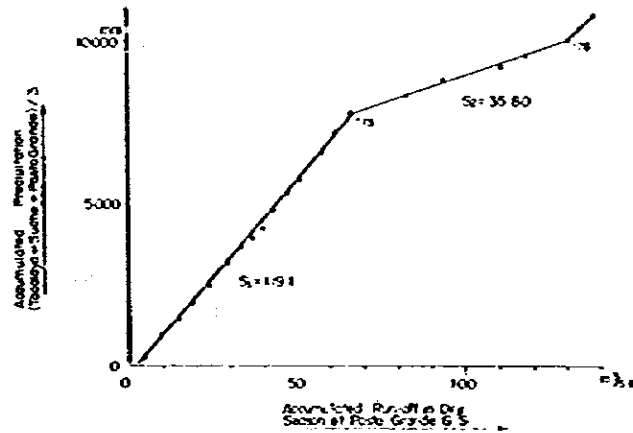


Fig. 5-12 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off  
at Pasto Grande G.S  
(Dry Season: Jun.~Oct.)



仮に Original Data が正しいとすれば、Pasto Grande 流域特有の降雨量以外の蒸発散量等の要素によるものとなる。なぜならば前述の Coranchay 測水所の乾期流量に異状は認められなかった事や、流域内に比較的広いパンパを有する Vilacota 測水所においても異状は認められないからである。一般に乾期における流量変動は緩やかであるはずであるが Original Data の場合 1973 年の乾期の 6 月から 10 月までの平均流量が  $0.93 \text{ m}^3/\text{sec}$  であるのに対して、1974 年は  $3.45 \text{ m}^3/\text{sec}$  と約 5 倍になっている。また月別の変動では 1974 年から 1978 年までの 5 ヶ年において 9 月は平均  $2.51 \text{ m}^3/\text{sec}$  に対して 10 月のそれは  $0.73 \text{ m}^3/\text{sec}$  と急激に低下している。

以上の値について気象上大きな変化をもたらす要因は認められない。

次に観測条件について調査した。

当測水所における水位観測は毎年行われている。しかし、水位と流量の関係については、ONERN が指摘する様に当期間においてなんらされていない。Appendix Fig. A-V-1 は流量算出に用いられた水位流量曲線である。図から分るように水位が 44 cm の場合その流量は約  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$  であるのに対してわずか 1 cm 上昇した 45 cm では約  $3.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  となる。

仮に Original Data が過大評価されてるものとした場合、その原因として考えられる事は河床変動によるものと流速の低下による水位上昇がある。

前者の場合、一般的に自然河川において数 cm 程度の河床変動は十分に起り得る事である。後者の場合、観測所断面に変化はなくても測水所近傍において河道変更がなされるとすると起り得る事である。この件について本調査の範囲では断言する事は困難であるが、現地踏査において測水所の直下流部で河道変更がなされたと思われる形跡が認められた。



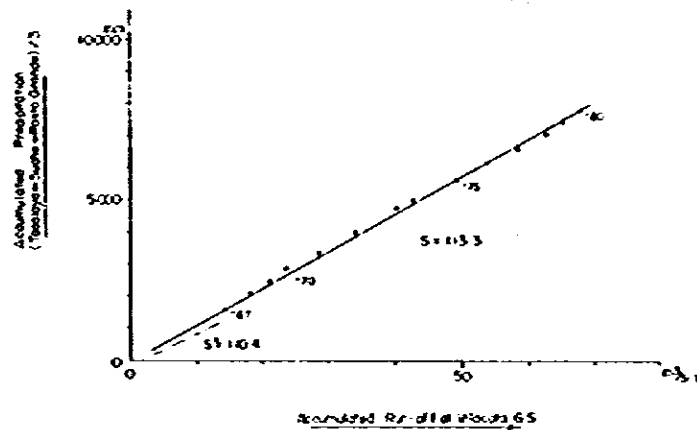
以上の点に加え流水状態における水位観測の精度を重ね合わせて考えると、1973年から1978年までの期間における当地点流量記録は観測条件による異状値であると判断した。

e) Vilacota 測水所流量と基本降雨量

両資料期間が対応する1964年から1980年までの17ヶ年について分析を行った。Vilacota 測水所における平均流量は  $0.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、上記降雨観測所の年平均降雨量は  $481 \text{ mm}$  である。

Fig. 5-13に両者間の傾向を示す。

Fig. 5-13 W-Mass Curve of Precipitation and Run-off at Vilacota G.S



1967年の値が他の年の降雨量の伸びに比べて流出のそれが少ないものの、全体的には、ほぼ一定の傾向を示している。したがってほぼ均一であると判断される。

5.4.2 資料の補正

前項の検証の結果、異状値が認められた Coranchay および Pasto Grande 測水所流量記録の補正を行う。

a) Coranchay

1966年から1976年までの雨期流量(11月~5月)を補正する。補正期間を除く15ヶ年の平均勾配 ( $S_1 = 28.2$ ) を基準とする Appendix A・V-12(1)&(2) に月別流量を示す。

i) 1966年~1972年

$$Q_u = Q_o \times \alpha_1$$

$Q_u$  : 補正值

$$\alpha_1 = \frac{S_o}{S_1} = \frac{38.10}{28.20} = 1.35$$

$Q_o$  : オリジナル値

$\alpha$  : 補正係数

ii) 1973年~1976年

$$Q_u = Q_o \times \alpha_2$$

$$\alpha_2 = \frac{S_{02}}{S_1} = \frac{20.23}{28.20} = 0.72$$

b) Pasto Grande

1973年11月から1978年10月までの流量を補正する。

i) 雨 期(11月～5月)

1957年から1973年までの期間における平均勾配 ( $S_1 = 16.28$ ) を基準とする。

$$Q_x = Q_0 \times \alpha_1$$

$$\alpha_1 = \frac{S_0}{S_1} = \frac{11.38}{16.28} = 0.70$$

ii) 乾 期(6月～10月)

1957年から1973年までの期間における平均勾配 ( $S_1 = 119.12$ ) を基準とする。

$$Q_x = Q_0 \times \alpha_0$$

$$\alpha_0 = \frac{S_0}{S_1} = \frac{35.80}{119.12} = 0.30$$

Appendix Table A・V-14(i)&(ii)に月別流量を示す。

### 5.4.3 水文周期の検討

(i) 水文周期

計画に用いる水文資料の期間は全期間を代表し得る標準的なものでなければならない。本調査団が入手した流量資料の期間の最長は25～26年であり、長期周期を推定するには困難である。一般に長期の流量の周期は雨のそれと同一の傾向をもつと考えられる。ここでは移動平均法により、次の4雨量観測所資料を用いて検討することとした。

地点	期間	期間
Puno	1940～1982	43年間
Tacalaya	1953～1981	29年間
Suches	1957～1981	25年間
Pasto Grande	1953～1981	29年間

本手法は時系列資料の短期間の変動を除いて平均的な変化の傾向を把握するのに有効である。Fig.5-14は平均する時間の長さを60ヶ月と置いた場合の各地点における時系列図である。

資料期間が揃っている最近の24年間について、各観測所の傾向は流域外のPunoも含めてほぼ同じ波の傾向を示している事が分かる。したがってそれ以前の傾向はPunoの値によって当該流域についても推定する事が出来よう。

a) Puno

1946年から1981年までの36ヶ年における波の傾向は大きく3つの波に分けられる。すなわち、1946年から1960年までの15年間、1960年から1970年までの10年間および1970年から1981年までの11年間である。但し、長期的変化傾向は近年に向うにつれ次第に上昇する傾向を示している。これは計算に用いた43ヶ年以上の周期がある可能性を示唆している。

b) Tacalaya

周期はPunoのそれとほぼ同様で9年間および12年間である。但し、Punoの1981年の値は1970年のそれと比べて約15%多いのに対してTacalayaのそれは逆に13%少ないものとなっている。したがってこの値を比較する限りPunoの様々平均降水量が近年に向かうにつれ多くなっている事はない。

c) Suches

周期はTacalayaおよびPunoとほぼ同じく12年間である。1981年の値に対する1970年のそれはほぼ同じ結果になっている。

d) Pasto Grande

周期は他の観測所ほど明確に表われていない。すなわち1960年から1968年までの9年間はPuno, Tacalayaと同様であるが、1969年から1981年までの波が低いものとなっている。当該点の場合、上記期間が一つの波として考えられる可能性もある。

以上の各観測所における水文周期について分析した結果、1940年から1981年までの42年間において最も強い周期性を持つ期間は約10年ないし15年と推定される。

(2) 価値計算に用いる水文資料の期間

本計画においては前記で求められた水文周期を満足する期間として1966年から1980年までの15ヶ年を採用する。

下記にその理由を示す。

a) 可能な限りOriginal Dataを用いる事が望ましいが、比較的資料が揃っているのは1963年から1980年までの18ヶ年である。

b) 採用期間の平均値はTable. 5-3に示すように15ヶ年の平均値を移動させた場合の変動巾のほぼ中位にある。したがって、量的にも平均値を値と考える事が出来る。

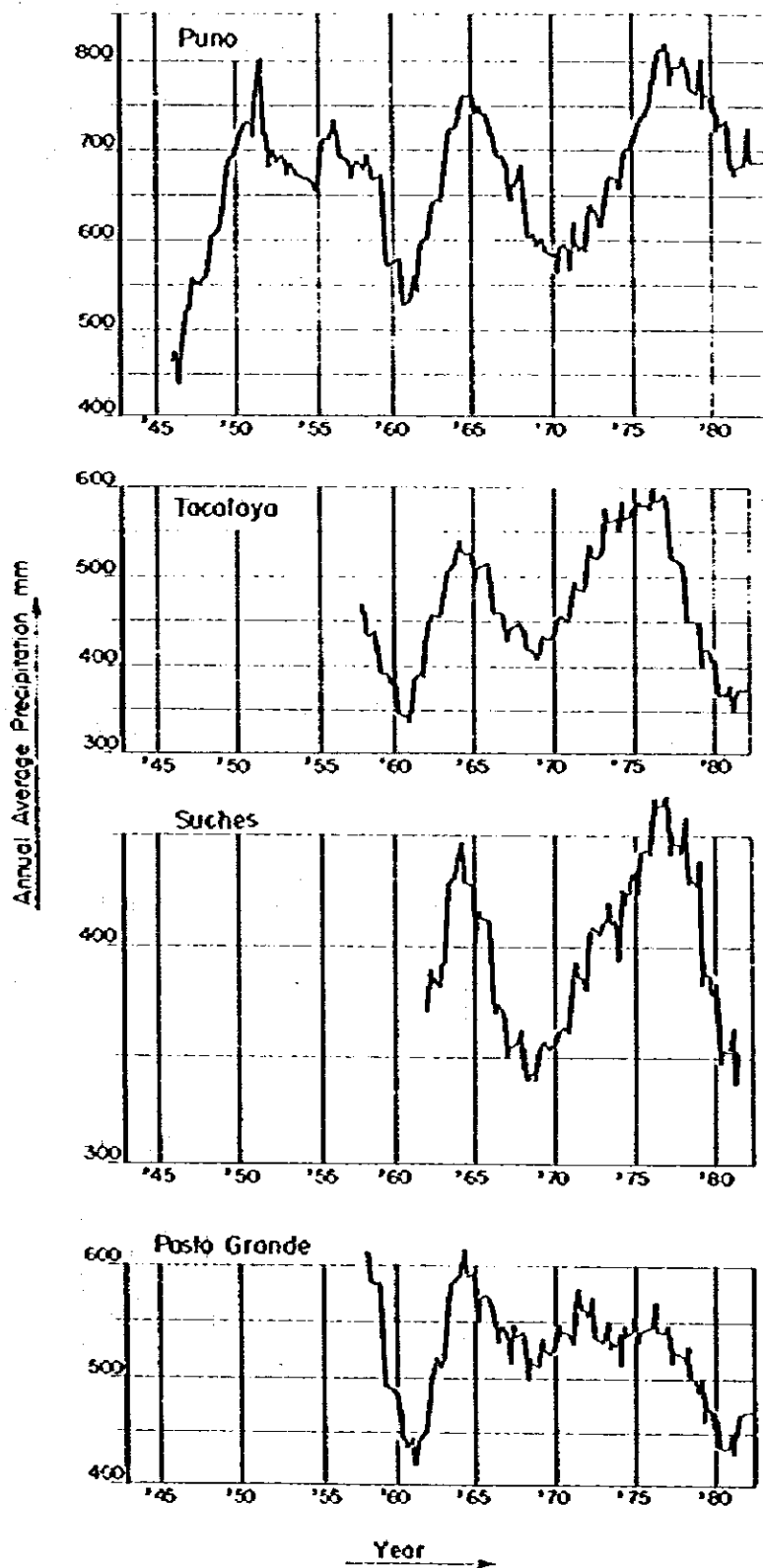
Table 5-3 Average Precipitation

Unit: mm/Year

Observatory	Moving Average (T=15 years)	Average Precipitation of Adopted Period	Average Precipitation of Obtained Period
Tacalaya	437 - 513	470	467
Suche	383 - 405	390	384
Pasto Grande	510 - 563	510	534

Fig. 5-14 Moving Average Analyses

Period of Moving Average ; n=60month



#### 5.4.4 流出特性

一般に他流域からの地下水による流入出のない河川の任意の地点における流量は、その流域の流入量である降雨量から流域内での損失量を差し引いたものとなる。この場合、損失量はその計算期間の単位を1水年などの長い期間とすると、ほぼ蒸発散量に等しくなる。各流域におけるこれらの関係について量的な流出特性を分析するものとした。

Fig. 5-15~5-18はCoranchay, Pasto Grande, ToccoおよびVillacotaの各測水所における年間流入量と年間降雨量を用いてその流域における100 km<sup>2</sup>当りの損失量を示したものである。

計算に用いられた式は下記の通りである。

$$q_{\text{loss}} = \frac{1}{C \cdot A \times 10^{-2}} \left( P \times C \cdot A / 86,400 - \Sigma Q_{15} \right) \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{d}/100 \text{ km}^2$$

$q_{\text{loss}}$  : 100 km<sup>2</sup>当りの損失量 m<sup>3</sup>/s·d/100 km<sup>2</sup>

CA : 流域面積 km<sup>2</sup>

P : 年間降雨量 mm/year

$\Sigma Q_{15}$  : 年間総流入量 m<sup>3</sup>/s·d/year

但し、他流域からの地下水による流入出がある場合は、上記の式で求められた値は真の損失量とならない。したがって仮に求められた値を基に各流域間の比較を行い、現地踏査の結果を踏えて、地下水の流入出の有無について検討するものとした。

計算結果をTable. 5-4に示す。

Table 5-4 Relation between Annual Precipitation and Loss

Basin	Sample	Equation of Correlation	Coefficient of Correlation
Coranchay	18	$q = 2.593 \times 10^{-3} p - 0.190$	0.99
Pasto Grande	25	$q = 2.4181 \times 10^{-3} p - 0.074$	0.93
Villacota	16	$q = 2.651 \times 10^{-3} p - 0.198$	0.99
Total	59	$q = 2.594 \times 10^{-3} p - 0.176$	0.98
Tocco	12	$q = 2.601 \times 10^{-3} p - 0.317$	0.96

以上の結果より以下に述べる点が判明した。

- a) 損失量は降雨量にほぼ正比例し、その勾配は各流域ともほぼ等しい。すなわち各測水所での観測値は大小さまざまであるが、単位面積当りに換算した損失量は各流域で大きな違いはないものと考えられる。
- b) Tocco 流域における損失量は他流域のそれと比べて降雨量の変化に関係なく約  $0.14 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  少ない。これは現地踏査で確認されている Copapujo 地点の泉の水源が、他流域からのものであると言う事を示唆している。すなわち、Fig. 5-19 で示されている損失量の値は、他の流域よりもその分少なく見積られてあり他流域より地下水によって補給されていると考えるが適当であろう。

但し、これらの相関関係の持つ精度は年間単位である。すなわち流出量の多い雨期の柱分が強く表われている。したがって季節間の変動についてはこれらの相関図から読み取る事は不可能である。

Fig. 5-15 Relation Between Precipitation and Loss in Coranchay Basin

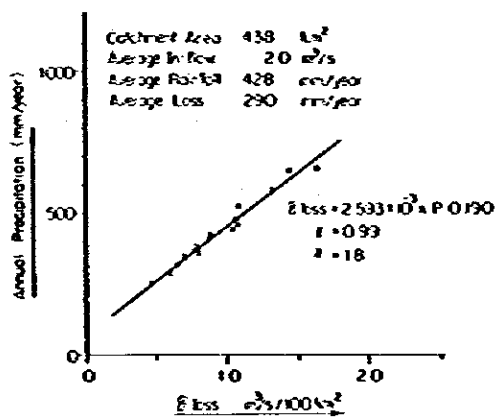


Fig. 5-16 Relation Between Precipitation and Loss in Pasto Grande Basin

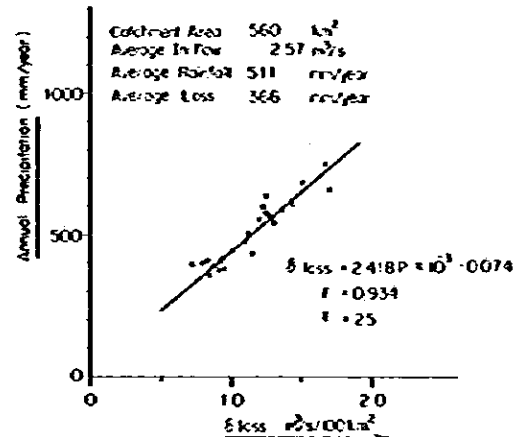


Fig. 5-17 Relation Between Precipitation and Loss in Tocco Basin

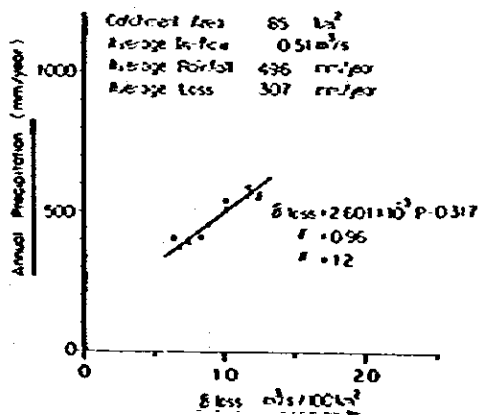


Fig. 5-18 Relation Between Precipitation and Loss in Vilacota Basin

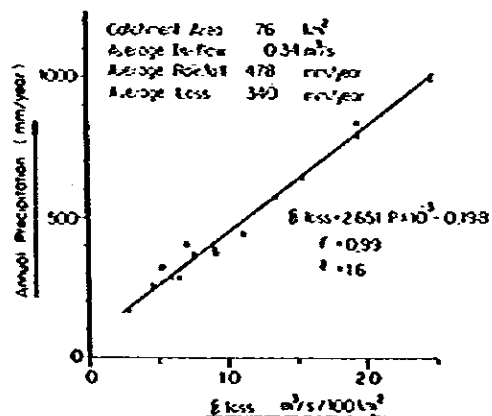
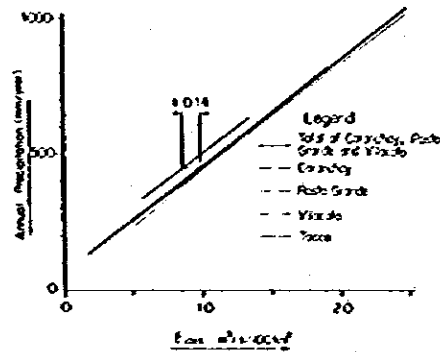


Fig. 5-19 Relation Between Precipitation and Loss in Project Area



## 5.5 地点流量

### 5.5.1 Pasto Grande 地点流量

当地点流量は Pasto Grande 測水所と同地点であるため、5.2.2 項の中で修正された上記測水所地点流量を用いた。1966 年から 1980 年までの平均流入量は  $2.53 \text{ m}^3/\text{sec}$  である。

Appendix Table. A·V-14(2) に月別平均流量を示す。

### 5.5.2 Tocco 地点

当地点流量は Tocco 測水所と同地点でありまた資料に異状が認められない事から、当測水所地点流量をそのまま採用した。

1970 年から 1980 年までの平均流入量は  $0.50 \text{ m}^3/\text{sec}$  である。Appendix Table. A·V-15 に月別平均流量を示す。

### 5.5.3 Loriscota 流域

当流域内は地形的に閉塞流域である上に、直接手がかりになる資料としては 1982 年に CORDETACNA が実施した当湖の深淺測量結果のみで降雨量、蒸発量、流出量等の水文資料は皆無である。

したがって Loriscota 湖への流入量は近傍流域の流出特性ならびに水文気象資料などを用いて下記に示す方法により算定するものとした。

- a) 流域内の平均降雨量は近傍の Pasto Grande 雨量観測所および Vilacota 雨量観測所の資料からテューセン法により算出する。
- b) 前述の 5.4.4 項において算定された年間降雨量と損失量の関係を基に、Loriscota 流域における損失量を算定し Loriscota 湖への年間総入量を求める。
- c) Loriscota 湖からの年間総蒸発量は、近傍観測所資料および深淺測量図から推定する。
- d) 上記手法で算出された値を用いて Loriscota 湖を基準にした水収支計算を行い各々の値について検証を行う。

- e) 検証された年間総流入量を近傍測水所の流出パターンに適用し月別流入量を算出する。
- f) 月別流入量を更に表面流入によるものと、湖底より直接流入する伏流によるものとに分ける。
- g) 以上で求められた値を用いて1966年から1980年にあったと推定される Loriscota の湖面変動量を算定し、各々の値の関連性および妥当性を総合評価する。

(1) 降雨量

Pasto Grande および Vilacota 雨量観測所資料を用いてテューセン法により算出した。

$$P_L = P_P \times 0.756 + P_V \times 0.244$$

$P_L$  : Loriscota 流域降雨量 mm

$P_P$  : Pasto Grande 雨量観測所地点降雨量

$P_V$  : Vilacota 雨量観測所地点降雨量

1966年から1980年までの年平均降雨量は 504 mm/year である。Appendix Table.

A・V-9に月別平均降雨量を示す。

(2) 年間総流入量の算定

5.4.4項流出特性の解析結果から Loriscota 流域に隣接する各流域の 100 km<sup>2</sup> 当りの損失量の関係は、各流域ともほぼ同じ傾向を示している事が判明した。すなわち流域を構成する地形、地質および植生等の環境条件が各流域間で著しい差異がない事を示している。

当流域においても Loriscota 湖が地形的に閉塞湖である事を除けば、流入量の供給源である流域の環境条件は、近傍流域のそれと差異はないものと判断される。

よって当湖への流入量は降雨量および5.4.4項流出特性の検討結果から算定するものとした。

a) Loriscota 流域の損失量

Pasto Grande, Coranchay および Vilacota の各測水所流域における降雨量と蒸気散量の相関式を用いて、当流域における蒸発散量を算出する。

$$q_{loss} = 2.591 \times 10^{-3} \times P - 0.176 \text{ m}^3/\text{s} / 100\text{km}^2$$

$$n = 59 \quad r = 0.98$$

$$E_r = 315.4 \cdot q_{loss} \text{ mm/year}$$

1966年から1980年までの Loriscota 湖を除く当流域における平均年損失高は 357 mm/year である。

b) Loriscota 湖流入量

当湖への流入量は下記の式で表わされる

$$Q_{in} = \frac{P \times A_L + (P - E_r) \times (CA - A_L)}{365 \times 86.4}$$



- $P$  : 年間降雨量  $\text{mm/year}$   
 $E_v$  : 損失量 (主に蒸発散量)  $\text{mm/year}$   
 $CA$  : 流域面積  $234 \text{ km}^2$   
 $A_1$  : 湖面積  $30 \text{ km}^2$

上記の  $A_1$  湖面積は変数として取扱うべきであるが、ここでは以下の理由で  $30 \text{ km}^2$  と仮定した。当湖における湖面変動については水収支により検証で述べるが、最近 15 ケ年における湖面積の変動中は、シュミレーションの結果  $25 \sim 35 \text{ km}^2$  程度であったと推定される。しかし、上記の方法で流入量を求める場合、その変動量は大きな要素とならない。すなわち、仮にある年において湖面積に平均値に対して  $5 \text{ km}^2$  の誤差があったとしても計算結果の値の誤差は  $\pm 5\%$  程度で小さい。また、これら誤差は計算期間を 15 ケ年とする事によりある程度相殺される。したがって基本資料の持つ精度から見て、十分許容し得るものと判断した。1966 年から 1980 年までの当湖への平均流入量は  $1.40 \text{ m}^3/\text{sec}$  と算定された。(Appendix Table. A・V-22 参照)

### (3) Loriscota 湖面からの蒸発量

当湖は地形的に閉塞湖であることから、その流出量の大部分は湖面からの蒸発量であると言える。1982 年 12 月に CORDETACNA が実施した深淺測量図によると湖面積は約  $31 \text{ km}^2$ 、最大水深は  $4 \text{ m}$ 、貯水量は約  $7.1 \times 10^6 \text{ m}^3$  である。湖面からの蒸発量に関する資料としては 1967 年 SPCC の依頼で Dr. Zane Spiegel が行った "Evaporation and Evapotranspiration at Pasto Grande Reservoir" の報告書がある。それによると湖面からの蒸発量は年間  $1,625 \text{ mm/year}$  と計算されている。但し、この値は具体的年次は表示されていない。

Pasto Grande 観測所における蒸発皿による蒸発量は 1966 年から 1980 年の年平均蒸発量は  $1,517 \text{ mm/year}$  である。この事から当地域における湖面から蒸発量はおよそ  $1,500 \text{ mm}$  程度はあるものと推定される。

ここで仮に湖面積を  $30 \text{ km}^2$ 、年平均蒸発量を  $1,500 \text{ mm/year}$  と置いた場合、湖面からの蒸発量は  $1.43 \text{ m}^3/\text{sec}$  となる。

一方、1966 年から 1980 年までの 15 ケ年の平均湖面はほぼ  $30 \text{ km}^2$  程度であったものと推定される。すなわち仮に  $35 \text{ km}^2$  とした場合、その蒸発量は  $1.7 \sim 1.8 \text{ m}^3/\text{sec}$  となり流入量から見てその湖面積が維持出来ない。湖面積に関する資料は、1955 年航空写真測量によるものと、1960 年 Ministerio de Fomento, Direccion de Irrigacion, Departamento de Proyectos によって測量された値があり、前者は約  $32 \text{ km}^2$  後者は約  $25 \text{ km}^2$  となっている。Pasto Grande の降雨量資料によると、1953 年から 1955 年までの平均降雨量は入手全期間の平均降雨量に対して約 1.5 倍であり、1955 年は豊水年が連続した末期であったと推定される。また、1956 年～1960 年までの期間における 5 年間の平均降雨量は 0.8 倍であり、

渇水年が連続していた事が考えられる。したがって、これらの値は共に平均的な値でなくむしろ上限と下限の付近の値を示しているものと判断される。

#### (4) 水収支計算による流入量の検証

Loriscota湖を基準とした場合の流入量と流出量について前述の方法で求められた値を用いて検証する。

1966年から1980年まで15ヶ年を水収支の対象とすると、平均流入量は(3)で求められた $1.40\text{ m}^3/\text{sec}$ に対し、流出量の内の湖面から蒸発量は約 $1.4\text{ m}^3/\text{sec}$ 前後と推定される。したがって地下水の流入出については、次の事が考えられる。

- i) 他流域からの地下水による流入の可能性は極めて少ない。
- ii) 他流域への地下水による流出の可能性は否定出来ないが量的には僅かであろう。

以上の事から本手法で算出されたLoriscota湖への流入量はほぼ妥当であると判断した。

#### (5) 月別流入量の算定

検証された年間総流入量を近傍割水所の流出パターンを採用して月別流入量を算定する。当流域に隣接している割水所はPasto Grande, TaccoおよびVilacotaの各割水所があるが、ここでは前述までの検討結果ならびに現地踏査結果を考慮して、Vilacota割水所地点の流出パターンを適用した。

1966年から1980年までの月別流入量をAppendix Table. A・V-22(I)に示す。

#### (6) 表面流入量と伏流による流入量の分離

前記で求められたLoriscota湖への流入量は表面水によるものと伏流水によるものから成っているものと考えられる。当流域の主な河川であるLoriso川およびPutijane川の乾期の表面流量は、調査団が実施した現地踏査ならびに関係者の情報等からほとんどないと推定される。したがって両河川は間欠河川であると言える。

この事はすくなくとも基底流に相当する量は伏流しているものと推定される。

以上の背景を考慮して、次に示す仮定に基づきハイドログラフおよびハイエットグラフを用いて、当湖への流入量を表面からのものと伏流によるものに分離した。

仮定条件

- i) 基底流出の成分の全てはLoriscota湖に直接伏流水として流入するものとする。

(A-A')

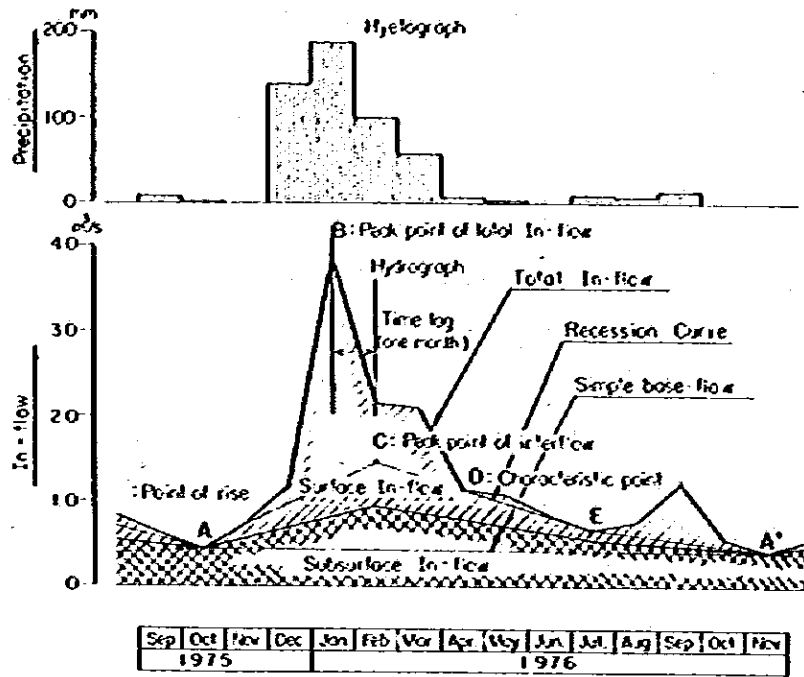
- ii) 直接流出の成分の全てはLoriso川およびPutijane川等の河川より流入するものとする。(A-B-D-C-A)

- iii) 中間流出成分(A-C-D-E-A'-A)の50%は伏流によってLoriscota湖底へ直接流入するものとし、他の50%は表面流入するものとする。

- iv) 直接流出のピークと中間流出のピークの時差は1ヶ月とする。(B-C)

Fig. 5-20に分離例を示す。

Fig. 5-20 Assumed In-flow Model of Lake Loriscota



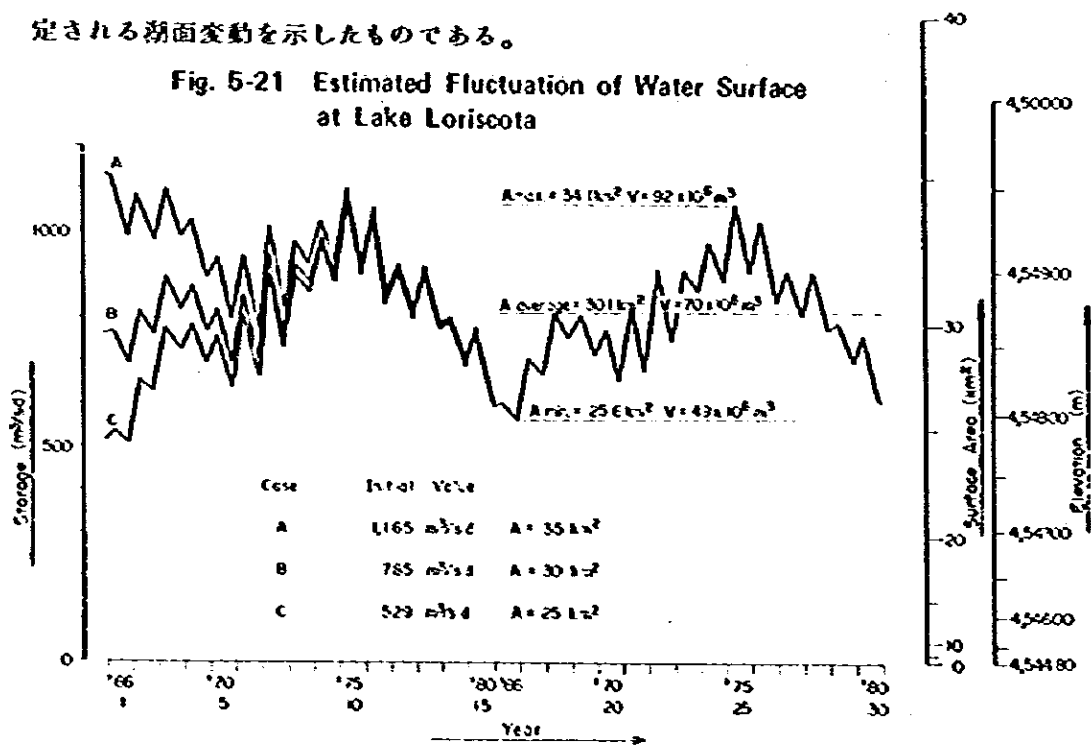
1966年から1980年までの15ケ年における平均表面流入量は $0.63 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 伏流入量は $0.77 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

Appendix Table. A・V-22(2)&(3)に各々の月別流量を示す。

(7) 湖面変動量の推定

Fig. 5-21は1966年から1980年までの期間に起ったと想定される湖面変動を示したものである。

Fig. 5-21 Estimated Fluctuation of Water Surface at Lake Loriscota



計算の条件は以下の通りである。

- i) 水文周期を上記 15 年とし連続するものと仮定する。
- ii) 流入量は前述において算出された月別流入量を用いる。
- iii) 地下水による流出は無視する。
- iv) 湖面からの蒸発量の算定に用いる蒸発量は Pasto Grande 観測所における月別平均値を用いる。
- v) 湖底形状は CPRDETACNA が実施した深浅測量図を用いる。

以上を条件として、湖面積の初期値を 25～35 km<sup>2</sup> に変化させた場合の計算を行った。

その結果、次の事が言える。

- i) 初期値の差による湖面変動は約 7～8 年でなくなりその後は同じ傾向を示している。
- ii) 湖面変動は大きく分けて季節間によるものと、経年によるものがある。
- iii) 季節間の変動は水位で 20～50 cm 程度である。
- iv) 初期値による誤差を取り除いた平均湖面積は 30.12 km<sup>2</sup> となる。
- v) 最も湖面積が大きかったと考えられる時期は、豊水年が連続した最後の年である 1975 年に発注し、その値は 34.1 km<sup>2</sup> と算出された。
- vi) 最も湖面積が小さかったと考えられる時期は渇水年である 1966 年の乾期末に発生し、その値は 25.6 km<sup>2</sup> と算定された。

以上の事から本章において算定された Loriscota 湖流量に関する各々の値は、ほぼバランスしているものと判断する。

#### 5.5.4 Chila 川 Coypacoypa 川流域

両河川は共に Ilave 川の最上流部に位置し隣接している。水系の流量資料としては、両河川の合流点より下流 10 km 地点の Chichillapi 測水所がある。しかし、当測水所は 1973 年までしか観測されない。

当計画に用いる測水所資料としては、隣接する流域である Vilacota 地点流量を用いるとし、流域面積比により計画地点流量を算出するものとした。1966 年から 1980 年までの平均流入量は下記の通りである。

Chila Site            C, A = 102 km<sup>2</sup> , Q = 0.41 m<sup>3</sup>/sec

Coypacoypa Site    C, A = 107 km<sup>2</sup> , Q = 0.43 m<sup>3</sup>/sec

Appendix Table. A・V-23 & 24 に月別流入量を示す。

## 5.6 Aricota 流域

### 5.6.1 基本的条件

Aricota 湖への流入実績資料としては、Aricota 測水所および Candarave 測水所資料がある。しかし、これら観測資料は 1973 年以前までのものである。一方、Aricota 湖においては 1964 年以降水位が観測されており、また流出実績としては 1966 年以降揚水記録、既設アリコタ第 1 および第 2 発電所の発電実績とがある。

湖の流入量は上記資料を用いて、以下の方法に従い算出された。

- i) 流入出資料が完備されている期間について、水収支計算を行い水位と浸透量の関係を求める。
- ii) 発電所実績記録および揚水記録等の流出量資料を用いて事例検討を行う。それらの結果を踏まえ流入量算定に用いる資料の選定を行い、最も妥当と判断される値を当湖への流入量として採用する。

### 5.6.2 Aricota 湖からの浸透量

本計画において浸透量を算定する目的は、当湖への流入量の把握ならびに計画後における浸透量の推定である。地形的に Aricota 湖は閉塞湖の形状を呈しているが、その流入量の大部分は浸透によって Curibaya 川に供給されている。すなわち、自然状態における Aricota 湖の流出は、湖面からの蒸発と浸透から成っているものと考えられ、その時の水位変動は水文周期の影響によるもののみであったと推定される。しかし、それらの現象と数値上直接立証できる観測資料はない。

したがって、本報告書においては Aricota 測水所および Candarave 測水所の実測流入資料の存在する期間について、当湖の水収支計算を行い浸透量を計算するものとした。

計算条件を下記に示す。

#### (1) 使用資料

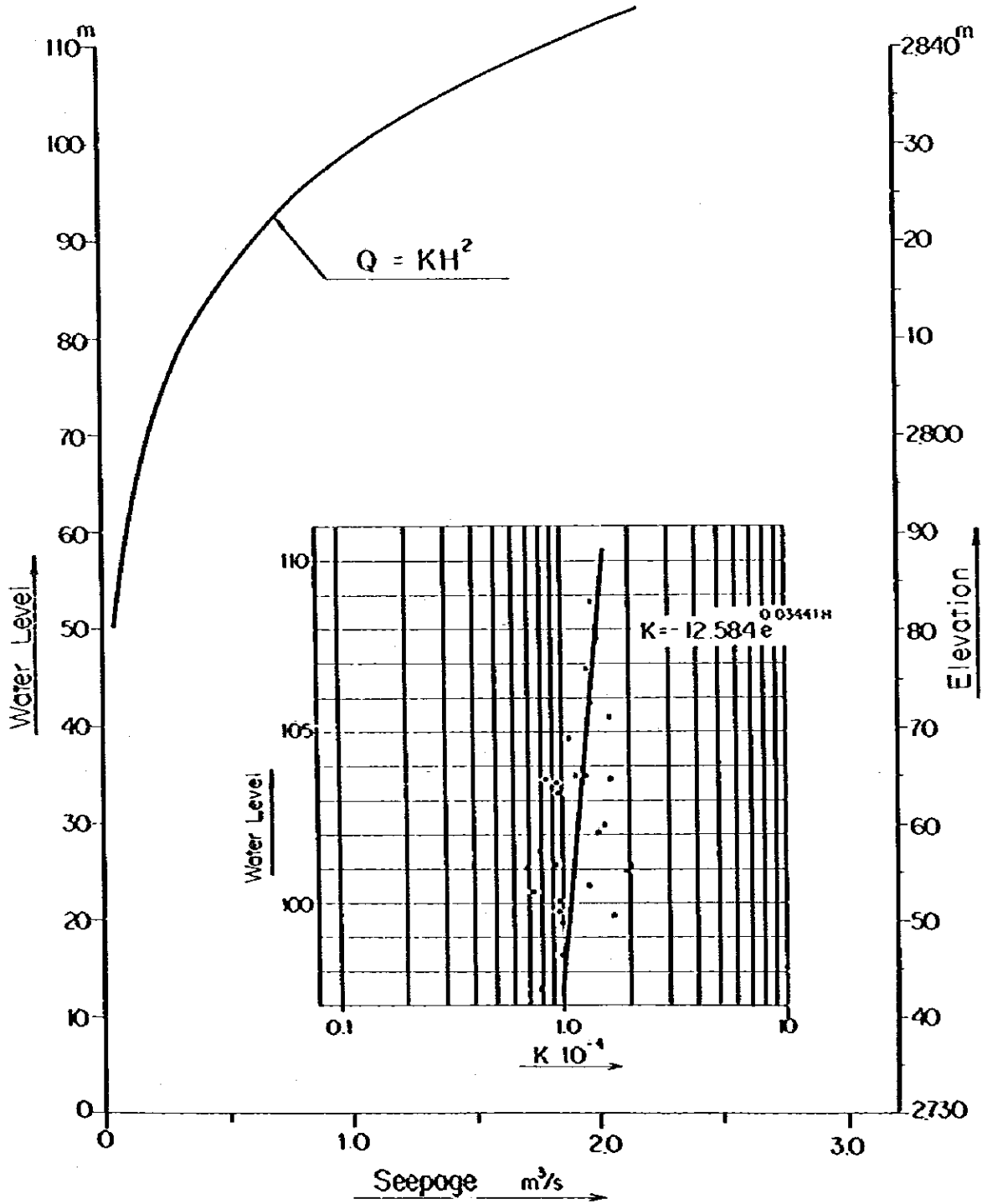
Aricota 測水所地点流量	Appendix Table. A・V-13
Conadarave 測水所地点流量	同 上 A・V-11
Aricota 湖尖測水位	同 上 A・V-19
Saches 観測所蒸発量	同 上 A・V-1
Aricota 揚水所揚水記録	同 上 A・V-18
Aricota No 1 および No 2 発電所電力量	Appendix Table. A・V-20, 21

#### (2) 計算期間

Oct. 1964 ~ Jun. 1973

上記条件で算定された Aricota 湖における水位と浸透量の関係を Fig. 5-22 に示す。

Fig. 5-22 Seepage Curve at Lake Aricota



### 5.6.3 Aricota 湖流入量

本計画に採用される流量資料の計算期間は 5.4.3 項「水文周期の検討」で述べられた 1966 年から 1980 年までの 15 年である。内 1973 年までは Aricota 湖水利所および Candarave 湖水利所資料より算出する事が可能である。それ以降の流入量については揚水記録、既設アリコーダ第 1 および第 2 発電所の発電実績等の資料を用いて事例検討を行い、最も妥当と判断される値を当湖への流入量とした。

#### 1) Jan. 1966 ~ Dec. 1972

当湖への流入量は Aricota 湖水利所と Candarave 湖水利所の地点流量の和とする。

#### 2) Jan. 1973 ~ Dec. 1980

当期間の流入量は下記に示す 3 ケースについて月別計算を行った。

##### a) Case-1: 揚水記録から求める方法

$$QA-1 = BA + EVA + QF + DM$$

QA: Aricota 湖流入量

BA: 揚水量記録

QF: 浸透量

DM: 月間貯留変動量

EVA: 湖面からの蒸発量

##### b) Case-2: アリコーダ第 1 発電実績より求める方法

$$QA-2 = QU1 + EVA + QF + DM + QIR1$$

QU1: アリコーダ第 1 発電所使用水量

QIR1: Curibaya 部落への放流量

0.139 m<sup>3</sup>/sec: CORDETACNA の調査による。

但し、発電割当による溢水はないものとして計算する。

##### c) Case-3: アリコーダ第 2 発電実績より求める方法

$$QA-3 = QU2 + EVA + DM + QIR1 + QIR2$$

QU2: Aricota No. 2 発電所使用水量

QIR2: 取水口地点からの放流量

0.15 m<sup>3</sup>/sec, CORDETACNA の調査による。

但し、発電割当による溢水はないものとして計算する。以上 3 ケースについて算出された年間平均流入量を Table. 5-5 に示す。

Table 5-5 Annual Average Inflow in Each Case

Case	Unit: m <sup>3</sup> /sec								Average
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
1	3.17	2.73	3.21	2.61	2.82	2.07	1.63	1.33	2.44
2	3.31	2.96	3.50	2.85	3.25	2.31	1.21	1.24	2.58
3	3.10	2.46	3.05	2.49	2.86	1.83	0.91	1.06	2.22

計算結果より次の事が言える。

- i) 経年的な傾向は各ケース共、同様である。
- ii) 第2発電所実績より求められたCase-3の値が最も小さいが、この中には運転制御による余水吐からの溢水量が含まれていない。したがってその分は過少評価されている。  
当発電所は電力需給の面から負荷変動に対応するピーク運転形態をとっているものと判断される事から、当発電所における発電所無効放流は頻繁にあったと考えられる。
- iii) 第1発電所実績より求められたCase-2の値についても運転制御による余水吐からの溢水量が含まれていない。しかし、その量は第2発電所に比べて少ないものと考えられる。すなわち第1発電所はベース負荷に対応する運転形態をとっているものと判断される。一方、過大評価をされている要素としては発電使用水量には導水路に湧水している Aricota 湖からの湧水量の一部が含まれており、その分が重複して計上されているものと考えられる。

iv) 揚水量記録より求められたCase-1の値には数式上他のケースに比べて矛盾はない。

以上から本計画に用いる資料は揚水量記録より求められたCase-3の流入量を採用するものとした。但し、本手法によって算定された流入量は水収支計算に使用する時間の単位を長くすると程その精度は増される。ここでは単位を月別とした事により、その結果流入量が負の値を示す月があった。

しかし、本計画地点は貯水池機能を有しているため、その誤差は数ヶ月程度で吸収されるものと考えられる。したがって、ここで算定された月別流入量は計画に必要な精度を十分持つものとして判断した。

1966年から1980年までの15ヶ年における月別流入量を Appendix Table.A・V-25に示す。



## 5.7 設計洪水量

### 5.7.1 一般

5.3項に述べたように本計画流域内には7つの測水所と4つの気象観測所があるが、いずれも洪水解析に必要な水文資料は殆ど行われていない。

今回入手された水文資料は全て月単位の雨量流量資料であり、洪水解析に必要な水文資料は極めて乏しい。

唯一有効な資料としては Pasto Grande 測水所で観測された雨量および水位記録がある。これらの資料を使用して Pasto Grande 地点の設計洪水量の検討を行っている既存報告書があるので、今回この報告書の中で検討された洪水解析を見直すこととし、先づ Pasto Grande 地点の設計洪水量を決めることとした。他地点の洪水量は前記設計洪水量を流域換算することにより求めることにした。

但し、Chintari 取水ダム地点における洪水量については現在まで具体的な検討はなされておらず有効な水文資料もないので、当該地点周辺の洪水痕跡から洪水量を推定することにした。

### 5.7.2 Pasto Grande ダム地点

Pasto Grande 地点の設計洪水量については(Ⅰ)「Afianzamiento Hídrico de Aricota」INAF、1981によると1000年確率洪水量は $400\text{m}^3/\text{sec}$ とされており、また(Ⅱ)「Estudio Hidrológico del Río Viscachas en Pasto Grande」, ONERN, 1983によると1000年確率洪水は $42\text{m}^3/\text{sec}$ であるとされている。

しかし(Ⅰ)の INAF の洪水量は降雨量から算出されているため、当該計画地点に広がる $130\text{km}^2$ に及ぶ広大な湿原地帯である Pampa Pasto Grande による洪水の貯留効果が反映されていない。この Pampa による貯留効果について概略検討した結果、洪水流出パターンや貯水池規模によって、その効果は異なるもの、ピーク流量は大幅に減少する傾向にある。しかし、洪水流出パターンや流域性状の不明な現時点では雨量から求められた洪水量は参考とするにとどめたい。

(Ⅱ)の資料では ONERN は先づ、Pasto Grande 地点の水位記録から水位-流量曲線を使用して流量を求め、次のその流量を用いて確率計算を行い洪水量を算出している。しかし、使用された水位-流量曲線の高水位部分は現実に想定し得る河川勾配、粗度係数などに基いて計算された水位-流量曲線と比較して非常に低い。したがって、高水位部分については、本地点の地形や植生を考慮し Manning の公式により修正を行い、この修正した水位-流量曲線を使用して洪水量の見直しを行った。

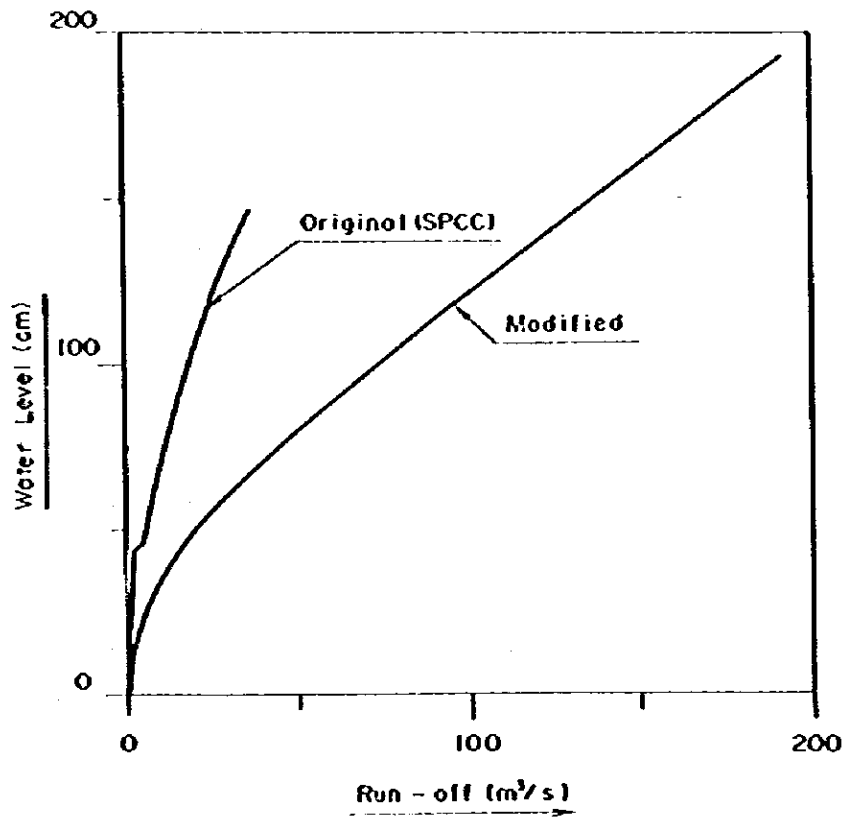
その結果を Fig. 5-23, Table. 5-6 に示す。

Table 5-6 Probable Flood Discharge

Return Period	Revised	INAF	ONERN
1000	190	400	42
100	150	-	33.5

Unit: m<sup>3</sup>/sec

Fig. 5-23 Rating Curve at Pasto Grande Gauging Station



### 5.7.3 Tocco 取水ダム地点

当該地点には Tocco 湖水所があり 1970 年から流量観測が行われている。また 1975 年から 7 年間ピーク流量の観測も行われているが、設計洪水量を検討するには観測期間が短く不十分な資料であると言わざるを得ない。

したがって、5.7.1 項にも述べたように現時点では本地点の設計洪水量は Pasto Grande 地点の設計洪水量を流域換算することによって求めるものとする。Tocco における設計洪水量は Tocco 自流域分に Loriscota 流域分を加えたもので次式により求められる。

$$QT = Q_{rc} \times \left( \frac{A_r + A_l}{A_{rc}} \right) = 190 \text{ m}^3/\text{sec} \left( \frac{85 \text{ km}^2 + 234 \text{ km}^2}{560 \text{ km}^2} \right) = 110 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$Q_r$  : Tocco 地点の設計洪水量

$Q_{rc}$  : Pasto Grande 地点の洪水量

$A_r$  : Tocco 地点の流域面積

$A_l$  : Loriscota 湖の流域面積

$A_{rc}$  : Pasto Grande 地点の流域面積

以上のように Tocco 地点の設計洪水量  $110 \text{ m}^3/\text{sec}$  とする。前にも述べているように Tocco 湖水所では 7 年間に亘ってピーク流量の観測が行われており、将来この流量記録が更に蓄積された時点で設計洪水量を見直す必要がある。

### 5.7.4 Chintari 取水ダム地点

本地点の洪水量は洪水痕跡より推定することにした。

この地域では例えば第 2 発電所の下流にある Quebrada Chintari や、その他の渓谷で見られるように土石流の痕跡が認められる。Quebrada Chintari 渓谷に開削された深さ 2 m ~ 2.5 m のトレンチ断面観察によれば数回ほど土石流が発生したことがわかる。地表から第 2 層目の最上部から採取された有機物（植物片）の放射性炭素同位元素による絶対年代測定によれば、AD 1950 年より前  $470 \pm 720$  年ということが判明した。これは土石流の発生頻度がおよそ 350 年 ~ 590 年に 1 度発生していることを示す。この地域の年間降雨量は約 50 mm 程度（Curibaya）とみられるが、約 87% が 1 月から 3 月の間の降雨である。また年降雨水量の約 45% に相当する 23 mm が 2 月に発生する。

この渓谷の流域面積は約  $50 \text{ km}^2$  であり、Chintari における Curibaya 川の流域面積（約  $53 \text{ km}^2$ ）にほぼ等しい。土石流を発生させる降雨が流出の規模でどの程度か解明できないが、流域面積、年間降雨量および Andes 高原地帯での設計洪水量から、この地点の設計洪水量を  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$  と設定する。

## 5.8 堆砂量

堆砂に関する資料は極めて乏しく「Afianzamiento Hidrico de la Laguna Aricota」1979年でわずかにふれられている。これによれば本計画の堆砂量は少なく貯水池の耐用年数に与える影響は殆どないと述べられている。

その理由として本計画流域の流量は、大部分が地下水や融雪水によって涵養されていることをあげている。更に流域は地形学的に安定しており堆砂の主要要素となる浮流砂や掃流砂が生じやすい流域形態をなしていないからであるとされている。

Tocco流域は85 km<sup>2</sup>と小さくその殆どは起伏量の少ないPampaであり地山崩壊が見られないこと、また集中豪雨的な降雨もないことから、堆砂の少ない流域特性を有していると考えられる。

以上の点を考慮した結果Tocco地点の堆砂が貯水池の耐用年数に及ぼす影響は殆どないものと判断される。

アリコータ第3発電所の取水ダム地点の堆砂は殆どないと言える。何故ならば当該地点で取水する水は全てアリコータ第2発電所の発電放流水でありCuribaya川の残流水は全くないからである。

## 第6章 地質および材料

## 第6章 地質および材料

6.1 地質調査の経緯 .....	V-1
6.1.1 既往の調査 .....	V-1
6.1.2 JICA調査団による調査 .....	V-1
6.2 計画地域の地質概要 .....	V-2
6.2.1 一 概 .....	V-2
6.2.2 構成地質の概要 .....	V-2
6.3 水補給計画地域の地質 .....	V-5
6.3.1 Pasto Grande .....	V-5
6.3.2 Loriscota湖周辺 .....	V-7
6.3.3 Tocco川流域 .....	V-9
6.3.4 Chita川およびCoyacoypa川流域 .....	V-9
6.3.5 導水路経過地域 .....	V-10
6.4 アリコータ第3発電計画地域の地質 .....	V-11
6.4.1 取水ダム .....	V-11
6.4.2 導水路トンネル経過地 .....	V-12
6.4.3 水槽および水圧管路 .....	V-12
6.4.4 発電所 .....	V-13
6.5 建設材料 .....	V-13
6.5.1 水補給計画 .....	V-14
6.5.2 アリコータ第3発電計画地域 .....	V-14
6.6 地 質 .....	V-14

## TABLE LIST

Table 6-1            Stratigraph Sequence

## FIGURE LIST

- Fig. 6-1            General Geologic Map, Andes Plateau Area
- Fig. 6-2            General Geologic Map, Aricota No.3 Area
- Fig. 6-3            Water Supply Scheme, Chila, Coypacoypa, and Tocco,  
Geologic Sections
- Fig. 6-4            Water Supply Scheme, Pasto Grande Dam site, Geologic  
Section
- Fig. 6-5            Aricota No.3 Hydroelectric Power, Intakedam, Geologic  
Plan and Sections
- Fig. 6-6            Aricota No.3 Hydroelectric Power Headrace Tunnel,  
Geologic Plan and Section
- Fig. 6-7            Aricota No.3 Hydroelectric Power Penstock, Geologic  
Plan and Section
- Fig. 6-8            Aricota No.3 Hydroelectric Power  
Powerhouse, Geologic Plan and Section

## 第6章 地質および材料

### 6.1 地質調査の経緯

#### 6.1.1 既往の調査

ペルー南部地域には Comision Carta Geologica Nacional が作成した 1/100,000 地質図があり、これらには地質概要の説明もなされている。この地質図には水補給計画およびアリコータ第3発電計画地域が含まれており、今回調査に際し最も有効な基礎資料であった。

水補給計画地域は Southern Peru Copper Corporation により古くからかなり多くのボーリング調査が行われ、地下水の状態が調べられている。Pasto Grande ダムサイトにおいては INAPIC により5本のボーリングと2本の立て坑が掘削され、ダムサイトの地質がほぼ明らかになっている。さらに、その貯水池においても3本のボーリングがなされている。

Loriscota 湖周辺では CORDETACNA により6本のボーリングが行われ、地下水の状態が調べられている。さらに Ministerio de Agricultura y Alimentacion により、水補給計画地域またはその周辺地域の湧水や河川水について水質分析が行われている。

Report on Modified Second Stage Development of Plan Tacna, 1971 に既査結果が報告されており、アリコータ第1,第2発電所については Final Plan for First Stage of Comprehensive Development of Tacna Department, General Information, 1963 で報告説明がなされている。さらに、JICA によりアリコータ湖水補給計画およびアリコータ第3発電所計画事前調査報告書、1982 に、本計画地域についての地質概要の調査結果が記述されている。

#### 6.1.2 JICA調査団による調査

水補給計画地域は各取水ダム地点および水路について地表地質調査を行い、調査工事は弾性波探査と立て坑掘削を実施した。弾性波探査は Chila 地点において2割線延長960m、Coypacoypa 地点において2割線延長960m、Loriscota 湖西岸において2割線延長1440m を行った。立て坑掘削は Loriscota 湖北岸において、表層部の堆積物の状態と地下水の状態を調べるために合計3坑6.96mの掘削を行った。これらの調査結果は、以下の各項で解析を加え図面および工事数量は Appendix - Vi に記載した。アリコータ第3発電所は、取水ダムから水路・水槽・水圧管路および発電所放水路について地表地質調査を行い、調査工事は弾性波探査と立て坑掘削およびボーリング工事を実施した。弾性波探査は、取水ダムで2割線延長960m、鉄管路で1割線1080m、発電所で3割線延長1140m を行った。立て坑掘削は鉄管路の表層軟弱部の状態を調べるために3箇所合計7.5mの立て坑掘削を行った。ボーリング工事は取水ダムで4本延長72.65m、発電所4本延長78m を実施した。これらの調



査結果は以下の各項で解析検討を行い、図面および工事数量は Appendix-VI に記載した。

## 6.2 計画地域の地質概要

### 6.2.1 一般

計画地域は、ペルーのほぼ南端部のチリとの国境近くで、Andes 山脈（新生代後期に隆起）の中央部に位置する。地形的には、高原地帯（4,000～4,600m）と、海岸地帯との漸移帯である西傾斜面（1,500～4,000m）とにまたがっている。Aricola 湖への水補給のための取水地点および水路は、主に高原地帯に位置し、基盤は第三紀初期に堆積した Puno 層群で中期になり凝灰岩を主とした Huayllillas 層や安山岩熔岩を主とした Mallahui 火山が活動し、更に後期になり、湖成堆積物の礫岩やトンネル岩等より構成される Maure 層と Capillune 層が分布し、その間、凝灰角礫岩を主とする Senca 火山が噴出したものである。その後、第三紀後期より第四紀にかけて Barroso 火山（カルクアルカリ岩系の安山岩、流紋岩）が広範に噴出し、さらに平坦部には水河堆積物や河川堆積物が被覆して分布している。

アリコータ第3発電所はアンデス山脈の西傾斜面に位置し中生代末から第三紀初期の間で活動した火成作用による安山岩や凝灰角礫岩からなる Toquepala 層が広く分布している。これとほぼ同時期に上記層を切って貫入した閃緑岩（アンデス底盤の一部と思われる）も見られる。Toquepala 層は全般的に北西の走向と、南西への傾斜を示しているが Chintari を通る Incapuquio 断層運動と貫入岩（閃緑岩）のために、褶曲をうけていると考えられる。

### 6.2.2 構成地質の概要

本調査地域に分布する主な地質の概要を、以下に古い時代から述べる。

#### (1) Toquepala 累層

Tarata 地質図では南西部に広く分布しているが、アリコータ第3発電計画範囲に広く分布し露出して基盤岩となっている。しかし、水補給計画地域では、これに対応する地層の直接の露頭は見られない。安山岩質、石英安山岩質、流紋岩質の噴出物・火山砕屑物で構成され、厚さの総計は 2000m 弱になる。Yura 層群あるいは Chulluncane 礫岩層を傾斜不整合で覆い、上部は Tarata, Huilacollo, Moquegua, Huayllillas 各層に同様に覆われる。閃緑岩、花崗閃緑岩の貫入作用によって、構造変形および変成作用を受けている。本層は2つの部層に分けられるが境界は不明瞭である。形成年代は白堊紀後期から第三紀前期の間と考えられている。

#### (2) Moquegua 累層

Toquepala 累層を傾斜不整合で覆い、アンデス底盤の閃緑岩の侵食面上にのっている。今回の調査地域での分布は僅かで、構造物に直接関与しない。中程度に固結して粗く成

成層した異種混交の粗礫岩で礫種は火山・貫入岩類で、少量の珪岩・石灰岩を含む。礫径は5~50 cmで10~20 cmが多い。層厚は200 m位である。形成時代は中新世から鮮新世の間と考えられている。

### (3) Tacaza 層群

Andes 高原地帯では先の Moquegua 累層に対比される地層で, Huayllillas 累層と Lallahuí 累層が含まれる。下位は陸成砕屑堆積岩で、中位は凝灰岩・流紋岩、上位は火山岩類である。

Puno 累層を傾斜不整合で覆い、Maure 累層と同様に覆われる。本層の形成時代は中新世と考えられる。

### (4) Maure 累層

角礫岩・礫岩・砂岩・凝灰岩・シルト岩・粘土のヤルムズな堆積岩で、湖成環境に急流によって運ばれ堆積したものと考えられている。砕屑物は主に火山岩起源である。本地区では基底は不明であるが、層厚は140 m以上で鮮新世から中新世後期の間の形成と考えられている。褶曲で北東に15°~20°位傾斜している。

### (5) Senca 累層

火山砕屑性火山岩で厚さは薄く(80 m以下)、水平ないし緩く傾斜して堆積する。主に流紋岩質だが安山岩質、石英安山岩質に側方や垂直に変化する。石英粗粒結晶を含む軽く多孔質の石質凝灰岩で、熔岩、軽石、岩屑を多く含み、中に集塊岩や凝灰角礫岩のレンズを挟み、場合によってかなりの厚さになる。Maure 累層を弱い不整合で覆い、Capillune 累層には侵食不整合または整合で覆われ、Barroso 層群とは不整合で接する。Senca 累層の形成は鮮新世後期と推定されている。

### (6) Capillune 累層

泥岩、シルト岩、砂岩、礫岩および火山砕屑岩からなる。砂岩は灰ないし黄灰色で細粒から粗粒まであり、基質は粘土質・凝灰質・礫質と変化する。圧密は不十分でほとんど緻密でないものもある。礫岩は黄灰ないし緑灰色で、円から亜円形の火山性礫で粒径は多様である。

基質は砂質ないし凝灰質で中程度に緻密である。火山砕屑岩は、挟み層で、角ないし亜角状の石質包有物を多く含む再堆積凝灰岩が主体で、さらに流紋石英安山岩質凝灰岩の薄層・レンズを挟み、熔岩や軽石を含む凝灰角礫岩の中間層がある。

本層は、下位より Lower member (sediment)、Andestic member、Tichijones member (sediment) の3層に区分されている。Tacaza 層群を侵食不整合で覆い (Viscachas 川に基底礫岩が見られる)、僅かな不整合ないし整合で Senca 累層にのっている。

上部は侵食不整合で Barroso 層群に覆われている。層厚は数m~195mで、大きな構造変形はない。形成は鮮新世後期と考えられ、堆積後は氷河による侵食を強く受けている。

Capillune 累層は帯水層として、多量の地下水を包蔵しているとされている。しかし、Candarave と Pasto Grande 間の Loma del Azufre 付近には道路の法面に砂岩を主とする

本層の露頭が、よく観察される。その砂岩はかなりよく固結しており硬い。割れ目も少なく透水性のものとは思われない。また、その付近の Capillune 累層の上には人工の水路があり、多量の水が流れている。さらに、Pampa Pasto Grandeの南縁にも本層が分布しているが、よく結っており透水性のものとは思われない。しかし、本層は三層に大別されており、帯水層は上位二層とされている。露頭で観察したものは最下位層ではないかと思われる。

#### (7) Barroso 層群

本層群は下位から、Chila 火山層、Barroso 火山層、Purupurini 火山層に三分される。

少量の安山岩を含む、粗面安山岩組成の熔岩および火山砕屑岩で構成され、不規則な火山錐やキューボラ（小ドーム）を形成する。山体は氷食作用によって、かなり侵蝕されている。Barroso 熔岩は侵食不整合あるいは傾斜不整合で古い層を覆う。Purupurini 火山層は侵食不整合で下位層を覆う。

Barroso 火山層はさらに2部層に分けられる。下部部層は熔岩流が主体で火山円錐丘の中心構造を形成する。これらは暗灰色、淡灰色、青ないし、赤褐色安山岩から粗面安山岩で、細粒から中粒の斑状組織で多孔質、層厚最大970m。上部部層は火山円錐丘の最外部で、不規則に凹地を埋めて分布する。これは斑岩状組織の結晶質凝灰岩で、組成は粗面岩から粗面安山岩、層厚は最大850mである。

#### (8) 氷成堆積物

##### a) 礫礫土

主に火山円錐丘あるいは高い地域の斜面に限定して、小さく孤立して見られる。成分は、条痕を持つ火山性巨礫や角ばった岩屑で基質は細粒から粗粒で、氷河粘土も一部存在する。層厚は最大で40~50m。

##### b) 融氷河流堆積物

斜面に隣接した低地に分布する氷河の融水によって運搬された堆積物。火山岩起源の多様な成分構成で、尚欠不十分な組織、砂が主体で、巨礫や大岩屑を含む。層厚は最大50m。上記の二つの堆積物の境界は必ずしも明確でない。

#### (9) 現世外層堆積物

沖積堆積物、崩積堆積物、岩屑丘、河成堆積物、風成堆積物を含み、これらが漸移して地表部を覆う。沖積堆積物は平地、パンパの大部分を形成して、火山性の砂利・砂・粘土からなり、不明瞭な層理とレンズを特徴とする。

河成堆積物は河谷の谷床に限定して分布し厚さは薄い。成層不十分な礫岩、砂礫、砂層で、シルト・粘土のレンズを挟む。流路から少し離れると、沖積・氷成堆積物と区別出来なくなる。風成堆積物は分布は僅少で薄い。斜面および崖のふもとの小凹地や広原に存在する。Ufocdales と呼ばれる地層は、湿地帯の腐植を有する粘土質砂層である。

## 00 貫入岩類

本計画に関連するものは Toquepala 層群に貫入している閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩の内でも主に閃緑岩でアリコータ第3発電所の導水路ルート上に一部分布している。これは緑っぽい灰色で中ないし細粒完晶質で堅硬だが節理が発達している。貫入時代は白亜紀後期から第三紀前期の間と考えられている。

## 6.3 水補給計画地域の地質

### 6.3.1 Pasto Grande

#### (1) ダムサイト

Pasto Grande パンパが急峻して Viscachas 川 になる狭谷部の入口近くにダムサイトは計画されている。地形は緩やかな逆台形で左岸は河床近くでやや急傾斜(約 $38^{\circ}$ 位)となっている他は緩斜面である。右岸も同様であるが、南西に切れ込む小谷がやや下流にあって一見三角錐状の小山体状を呈する。

右岸は安山岩、凝灰角礫岩、凝灰岩が露出しておりこれらはやや軟質で亀裂が多い部分もある。左岸は表層に4m位の未固結堆積層が覆い岩盤の直接の露頭が見られない。しかし、やや下流では凝灰角礫岩や集塊岩の露頭が見られる。表層の堆積層は崖錐状角礫層と層理を示す凝灰質砂層および表層砂礫からなる。INAPのボーリング(PG-1)データでは深度3m~26.16mまでCapillune累層の集塊岩、砂岩、シルト岩となっている。コアは棒状に採取されてよく固結している。

河床部の現河川堆積物は薄く、岩盤のゆるみ部分を含めても2m以下と推定される。基盤はINAPのボーリング(PG-2,3)データによれば、上位は石英安山岩質凝灰岩で、下位はCapillune累層の集塊岩・砂岩・シルト岩とされている。基盤はダム基礎としてクラックの漏水処理を行えば保水性地耐力共に問題はない。左岸の未固結層は掘削する必要がある。高さ7~8m程度のダムであれば、フィル型式でもコンクリート型式でも築造可能と思われる。基盤の地層については、10万分の1地質図(INGEMMET 1975)によれば、第三紀中期のTacaza層群Llallahuí火山層としているが、SPCC(1974)やINAP(1983)の調査報告書では第三紀後期のCapillune累層に同定していて相異がある。これについては調査資料の不足により断定出来ない。

#### (2) 貯水池

基盤はCapillune累層以下の地層と推定されるが、INAPのボーリング(PG-5,6,7)によれば、PG-7でわずかに52m以下から凝灰角礫岩のろい岩片が採取された以外は、PG-5で25m,PG-6で23.62mまでのコア採取率は極めて悪い。このことはダムサイトのボーリングとは対照的である。これは、この付近の地層がCapillune累層でも固結度の低

い礫岩・砂岩層であるためか、融氷河流堆積物や現世砕屑堆積物が多いのか、明確にする必要がある。もしも、Capillune累層の低固結部であるとすれば、その分布や連続性は貯水池の保水性に重要な問題となる。ダムサイト貯水池の間には南北方向に近い新層とそれに派生する小新層群の存在が指摘されている。これは上に述べたダムサイトの地質と貯水池の地質の差に関係しているのかもしれない。Pampa Pasto Grandeは、かつて湖であったのではないかという形跡がある。すなわち、

a) ダムサイト左岸斜面で、崖線堆積物の上に水平層理をもつ砂層が覆っている。これは水の存在を考えれば説明できない。

b) Pampaの堆積物について珪藻の分析を行った。

その結果、次の種類の多量の珪藻化石のある事が分った。

*Navicular mutica*, *Pinnularia borealis*, *Hantzschia amphioxys*, *Cocconeis placentula*, *Synedra parasitica* これらの種類の珪藻は何れも淡水産で、生息していた環境は水流のあまりない湖のような水域が形成されていたものと推定される。

このような理由により、かつて湖であったとすると、その時代は少なくともPampa Pasto Grandeは水密性を保っていたはずである。それが現在水はなくなり、単なるPampaと化すには次の2つの原因が考えられる。

第1にViscachas川がどこかで塞がれていて、それが何時か溢水により切れて干上ったものではないか。

第2にPampaを構成するCapillune累層に穴が出来てそこから逸水して干上ったのではないか。もし穴ではなく浸透によるものとする、始めから、湖は出来なはずである。穴が出来て湖水が干上ったとすると現在も水を吸い込む穴があるはずであるが現在のところそのようなものは見られない。またViscachas川には現在水が流れているので湖の時代にそれがどのようにになっていたのかの説明が出来ない。

Viscachas川がどこかで塞がれていたかもしれないということは本計画地域にそのような閉塞湖が他にもみられるし、大規模な山崩れも所々にみられることから極めて可能性の高い推定である。

もし第1のようであったとすればPampa Pasto Grandeの貯水池としての保水性は良いということになるが、その確証は得られていない。

### (3) 貯水池保水性の調査

貯水池の湧水位より数m高い位置のCapillune累層に、数本のボーリングを行い、孔内の地下水位と貯水池の湧水位とを比較し検討する必要がある。

### 6.3.2 Loriscota 湖周辺

#### (1) 南西岸地域

弾性波探査は Loriscota 湖南西岸の Co. Jancotie に面した湖岸で実施した。探査では、 $V_p = 480 \sim 1,250 \text{ m/sec}$  の上部層（厚さ 20m 前後）と  $V_p = 1,670 \sim 2,220 \text{ m/sec}$  の下部層と  $V_p = 2,940 \text{ m/sec}$  の岩体に分けられたが、これらを質的に対比して見ると次のようになる。

上部層は湖線周辺に見られる露頭によれば凝灰角礫岩であるが、これは Barroso 火山層に対比される。速度に変化があるのは Barroso 火山層が凝灰角礫岩、凝灰岩、熔岩からなる噴出物の混合であるためと考えられる。 $V_p = 2,940 \text{ m/sec}$  の岩体は熔岩かもしれない。

下部層は地表では見られないが Loriscota 湖底まで続いている。これは広域地質図(1/10万)の記載と  $V_p$  の他地域の地層での値との比較、それと横方向の速度変化が少ないことから、Capillune 累層に対応すると推定される。揚水所及び揚水管路基礎としては、それらの規模と比較して地層の地耐力等の物性に問題ないと考えられる。

#### (2) Putijane 川及び Lorisa 川河口付近

表層は河川堆積物（小礫・砂・シルト）および腐植層それに未成堆積物（砂・シルト・粗岩屑）からなる。これらの表層堆積物は、Loriscota 湖に流入する河川的位置に応じて堆積相が変化しているようである（トレンチの地質柱状図参照）。基盤は CORDEYACNA の 2 本のボーリングデータによれば、Barroso 層の安山岩でその厚さは不明である。表層の未固結堆積物の厚さは SA-1 (Lorisa 川右岸) では 10m, SA-5 (Putijane 川左岸) では 13m である。Barroso 層の厚さや分布については比較的薄く数 10m 位で、Loriscota 湖方向に薄くなると推定される。これは上流では Barroso 層は少なく、Capillune 累層が広く露出していることと、湖岸の他の地点でのボーリングでは Barroso 層は見られないことによる。地下水位は高い（深度 1m 以内）が地層の透水性は場所による堆積相の変化に対応して異なり、地下水量は不明な点が多い。

#### (3) Loriscota 湖周辺の水理地質

Loriscota 湖の南西で第四紀の Barroso 火山層が露出して小丘を形成している他はなだらかな地形で、融氷河流堆積物や現世砕屑堆積物で覆われている。湖の北ないし北東岸では Lorisa 川と Putijane 川の二つの河川を中心とした砕屑性堆積物が広がり、良好な帯水層を形成している。表層の堆積物は Putijane 川ではボーリング (SA-5) によると 13m 位の砂礫層で、トレンチによる簡易揚水試験では  $K = 4.3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$  の値が得られている。

Lorisa 川付近では砂礫層は 10m 位（ボーリング SA-1）でやや粗粒でトレンチでの揚水試験では、 $K = 2.9 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$  となっている。基盤は Barroso 火山層の安山岩で堅硬で難透水性である。さらに Barroso 火山層の下には Capillune 累層があると考えられるが、その性状は不明であり Loriscota 湖への水の供給路として被圧水層を形成しているか調査

が必要である。湖の南から南西岸は河川は見られないが湖岸近くで湧水が見られる。これは Barroso 火山層への降雨が地下に浸透して、Capillune 累層や Barroso 層の一部から湧水しているものと推定される。

湖の東岸は融氷河成堆積物で覆われたおそらくは Barroso 火山層のなだらかな丘である。ボーリング SA-2 によれば表層 20 m は砂礫層、20 m ~ 70 m は礫層で、Capillune 累層あるいは Maure 層と対比される。

これだけでは、地下構造は推定困難であるが、Loriscota 湖の水は一部 Chila 川へ浸透している可能性が考えられる。Loriscota 湖の西岸は、2 つの Barroso 火山層の小山体が接して谷を形成していて、地形的に見て Loriscota 湖の湖水が増加した時は、越流して、Pasto Grande 川に流入すると考えられるが、さらにボーリング (SA-4) によれば、90 m まで砂礫層や礫層が続き、地下からの連続的流出を示唆している。湖底の地質は周囲の地質から推定すると Barroso 火山層あるいは Capillune 累層が基盤として考えられる。湖底からの湧水や温泉の存在は現在の所不明である。

#### (4) Loriscota 湖水の蓄存塩類の起源

Loriscota 湖は Lorisa と Putijane 川の 2 河川が流入するのみで、流出する河川のない閉塞湖 (Closed lake) である。したがって、異常に多い蓄存塩類の起源は、それらの河川から供給された塩類が蒸発により濃縮されたためではないかと単純には考えられる。しかし、その考え方に抵触する次のような事が指摘される。

a) 湖岸の現在の水面より数 m 高所に湖水の蒸発残滓があるので、湖水面はあまり遠くない過去には現在より数 m 高かったことが推定される。それが現在は数 m 低くなっているのは、地表には流出河川はなくても地下には伏流河川があることを示唆しているものと思われる。伏流河川があれば完全な閉塞湖ではなく浸透湖 (Seepage lake) である。

前記のようにタクナ公団で行なわれたボーリング SA-2 または SA-4 は、その伏流河川を暗示している。

b) 蓄存物質のうち銅素が多いのが一つの特徴である。銅素は海水または火山源温泉に供給源をもつ場合が殆どである。標高 4,500 m の高所では海水源はありえないので、火山源温泉の可能性が大きい。

c) Loriscota 湖に流入する Lorisa と Putijane 川の蓄存銅素は非常に低濃度であり、Loriscota 湖水の蓄存塩類が高濃度であることと非調和的である。

d) Maure 川の水の蓄存銅素は非常に高濃度であり、この川には現在温泉水が流入している。Loriscota 湖底に、温泉が出ているとすると、銅素に関して両データは調和的である。したがって Loriscota 湖水の蓄存塩類の起源は、湖底から湧出している温泉水の可能性が極めて大きい。なお、湖岸に残されている湖水の蒸発残滓を調べたところ、その構成物質は且礫を主とし、少量の角閃石、斜長石、石英、緑泥石、絹雲母であり、温泉

の徴候はみられない。おそらく、珪藻の中に火山灰が混入したものであろう。蒸発残滓は降雨にさらされているので、硼素を含んだ化合物は水により溶脱されたものであろう。

### 6.3.3 Tocco 流域

#### (1) Tocco 川取水ダム

Pasto Grande 川が Tocco 川に交る所で、河床部が狭くなり、Co, Quesllampo と Co, Pacchiauqui の裾の緩斜面が接近している。河床部は融氷河流堆積物（砂～細礫・シルト）及び現河川堆積物（細礫・砂・シルト）で表層は草原・湿地となっている。

基盤は Barroso 火山岩層（安山岩から粗面安山岩組成の熔岩と凝灰岩）であろうと考えられるが直接露頭では見られない。左岸割山体から形成された谷がダムサイト付近に通じていて、地形的に左岸はこの谷の堆積物が覆っていると推察される。

河床部の融氷河流堆積あるいは現河川堆積物の厚さおよび性状がよくわからないが、現河川堆積物は除去するとしても、融氷河流堆積物は厚さの関係から除去できないかもしれない。もし除去できないとすると、遡水処理はグラウチングでは難しく、別の工法を考慮しなければならぬかもしれない。それには立坑を数ヶ所掘削して性状や厚さを調べる必要がある。

#### (2) Copapujo (Tocco 川最上流)

Copapujo は泉の名前で、かなりの湧水量が経時的に出ていて、Pasto Grande 川はこれらの泉によって形成されている。地表部では氷成堆積物（砂～細礫）しか見られない。

基盤は Capillune 累層あるいは Barroso 層と考えられる。湧水の起源は Co, Viscachas や Co, Quoñual の降雨（降雪）で山体の割れ目を通して浸透して一部地表に出て来たものである。湧水量が安定していることは単に Barroso 火山岩層の割れ目から直接出ているのではなく、一度 Capillune 累層などに滲透してから、その一部が地表に出て来ていることを示唆する。一般にパンパでは地層中浅い所に不透水層が発達していて湿地を形成しているため、全体に地下水位が高いように見えるが、地下水のルートや透水層の位置は意外に不規則で複雑かもしれない。

### 6.3.4 Chila 川および Coypacoypa 川流域

#### (1) Chila 川

Chila 川取水ダムは、ゆるい逆台形をした谷にあり、Chila 川上流の広い湿地が収束して狭くなり、河川勾配もやや急になる少し上流部に位置する。

両岸は Co, Curahuara および Co, Antajave の火山岩山体の裾で、Barroso 火山層の安山岩および粗面安山岩が露出している。それらは岩塊自体は硬いが割れ目が多い。

河床部（幅 65m 位）は融氷河流堆積物（砂・粗岩屑）と現河川の堆積物（砂・礫および



腐植土)が薄く(4m前後)覆う。両岸は比高30m位で緩斜面となり、表層部の弾性波速度は $V_p = 310 \sim 1,430 \text{ m/sec}$ バラツキがある、これは両岸には露岩があるが、ゆるんだブロックとなっているものと考えられる。下部でも $V_p = 2,120 \sim 3,850 \text{ m/sec}$ で変化し河床部で低下している部分は、氷河流下の際に生じたクラックの影響かもしれない。構造物の基礎としては、ダム規模から見て十分な地耐力はあるが、基礎のクラックに対する止水工を十分行わなければならない。

## (2) Cuypacuyra 川

取水ダムの河床部は融氷河流堆積物および現世の堆積物で、礫・砂および粘土が表層(4m前後)を覆い、基礎はCapillune累層(凝灰質砂岩、粘土および礫岩)と考えられ、右岸の緩斜面には直接Capillune累層が露出しているところがある。地形は氷河の侵食作用によるなだらかな凹地で、地表水はゆるく蛇行していて水量は $200 \text{ l/sec}$ 位である。付近は広い湿地帯である。

取水ダムサイトとして問題になることは基礎のCapillune累層の透水性で周囲の植生等から推定するとかなりの伏流水が存在すると考えられ、地表水を単純にせき止めるだけでなく、地下での逸水を防ぐことが有効な取水につながる。

現在、水理地質の詳細は不明で弾性波探査データのみであり、河床部の融氷河流堆積物あるいはCapillune累層の厚さや性状が現段階ではよくわからない。これらのダム基礎としての選水処理はグラウチングでは難しく別の工法を考慮しなければならないかもしれない。それには立坑を数ヶ所掘削して性状や厚さを調べる必要がある。

### 6.3.5 導水路経過地域

#### (1) 一般

各計画案の水路経過地に分布する地質は次の通りである。

- a) 融氷河流堆積物
- b) Barroso層群
- c) Capillune累層

融氷河流堆積物は透水性が大きいので、何らかのベープメントが必要と思われるし、固結不十分な軟弱層であるから水路の位置は平坦な安定した場所を選ぶべきで、急勾配地形の斜面は回避すべきである。Barroso層群は堅硬な火山岩または火山砕屑岩が主体で、水路としての安定上の問題はないが、割れ目が多いので透水性が大きい。したがって、これもモルタルなどによるベープメントが必要である。

Capillune累層は三層に区分され、上位二層は透水性が大きい、最下位層は透水性が小さいとされている。事実、Lome del Azufre付近ではCapillune累層の上にベープメントなしの人工水路が作られており、多量の水が流れている。したがって最下位の

Capillune 累層の場合は湿削しだけでベープメントは必要ないであろうが、上位二層の Capillune 累層の場合はベープメントも必要であり、特に最上位層は固結不十分のため、安定にも注意すべきものと思われる。すなわち、地形上急斜面の位置は回避すべきである。

## (2) Loriscota湖から Tocco 取水ダムまでの水路の地質

Loriscota 湖水を Tocco 川に流入させる水路は、地形的には Co, Quesllampo と Co, Ichipata の山塊 (Barroso 火山岩層) に挟まれた比較的なだらかな小谷を通過する。

地質的には地表付近は湿地堆積物 (Bofedares) と融氷河流堆積物 (Fluvio glacial deposit) である。この付近で、CORDETACNA によって 3 本のボーリング (SA-3, SA-4, SA-9) が実施されているが、中でも計画ルート上近くに位置する SA-4 の記載によれば、地表から 32m までは未固結の主に砂層で、地下水位も 1.46m と浅い。しかも 90m までは礫層 (巨大岩塊や砂を挟む) で、堅硬な岩盤には到達していない。

SA-3 では 15m までは中ないし粗砂層で 15m から 110m は礫層、110m で火山岩盤に到達する。本孔では 110m 付近より湧水があり、孔内水が自噴する。以上のことから類推すると、水路を開水路とした場合、ルーズな礫質砂層を通り、地下水位の高いことから推定して、法面からの地下水滲出が推定され工事に際して地下水の処理と法面の安定に対して十分な注意が必要でありかなりの懸工事が予想される。

## 6.4 アリコータ第 3 発電計画地域の地質

### 6.4.1 取水ダム

取水ダム計画地点では、2 本のボーリング (B-2.3) と弾性波探査が 2 割線実施された。

これらの調査結果によれば、Curibaya 川右岸の B-2 孔付近で河床砂礫は 8~9m、左岸 B-3 孔付近では 22~23m と厚くなり、谷の中央部に向かってさらに厚くなるようである。

この河床砂礫は巨礫を含み、角ないし亜角礫が目立つが、礫間を細礫及びシルトがうめて比較的良く持っている。基盤は安山岩質から流紋岩質な火山岩類で、やや節理が発達しているが堅硬である。ダム基礎として見た場合、この河床砂礫は粘土ないしシルト分が比較的少なく、円礫も少ない、しかも礫は堅硬な火山岩が多いため、ダムの規模と比べて十分な地耐力があり、不等沈下の可能性も小さいと考えられる。しかし透水性については問題が大きく水路および調整池共に表面透水することが良いと思われる。

Chintari には東南東および西北西から開ける 2 本の大きな谷があり、常時は水が流れず乾燥しているが、集中雨による土石流<sup>※</sup>及び泥流の発生の可能性があり、取水ダムおよび水路に影響が大きいので、ダム軸はそれを選避するために出来るだけ上流が良い。また、上の 2 本の谷を通り Chintari を横断する構造線の存在が想定されているが地表では直接確認されていない。

※土石流は数回発生しているようであるが、最上位土石流とその下位の土石流堆積物の間に挟まれていた植物片により<sup>14</sup>C法による年代測定を行ったところ、A.D.1950年より前470年±120年ということが判明した。

#### 6.4.2 導水路トンネル経過地

安山岩から流紋岩質火山岩とそれに貫入する閃緑岩から構成される。大きな構造として分布は南北方向で下流の方ほど上位の地層が露出するが、上流部ではChintariを横断する西北西方向の構造線の影響を受け、下流部では閃緑岩の貫入により構造変形および変質作用を受けている。

上流部は石英安山岩(流紋岩)、安山岩、流紋岩質の火砕岩からなり、節理は発達しているが堅硬。中・下流部では凝灰角礫岩及び流紋組織の噴出物(安山岩質～流紋岩質)の互層で特に下流部では層理の明瞭な火砕岩からなり、やや軟質。閃緑岩は一部の露頭でしか見られないが、地下ではかなり広範な岩体の一部と考えられ、貫入の影響と考えられる母岩の変質や石英・石膏・方解石等の鉱脈の発達が著しい。これらは中生代末から第三紀初期に生成したTogupala層の中ないし上部に対応する地層と推定される。

トンネル掘削に際して上流部では堅硬であるが節理が発達していること、中・下流部では閃緑岩は堅硬であるが、周囲の母岩は変質を受け、節理が発達していて岩質が小刻みに変化することが注意点となる。湧水はほとんどないものと予想される。

#### 6.4.3 水槽および水圧管路

安山岩及び流紋岩質の火砕岩で層理が明瞭。走向はN20°E傾斜30°W位で、鉄管路ルートに対しては流し目となる。ここでは、弾性波探査一測線と3ヶ所のメテ坑を掘削した。調圧水槽から下の斜面の距離400m位の区間の尾根には岩盤の露頭は見られないが、周囲の斜面の状況や立坑での地質状況から推定して6m以内に基盤岩があるものと思われる。表層の崖面もその地形や堆積状況から見て移動量は少なくブロック状(機械的風化による岩塊の集合)で安定している。(平均勾配は23°以下)全体に凝灰質でアリコーナ第1,2の地質と比較して岩質はやや軟かいが、表層の厚さや基盤の弾性波速度については同程度である。

標高約1,630m以下の急斜面では凝灰角礫岩の露頭が見られる。この部分は堅硬だが表層にやや不規則なクラックが見られ、張力によるゆるみが推定される。このクラックは、古い時期に形成された構造性の小断層である可能性も考えられる(付近の小断層の方向と類似)。

層理の発達した凝灰質な岩盤で層理面の傾斜が斜面の方向に近いため、クリープの心配があるが地形的に見てこの山体はこれ以上の谷の解析が進まなければ安定しているものと推定される。

#### 6.4.4 発電所

本地点では4本のボーリングと3測線の弾性波探査が実施された。P-2は9.65m、P-3は26.9m、P-4は4.1mで着岩した。基盤岩種は凝灰岩及び凝灰角礫岩でよく固結しているが、ややクラッキーである。

基盤の弾性波速度は $V_p = 2,940 \sim 4,170 \text{ m/sec}$ で発電所基礎としては十分な地耐力を有する。地表から岩盤までは未固結の砂礫層で、巨礫を含み分級度の悪い堆積物が多い。全体的には細粒を成分(細礫・砂)が多く泥流堆積物に近い。粘土及びシルト分は含むが少なく、透水性は高いが地耐力はあり、不等沈下の可能性も小さいと考えられる。表層堆積物の弾性波速度は $V_p = 230 \sim 1,250 \text{ m/sec}$ で下部堆積層および岩盤のゆるみ層や強風化層は $V_p = 1,490 \sim 2,170 \text{ m/sec}$ である。P-3のボーリングでは、着岩かブロックかの疑問が残るが着岩がそれ以深としても、計画地点付近での岩盤位置は充分施行可能な深さと考えられる。

P-1のボーリングは20mまで堆積層で、着岩を確認していない。調査地点のすぐ下流の右岸側に沢がありその沢から発電所への土石流の影響が懸念される。しかし、この沢の谷は狭く、複雑に蛇行しているので土石流が発生しても減勢されるし河口には自然堤防が形成されているので、少し上流側に位置する計画地点には影響が無いものと推定される。

### 6.5 建設材料

#### 6.5.1 分水計画地域

##### (1) フィルダム材料

アンデス高原地帯に計画されている諸ダムがフィルダムとなれば、ロック材・フィルタ材・コア材および付属コンクリート構造物の骨材が必要となる。Pasto Grande ダムについては、左右両岸に安山岩や凝灰角礫岩のかなり堅硬なものがあるので、これがロック材及びコンクリート骨材に使用出来るであろう。コンクリート骨材の砂は、氷成堆積物が付近にあり使用できると思われる。フィルタ材は融氷河川堆積物が利用出来るであろう。

しかし、コア材については、付近では殆ど望めない。したがってダム型式は特別なものかあるいはコンクリートダムにたゞざるを得ないであろう。

Toccoダムについてはロック材はBarroso層群の火山岩が付近にあり、このうち安山岩や粗面岩の硬いものが、ロック材あるいはコンクリート骨材に使用出来ると思われる。砂材やフィルタ材は融氷河川堆積物が使用出来ると思われる。砂材やフィルタ材は融氷河川堆積物が使用できるであろう。ところが、Pasto Grandeダムと同様コア材になるようなものはない。したがってダム型式は特別なものを考慮しなければならない。何れの材料も十分な試験を行い、真に使用できるかの確認を要する。