

ペルー共和国
ヤンガス水力発電開発計画
調査報告書

昭和50年 2 月

国際協力事業団

ペルー共和国

ヤンガス水力発電開発計画

調査報告書

JICA LIBRARY



1035070101

昭和50年 2 月

国際協力事業団	
受入 月日	84. 3. 15
登録No.	00269
	709
	64.3
	MP

国際協力事業団

は し が き

日本政府はペルー共和国政府の要請に基づいて、同国北部地域のヤンガス河水力発電計画の予備調査を行うこととし、この業務を国際協力事業団（元海外技術協力事業団）に委託した。

国際協力事業団は、ペルー国ならびに諸外国及び日本において、この種の、調査業務に関して多年の経験をもつ電源開発株式会社を選定し、これと同事業団との間で、現地調査及び報告書作製の契約を締結し、これに基づき、ここにこの調査報告書提出の運びとなったものである。

本調査報告書がペルー共和国の北部電力開発事業の推進に役立つとともに、両国の友好親善と経済交流の促進に寄与するなら、これにまさる喜びはない。

終りに本調査の実施に当り、ペルー共和国政府関係筋より提供された全面的な御協力に對し、厚く御礼申し上げたい。

1975年 2 月

国際協力事業団

総 裁 法 眼 普 作

伝 達 状

国際協力事業団

総裁 法 眼 普 作 殿

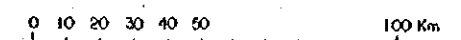
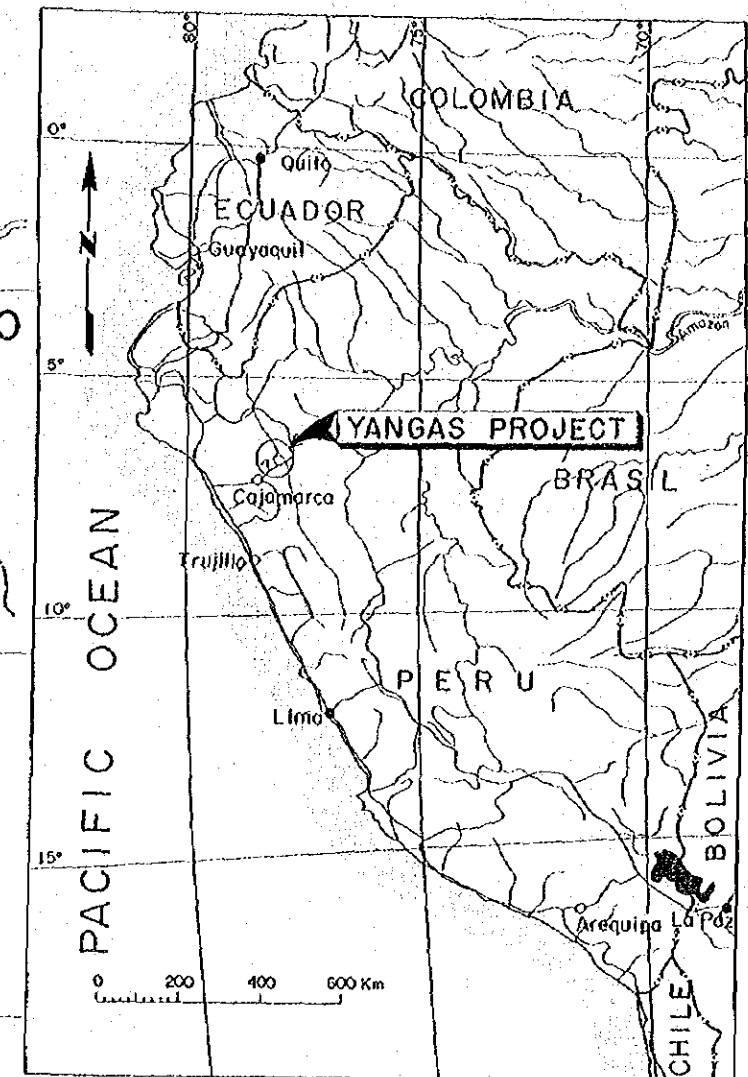
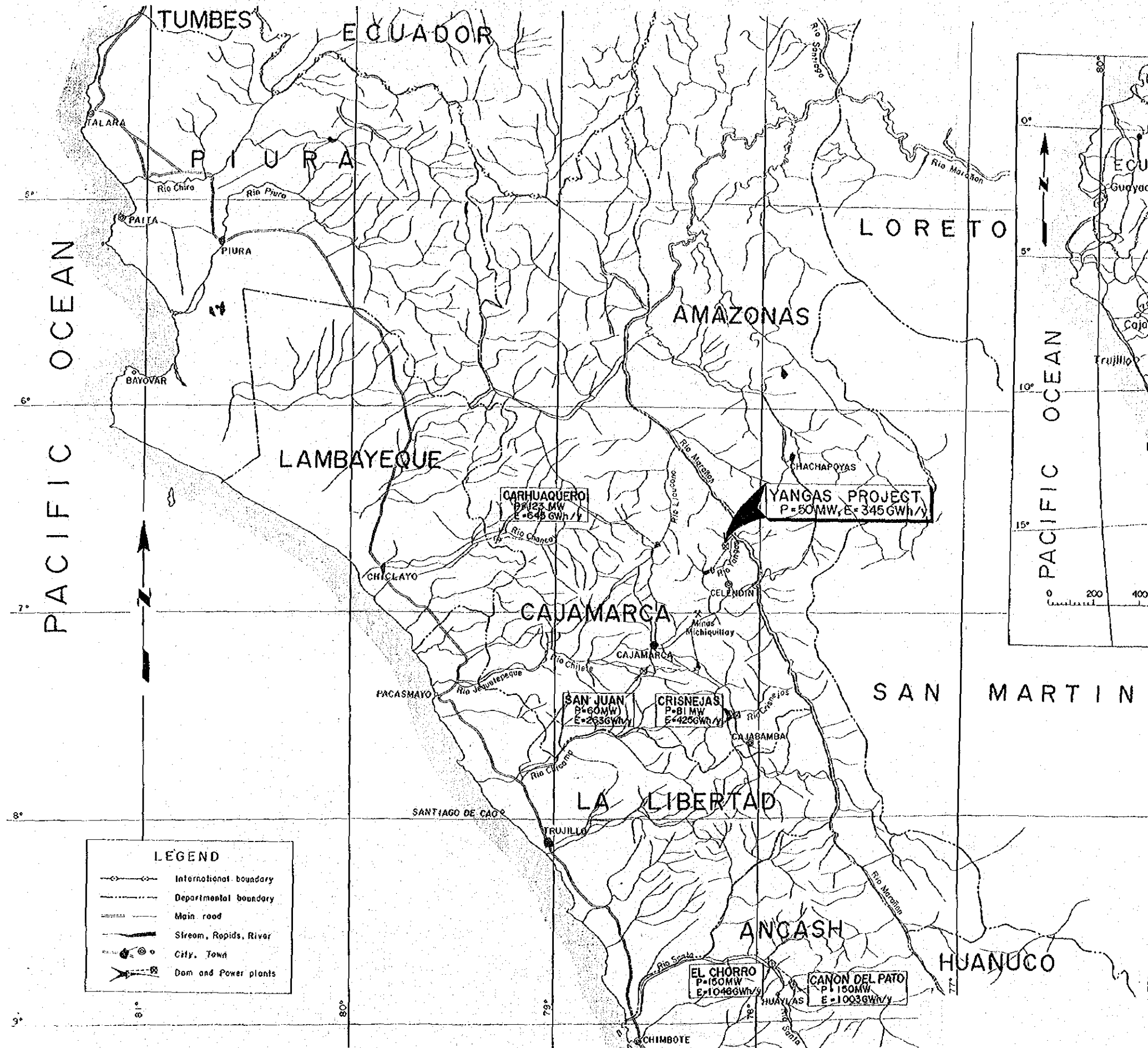
ここに、ペルー国ヤングス水力発電計画のプレフィージビリティ報告書を提出いたします事を非常に欣快とするものであります。この作業は、昭和49年1月21日付で貴事業団の前身であった、海外技術協力事業団と当社との間になされた現地調査に関する契約書及び、昭和49年11月26日付で貴事業団と当社との間になされた国内作業に関する契約書に基いて実施されたものであります。

この報告書の提出によって、約1年間に亘って行われたヤングス水力開発計画のプレフィージビリティ段階での現地調査及び計画、設計、作業を終了するものであります。これらの作業には、当社のチーフエンジニアの指導の下に、関係各部門のスタッフが参加いたしました。

この水力発電計画の調査によって、貴事業団に協力出来たことを喜びとするものであります。

電源開発株式会社

総裁付調査役 渡 辺 安



UNITS OF MEASURE

mm	: Millimeter
cm	: Centimeter
m	: Meter
km	: Kilometer
sq. mm	: Square millimeter
sq. cm	: Square centimeter
sq. m	: Square meter
sq. km	: Square kilometer
ha	: Hectare
cu. m	: Cubic meter
gr	: Gram
kg	: Kilogram
ton	: Metric ton
kt/yr	: Metric kiloton per year
ton/day	: Metric ton per day
ton/min	: Metric ton per minute
ℓ/min	: Liter per minute
kl	: Kilo liter
bbl	: Barrel
mmHg	: Millimeter mercury
kbbbl	: Kilo barrel
m/sec.	: Meter per second
cu. m/sec.	: Cubic meter per second
cu. m/sec. -day	: Cubic meter per second - day
cu. m/sq. km/year	: Cubic meter per square kilometer per year

KW	: Kilowatt
KWH	: Kilowatt hour
MWH	: Megawatt-hour
GWH	: Gigawatt-hour
MW	: Megawatt
kV	: Kilovolt
kVA	: Kilovolt-ampere
r.p.m.	: Revolutions per minute
EL	: The height above mean sea level
°C	: Centigrade
%	: Percentage
\$	: U.S. dollar
s/	: Solo

目 次

は し が き
伝 達 状
位 置 図
単 位

第 1 章	緒 論	1
第 2 章	結論と勧告	5
第 3 章	関連地域の概要	7
第 4 章	需要想定と需給計画	17
第 5 章	地 質	47
第 6 章	水 文	59
第 7 章	開 発 計 画	95
第 8 章	経 済 評 価	119
第 9 章	今後の調査	127

付 録

- A. Lima-Chimbote 送電線の送電容量（Chimbote 側受電電力）の検討
- B. 水文資料
- C. Yangas ダムサイト流量計算結果

第一章 緒 論

1.1	調査の経緯	1
1.2	報告書の目的	1
1.3	既往の報告書	1
1.4	基礎資料	2
1.4.1	地形図	2
1.4.2	電力需給に関わる資料	2
1.4.3	水文資料	3
1.4.4	工事費資料	3
1.5	調査計画	3
1.6	調査団の編成	3

第 1 章 緒 論

1・1 調査の経緯

ペルー国動力鉱山省 (Ministerio de Energía y Minas。以下 MEM と称す。) の電力公社 (ELECTROPERU) では、1983 年以降不足すると考えられるペルー北部の電力供給に関して、次期電源開発の最有力地点として、Yangas 川水力発電計画のプレフィジビリティ調査を行うよう、1973 年 2 月 6 日付 NUMERO (Ila) - 6-15/12 をもって同国政府を通じ、日本政府へ要請を行なった。この要請に応じて、日本政府は章末に掲げる技術者からなる調査団を現地に派遣した。

調査団は 1974 年 2 月から 3 月にかけて、現地踏査および必要な資料の収集を実施し、帰国後 ELECTROPERU で作成中であった地形図の到着を待って計画検討を行い、この報告書を作成した。

1・2 報告書の目的および検討範囲

当報告書の目的は、1972 年に MOTILIMA S.A が作成した「ミチキジャイ鉱山開発地区およびその周辺地域への電力供給に関する調査」に関する報告書 (以下 MOTILIMA Report と称す) の中で推奨した Yangas 川水力開発計画について、技術的・経済的な面からプレフィジビリティレベルで再検討を行い、最適な開発計画案を策定すると共に、当該地域内の開発候補地点の中における Yangas 計画地点の経済性の位置づけを明確にすること、および Yangas 計画の今後の取扱いに必要な勧告を行うことである。

当報告書の検討範囲は次のとおりである。まず電力需要想定は、① Chimbote を中心とした既設 Santa 系、② Trujillo, Pacasmayo 等の工業化地域、③ Michiquillay 鉱山および Cajamarca を中心とする地域、④ Chiclayo およびそれ以北の地域とし、1975 年から 1990 年までの期間について行うものとする。次に発電設備については、貯水池、水路、発電所および計画地域までの工事用道路を含むこととする。また、送電設備は発電所から Michiquillay 変電所までの範囲について検討する。

1・3 既往の調査

Yangas 計画に関する既往の調査は次の通りである。

- (1) 野崎技師が電力総局 (Dirección General de Electricidad) の技術顧問であった時の事前調査報告
- (2) Fortunato Marín 氏が行った調査報告
- (3) MOTILIMA Report

上記のうち(3)の報告書は既往調査レポートのうちで最新かつ最も詳しいもので、Peru 北部地域内に考えられているいくつかの計画地点の中で、Yangas 計画の経済的有利性を脱き、優先的調査の実施を勧告しており、今回の Peru 国政府より日本政府に呈された前述の調査要請の基礎となっているものである。

なお、上記の報告書で計画しているダム、水路、発電所等の位置は後述する既在 10 万分の 1 航測図の範囲を外れるため、20 万分の 1 の旧図に依っていたので(3)の報告書に於ては地形図作成を含めた関連調査の必要性が勧告されていたものである。

1・4 基礎資料

現地調査期間中に得られた基礎資料は次の通りである。本報告書はこれらの諸資料に基づいて作成された。

1・4・1 地形図及び航空写真

(1) 地形図

縮尺 1 : 200,000

作成 1927 年, Instituto Geográfico Militar

範囲 計画地域全体を包含

(2) 航空写真測量図

縮尺 1 : 100,000

作成 1963 年, Instituto Geográfico Militar

範囲 計画地域の一部が図化されていない。

(3) 航空写真測量図

縮尺 1 : 20,000

作成 1974 年, INIE

範囲 Yangas 川下流域 約 6 Km × 30 Km

(4) (3)の基となった今回撮影の航空写真

1・4・2 電力需給に関する資料

(1) INFORME No : 001 EM/DGE/DPE/COEPA

“ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL SISTEMA LAMBAYEQUE-LA LIBERTAD-ANCASH-CAJAMARCA 1975 - 1985 ”

(2) SIDERPERU の増設計画

(MEM)

(3) Michiquillay 鉱山開発計画

(Michiquillay Copper Corporation)

(4) AVARIO DE ESTADISTICA AÑO 1972

(MEM)

(5) 現地調査より得た Santa 系, Cajamarca, Piura, Tumbes における至近年の需要実績および負荷特性に関する資料

(6) ペルー共和国カハマルカ地区開発計画基礎調査報告書

(金属工業事業団)

1・4・3 水文資料

第6章および付録Bに示す通り、9ヶ所の流量観測所資料(観測期間3~11年)、17ヶ所の雨量観測所資料(観測期間8~40年)および気温、湿度、蒸発量等に関する資料で、これらはPeru国気象庁(SINAMHI)、Michiquillay 鉱山会社および既存の調査報告書から得たものである。

1・4・4 工事費資料

"Guía de Materiales", 1973, Publicación Informativa-Comercial

"Anuario 73 de la Construcción", 1973, Camara Peruana de la Construcción

1・5 謝 辞

Yungas 計画に関する現地調査、資料収集および本報告書作成に当っては、次の各位に絶大なる援助を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する次第である。

Peru 国鉱山動力省(MEM)

Peru 国電力公社(ELECTROPERU; Instituto de Investigaciones Energéticas y Servicios Eléctricos (以下INIEと称す))

Peru 国鉱業公社(MINEROPERU)

在 Peru 国日本大使館

金属鉱業事業団(Metal Mining Corporation of Japan)

日本貿易振興会(JETRO) Japan Trade Center, Lima

以上関係各位の協力が無かったならば、このレポートは完成出来なかったであろう。

1・6 調査団の編成

調査団は、次の人員で編成した。

団 長	渡 辺 宏	土 木	電源開発株式会社
団 員	堀 江 宏	電 気	電源開発株式会社
団 員	合 田 勝 男	土 木	電源開発株式会社
団 員	大 森 充 広	電 気	電源開発株式会社

團	員	永	谷	清	彦	地	質	電源開発株式会社
團	員	藤	野	清	一	土	木	電源開発株式会社
團	員	飯	島	清		経	済	通商産業省

第 2 章 結論と報告

2.1	結 論	6
2.2	動 向	6

第 2 章 結論と勧告

2.1 結 論

Yangas 水力発電計画について、既存の調査報告書、DIRECTORPERU の INIE より提供のあった資料、今回 INIE によって作成された航空写真測量図、現地における調査および日本国内における検討の結果、次の結論を得た。

- (1) ペルー北部地域は 1970 年代後半より 1980 年代初期にかけて、Chimbote の製鉄所増設計画、Trujillo の新工業団地建設計画、Michiquillay 鉱山操業、石油関連産業の発展等により、電力需要の大幅な伸びが予想される。これを特に需要増大の著しい Santa 電力系統及びその周辺について見れば、Cañon del Pato の増設 50 MW ならびに Lima-Chimbote 送電線による中央の系統からの供給 120 MW を考慮に入れても 1982 年には供給力が不足する。また、更に、El Chorro 150 MW が開発されたとしても、1989 年には供給力が不足する。

これらの不足を満たす新規電源としては 1980 年代においては負荷率 60 % 程度の発電所の投入が適当である。一方、1990 年代になると、負荷の増大に伴って負荷率 30 % 程度のピーク電源も考慮されることとなる。

- (2) 本計画の位置する Yangas 川流域内には、石灰岩が広範囲に分布しているが、ダム地点および水路トンネル経過地の大部分は、地形上の制約からこの石灰岩地域を避けて設定することは不可能である。

当地点の踏査および航空写真の地質判読の結果、計画地点の大半を占める石灰岩質岩盤は、カルスト性侵食を強く受けており、これに起因するダムおよび貯水池基礎からの漏水、およびトンネル施工中の多量の漏水が発生する可能性が考えられる。特にダムおよび貯水池基礎岩盤の水密性については、その良否が計画の実現性を左右する大きな問題であり、今後の十分な調査および検討が必要であるが、本報告書では、現在入手できる資料の範囲内でこの計画を検討した。又、本報告書で提案したダム地点及び水路ルートは比較的問題点の少ない位置に選定した。

- (3) 発電計画策定に不可欠な水文関係資料は、現時点では Yangas 川について十分揃っていない。そのため、隣接河川の流量資料と雨量資料から Yangas 川の流量を算定した。その結果、ダム地点における年間平均流量は $9.7 \text{ cu} \cdot \text{m} / \text{sec}$ 、6～9 月の洪水期平均流量は $2.7 \text{ cu} \cdot \text{m} / \text{sec}$ と推定された。

- (4) Yangas 川における水力発電計画として、その地形、地質、水文、経済性等を検討して、最適な計画を検討した結果、従来 MOTILIMA S.A. の提案していたダム地点（原 3 地点）は、今回新たに作成された 2 万分の 1 地形図によれば、従来考えられていたよりも貯水容量が大幅に減少し、また地質の面から見てもダム地点として不適当と判断された。そし

てそれより約7km上流のPlatanal地点(ⅤⅠ地点)に高さ約80mのダムを造る案が最適であることが分った。また発電所位置は、ダム地点の下流82mのBombón地点(ⅤⅢ地点)で、約620mの有効落差とし、最大出力50MWとする案が最適である。

又、概略の経済性を計算した結果、火力発電所の発電経費を指標とした、便益-費用比(B/C)は1.09となった。また負荷率30%とした場合は、地点の特性から前者よりも経済性が良くなり、 B/C の値は1.33となる。

- (5) 当該地域内にある水力発電計画地点の中におけるYangas計画の位置づけをするために、他の有力な3つの計画(Crisnejas, Carhuauero, San Juan)を選び出し、これら三計画についての既往の調査レポートを基として、Yangas地点と同一の基準でこれら地点の経済評価の見直しを行なった。この際、各地点の計画内容は原計画のままとし、経済評価のみ見直すものとした。

この結果、上記3地点の便益-費用比(B/C)は、2.12~1.73となり、経済性に関して、Yangas計画($B/C = 1.33 \sim 1.09$)は、他の地点よりも劣ることが分った。

- (6) 以上に述べた如く、Yangas計画は従来一般に考えられていた程、有利な地点ではないことが判明した。これは、従来予測されていたような良好なダム地点および所要の落差を得るための比較的短かい水路が、地形および地質条件からみて、存在しないということが、今回新たに作成された地形図と調査検討によって判明したためである。

2・2 勧 告

上記結論に基づき、下記の勧告を行なう。

- (1) Peru北部地域では、新規電源を早急に開発することが必要である。
- (2) Yangas計画は、従来考えられていた程良い計画ではないので、本計画の推進については、近傍の他水力計画のより詳細な調査・検討およびこれ等の計画の進展状況を考慮しながら、慎重に決定すべきである。
- (3) 将来、需給関係の変化に伴い本計画の実施が必要となった際には、先ず、石灰岩地質の岩盤基礎に対する精査を実施して、計画の実現性を確認した後、地形に関する、より精度の高い調査を行う必要がある。なお、水文資料については、それに先立って測定を開始し、資料の蓄積を計ることが好ましい。

第3章 関連地域の概要

3-1-1	関連地域の範囲	7
3-1-2	自然条件	7
3-1-3	社会・経済の現況	9
3-1-4	電力事情	12

圖 面 目 録

Fig. 3-1 Trend of Energy Production

表 目 録

Table 3-1 Monthly Mean Temperature at Northern Region of Peru

Table 3-2 Monthly Average Rainfall at Northern Region of Peru

Table 3-3 Population of Department of Cajamarca in 1972

Table 3-4 Population of Coastal Region in Northern Peru in 1972

Table 3-5 Oil Production and Export-Import of Peru

Table 3-6 Transportation at Port of Northern Peru in 1971

Table 3-7 Power Facilities in 1972

Table 3-8 Energy Production in 1972

Table 3-9 Energy Consumption per capita in 1972

第 3 章 関連地域の概要

3・1 関連地域の範囲

Peru 共和国の北部地域の開発は、海岸地帯の南側にある Trujillo, Chimbote を中心とした工業, Chiclayo を中心とした農業, Piura 県の Talara, Bayovar を中心とした化学工業並びに Cajamarca を中心とした Andes 山岳地帯の鉱業がその核となる。

この地域の電力供給は、Trujillo, Chimbote が一つの電力系統として電力供給が行われている以外は、孤立した単独小系統である。Trujillo, Chimbote の Santa 系統 (180MW) は、近い将来、リマの中央系統と 220 KV 送電線により連系され、信頼度の向上が計られることとなっている。その他の地区もいずれ電力需要ののびに応じて、Santa 系統と連系されて電力供給が行われることになる。

Yangas 水力発電計画は、Amazon 河上流の Marañon 河の支流である Yangas 川に於ける発電計画であり、Andes 山脈の山岳地帯にある Cajamarca 県の Celendín 郡に位置している。ここで開発される電力は Cajamarca 市に近い Michiquillay 鉱山に供給されるばかりでなく、他の水力発電所と共に北部 Peru の電力需要を満たす供給力の一部となる。従って関連地域の範囲としては、Cajamarca 県のほか La Libertad 県及び Ancash 県の Chimbote 附近を考え、更に北部の Lambayeque 県と Piura 県についても間接的に影響を受ける地域とした。

3・2 自然条件

Peru 共和国は南米大陸の太平洋側にあり、赤道付近から南緯 $18^{\circ}21'$ 、西経 $68^{\circ}39' \sim 81^{\circ}20'$ に位置する南北に細長い国である。Peru の地勢は自然条件から 3 つの地域に大別される。即ち、年間を通じて殆んど降雨のない太平洋岸沿いの海岸地域 (costa)、海岸地帯の東側に位置し、標高 5,000m 以上の高峰も連なる Andes 山脈の山岳地域 (Sierra) 及び Andes 山脈の東側にあり、全国土の 50% を占める広大な密林地帯 (Selva) である。

Yangas のある Cajamarca 県は山岳地域の高原地にあり、県都 Cajamarca 市は標高 2,655m、Celendín 郡の郡都 Celendín 市は標高 2,620m である。気温は Andes 高山性で年間平均して $13^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{C}$ であり、年間を通して寒暖の差は少ない。10月～4月は雨期であり、海岸地域と違って年間約 900mm 程度の降雨があるが、6月～8月の乾期には殆んど降雨をみない。

La Libertad 県、Ancash 県、Lambayeque 県及び Piura 県は海岸地域にあり、降雨は非常に少ない。しかしながら、Humboldt 海流 (寒流) の影響が少ないため Peru の中部・南部の太平洋側よりは雨が期待できる。特に Piura 県はこの傾向が著しい。この地域の大部分は砂漠であり、Andes 山脈から流れる川の流域に農業が発達し、都市を形作っている。Table 3-1 お

Table 3-1 Monthly Mean Temperature at Northern Region of Peru

Month Region	Unit: °C												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
Cajamarca	15.3	15.3	14.8	14.7	14.8	14.4	14.4	14.7	15.1	15.2	15.1	15.4	14.9
Celendín	13.6	13.1	13.1	13.3	12.8	11.9	11.3	11.9	12.3	12.9	13.4	13.4	12.9
Trujillo	21.2	22.2	22.1	20.6	19.6	18.4	17.9	17.5	17.3	17.6	18.1	19.3	19.3
Chiclayo	24.2	25.5	25.7	23.9	22.4	20.5	19.6	19.3	19.4	19.8	20.7	22.1	21.9

Table 3-2 Monthly Average Rainfall at Northern Region of Peru

Month Region	Unit; mm												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Cajamarca	83.9	88.2	113.6	102.6	34.1	7.6	6.4	11.0	32.1	80.0	75.6	85.7	720.8
Celendín	85.7	88.5	130.7	117.9	33.6	19.8	10.0	16.7	52.9	108.1	148.2	102.9	915.0
Trujillo	0.2	0.1	0.5	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	1.8
Chiclayo	1.2	1.0	2.5	1.8	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.8	0.6	0.4	8.9

よび 3-2 に Cajamarca, Celendín, Trujillo および Chiclayo の月別平均気温と降雨量を示す。

3・3 社会・経済の現況

(1) Cajamarca 県

Cajamarca 県は面積 35,000 sq・km , 人口 92 万で Peru に於ては比較的開発の遅れている県である。他の山岳地帯と同様に住民はインディオが主体である。Cajamarca 市は混血も多い。しかし, Celendín 市は比較的新しい町であり, 都市部の人口は 1 万 6 千人程度である。Yanas 地点は完全にインディオだけしか住民はいない。(Table 3-3 参照)

Table 3-3 Population of Department of Cajamarca

Region	Population
Department of Cajamarca	920,000
Cajamarca City	62,000
Celendín Province	65,000
Celendín City	16,000

この県の主産業は農業と牧畜であり, 1970 年には 1,380 百万 Soles の生産額となっている。銅を中心とした鉱業が非常に有望な地域であり, 1970 年には 199 百万 Soles (内, 輸出は約 90%) の生産高にすぎないが, Cajamarca 市と Celendín 市の中間にある 世界的規模の Michiquillay 銅山の開発計画が Peru 鉱業公社と日本の Michiquillay 鉱業協との間で現在進められており, 1980 年には操業が開始される予定である。採鉱規模は 1 日 3~5 万トンが見込まれており, 年間 3,000 百万 Soles の生産が得られる。しかし, これは殆んど外貨収入となる。その他の産業としては乳製品工業, 伝統的家内工芸工業が小規模に活動している程度である。

1970 年に於ける Cajamarca 県の総生産額は 160 百万 \$ であり, これを人口一人当りで見ると 176 \$ となる。Peru 共和国全体では 5,200 百万 \$, 一人当り 399 \$ である。

Cajamarca 県は産業の発達が遅れているために, 交通・通信の便も悪い。海岸沿いに走る パナアメリカンハイウェイより Cajamarca 市に至る道路約 180km は約 70% が舗装されており, 近く完全舗装される。これ以外の県内の道路, 例えば Yanas 開発の資材の運搬路となる Celendín 市に至る道路, Bambamarca に至る道路等は全て路面が悪く, 雨期にはしばしば通

行不能となる。尚 Lima 市～Cajamarca 市間は、Trujillo 市経由で毎日一便航空機の便がある。

(2) 海岸地域

(a) 住民

砂漠の中の極く限られた土地に町が作られており、古くから栄えている Trujillo 市、農業の中心の Chiclayo 市、新しい工業都市 Chimbote 市等、特徴のある町が多い。

(Table 3 - 4 参照)

Table 3-4 Population of Coastal Region in Northern Peru in 1972

Region	Total	(Unit: in thousands)	
		Urban	Local
Department of Ancash	727	339	388
Chimbote City	167	159	7
Department of La Libertad	806	477	329
Trujillo City	134	127	7
Department of Lambayeque	515	377	139
Chiclayo City	156	149	7
Pacasmayo and San Pedro de Lloc' City	27	24	3
Department of Piura	855	444	441
Piura City	84	82	2
Talara City	30	30	
Republic of Peru	13,572	8,087	5,485

(b) 産業

Chimbote 附近はかつては Santa 川流域で農業を営む寒村であったが、1943 年に製鉄所が建設され、現在では人口 20 万人に近い工業都市となった。この製鉄所は 1971 年に国有化され、Empresa Siderúrgica del Peru (略称、SIDERPERU) となっている。1970 年にこの地方を襲った地震により、町は大半破壊されたが現在は立直り、現在の鉄鋼の生

産量 30 万トン/year を 1980 年には 210 万トン/year に増設を計画している。Chimbote の北 130km にある Trujillo 市は古くから栄えている町で、この町の北部にはパンアメリカンハイウェイに沿って新しい工業団地が建設されており、最終的には 1,740 ha の団地を予定している。中心となる工業は自動車に関連する産業で、その他機械加工工場も予定されている。

Ia Libertad 県の北部から Lambayeque 県南部にかけては Chicama 川、Jequetepeque 川、Chancay 川等の水を利用した農業が盛んな地域である。主生産物は米と砂糖きびである。Lambayeque 川には河口から約 60 km 奥に 1968 年に灌漑用貯水池 Tinajones ダムが建設され、又 Jequetepeque 川の灌漑計画も具体化に近づいている。

Peru の石油開発の歴史は古いが、大きな油田が発見されないまま今日に至っている。Piura 県の Talara 市近くは現在のところ Peru 第一の採掘地であるが、近年生産量は減少傾向にある。(Table 3-5 参照)

Table 3-5 Oil Production and Export-Import of Peru

Production	Talara and surrounding area (Including Continental Shelf)	21,748 (10 ³ bbl)
	Others	840 (" ")
	Total	22,588 (" ")
Import	Crude Oil	11,074 (" ")
	Oil Products	4,450 (" ")
Export	Crude Oil	1,111 (" ")
	Oil Products	250 (" ")

しかし、最近隣国 Ecuador の開発成功に刺激されて、Amazon 側の地質調査と試掘が行われ、北部に於ては既に相当量の産出が得られている。Amazon 側からの石油輸送は太平洋沿岸までのパイプラインの建設が不可欠で、ジャングル地帯を通り、標高 2,400 m の Andes 山脈の峠を越えて Bayovar までのパイプラインの建設が予定されている。Bayovar は現在寒村であるが、パイプラインが建設された際には石油の積出港となる。

Talara 市は近くで採掘される石油の精製工場があり、その処理能力は 64 Kbbbl/day であるが、現在 Peru 国内のガソリン需要増に応じて 16.6 Kbbbl/day のガソリン製造装置を設置工事中である。又、近くに日本の援助で肥料プラントも建設中である。

(c) 交通

これ等の主要都市を結ぶ海岸沿いのパンアメリカンハイウェイが陸上輸送の主要機関である。このハイウェイは Lima から Ecuador までのびている。交通量は Chimbote ~ Trujillo ~ Pacasmayo ~ Chiclayo 間が特に多く、1970年時点で 3,000 台/day 程度を記録している。

Peru 共和国の港湾は比較的貧弱である。Lima 市に近い Callao 港は Peru 第一の港で航洋船 26 隻の受入れ能力がある。北部 Peru に於ては、Chimbote が天然の良港で北部 Peru 随一の良港である。その他、後背の都市を擁えた Salaverry 港、石油基地の Talara 港等が荷扱いが多い。(Table 3-6 参照)

Table 3-6 Transportation at Port of Northern Peru In 1971

Port	Number of Vessels			Volume of Transportation (10 ³ ton)
	Domestic	Foreign	Total	
Chimbote Port	151	150	301	1,198
Salaverry Port	145	107	252	880
Chicama Port	6	13	19	92
Palta Port	283	216	499	147
Eten Port	5	11	16	90
Talara Port	297	108	405	2,790

3・4 電力事情

Peru 共和国に於ける電力事業は、公共・民営共に動力鉱山省の管轄下にある。1972年には、電力公社が設立され、これまで国営・公営・私営の一般電力供給、並びに工場の自家発と分かれた事業形態にあったものをこの電力公社に統合し、国営の一貫した組織に変更を計りつつある。

1972年に於ける全発電設備は 1,930 MW で、この中、水力発電設備は 1,057 MW である。又、自家発電設備は 855 MW を占めている。(Table 3-7 参照)

Table 3-7 Power Facilities in 1972

Region	unit ; MW				
	Organization		Power Generation		Total
	Public	Private	Hydro	Thermal	
Republic of Peru	1,075	855	1,057	873	1,930
Department of Cajamarca	7.1	8.0	5.3	9.9	15.1
Department of Ancash	149.7	57.2	106.5	100.4	206.9
Department of La Libertad	27.0	78.5	1.7	103.8	105.5
Department of Lambayeque	12.9	43.2	-	56.1	56.1
Department of Piura	31.9	12.0	0.5	43.5	44.0

電力消費量の統計は無いが、損失も含めた年間発生電力量は1960年～1972年まで年間約7.4%の増加率を示し、1972年には6,154 GWHであった。これを人口1人当りで見ると、463 KWH/yearとなる。(Table 3-8, Fig 3-1 参照)

Table 3-8 Energy Production in 1972

Region	unit ; GWH		
	Hydro	Thermal	Total
Republic of Peru	4,439	1,715	6,154
Department of Cajamarca	10.5	4.5	15.0
Department of Ancash	256.1	28.0	284.1
Department of La Libertad	-	301.2	301.2
Department of Lambayeque	-	153.6	153.6
Department of Piura	-	123.9	123.9

北部各地域では開発の進んでいる海岸地帯の各県の消費量は比較的高いが、特に開発の遅れているCajamarca県は、発電設備の不足と相俟って電力エネルギーの消費は非常に少ない。

(Table 3-9 参照)

Fig.3-1 Trend of Energy Production

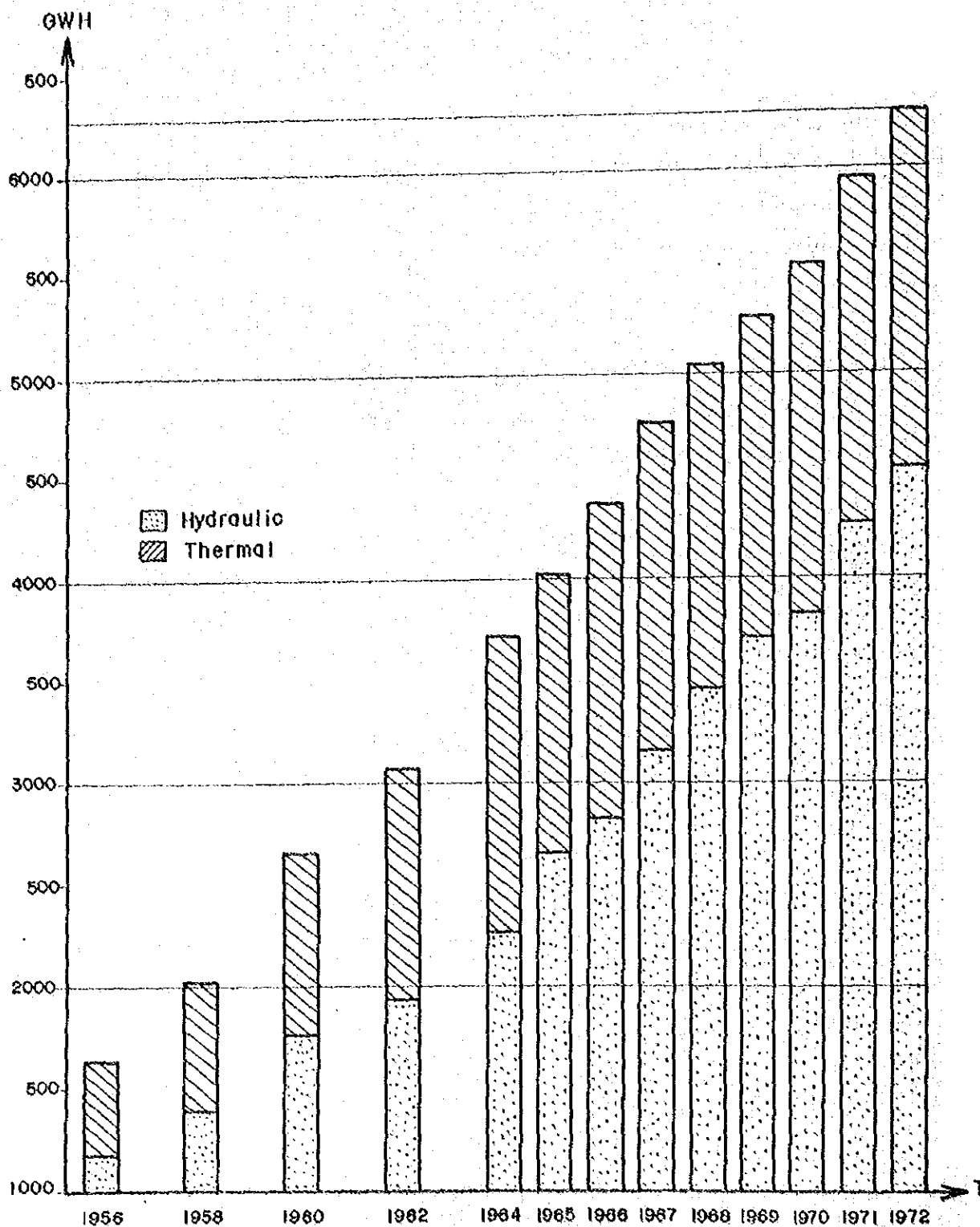


Table 3-9 Energy Consumption per capita in 1972

Region	Energy Consumption (KWH Per Capita)
Average of the country	463
Department of Cajamarca	16
Department of Ancash	390
Department of La Libertad	384
Department of Lambayeque	302
Department of Piura	145

Peru 共和国は、その地理的条件から都市が点在していることと、電力需要が少なかった為、電力系統は従来 Lima 市等極く限られた地域にしか存在していなかった。大部分の都市は単独に主としてディーゼル発電により電力を供給し、又、工場は自家発電を行っている。近年、比較的大規模の水力開発が進み、部分的に電力系統が構成されて来ている。北部地域に於ては、Santa 川水系の Cañon del Pato 水力発電所（設備出力 100 MW）とガスタービン発電所（合計出力 80 MW）を中核として Chimbote, Trujillo 両市を含む Santa 系統が構成されている。この系統の 1973 年の最大電力需要は 71 MW である。1978 年にこの系統はリマ中央系統と 220 KV で連系される予定となっている。ペルー政府は今後、この 220 KV 連系を全国的に拡大する意向である。

第 4 章 需要想定と需給計画

4.1.1	対象地域	17
4.1.2	需給想定	18
4.1.3	負荷曲線	21
4.1.4	供給計画	22
4.1.6	所規開停電況	24

圖 面 目 録

Fig. 4-1	Typical Daily Load Curves of Santa Power System (in 1973)
Fig. 4-2	Daily Load Curves of Expanded Santa Power System (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-3	Daily Load Curves of Chimbote Area (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-4	Daily Load Curves of Callejon de Huaylas Area (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-5	Daily Load Curves of Trujillo and Sig. de Cao Area (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-6	Daily Load Curves of Pacasmayo Area (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-7	Daily Load Curves of Cajamarca and Michiquillay Area (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-8	Daily Load Curves of Santa Power System (Maximum demand)
Fig. 4-9(a)	Power Demand and Required Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System
Fig. 4-9(b)	Annual Energy Demand and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System
Fig. 4-10(a)	Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Maximum demand in 1982)
Fig. 4-10(b)	Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Holiday in 1982)
Fig. 4-11(a)	Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Maximum demand in 1990)
Fig. 4-11(b)	Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Holiday in 1990)

表 目 録

Table 4-1	Load Forecast of Northern Region (Expanded Santa Power System) Maximum Demand (MW) and Annual Energy Consumption (QWH)
Table 4-2	Load Forecast of Chimbote District
Table 4-3	Load Forecast of Callejon de Huaylas
Table 4-4	Load Forecast of Trujillo and Sig. de Cao District
Table 4-5	Load Forecast of Pacasmayo District
Table 4-6	Load Forecast of Cajamarca and Michiquillay Mines
Table 4-7	Load Forecast of Chiclayo District
Table 4-8	Demand and Supply Balance of Expanded Santa Power System
Table 4-9	Power Demand and Annual Energy at Sending End (QWH) of Expanded Santa Power System

第 4 章 需要想定と需給計画

4・1 対象地域

Peru 国北部は Chimbote, Trujillo を中心とした工業化計画, Michiquillay 鉱山の開発および石油関連産業の開発計画等, 種々の計画が進められており, 今後の電力需要の急速な伸びが予想されている。

Chimbote 地区は Peru 北部随一の工業地帯であり, 当地域の電力需要の北部地域全体に占める割合もかなり高い。既設 Santa 系統の発電々力量の 70% 程度がこの地域で消費されている。この地域の需要主体は国営の製鉄所 SIDERPERU であり, Santa 系統の電力需要の動向は現在の所, この製鉄所の生産量で決まるといえる。SIDERPERU は, 現在設備増強計画を策定し, 鉄鋼生産量の増大を図っている。当地区には他に魚粉工場, カーバイド工場 (ENSA) があるが, 今後の北部地域開発の進展に伴い, 新規工場の進出も予想される。

Trujillo 市北部では, 自動車関連産業を中心とする各種工場から成る新工業団地の建設を目指しており, 現在第 1 期整地作業が終了している。今後, 当地域は工業都市として電力需要の増大が予想されている。

Cajamarca 地区は農業を中心産業とした地域であり, 電力需要は大部分が電灯需要であるが, 1980 年には Michiquillay 鉱山の操業開始が予定されており, 鉱山需要とその影響を受ける地域として電力需要の大幅な伸びが予想される。

Pacasmayo 地区は Michiquillay 鉱山の開発計画に伴って港湾の開発が計画されている。また, 郊外には Cia. de Cemento Pacasmayo のセメント工場があり, 現在半官半民となっている。現在, セメント生産量は 315 Kl/Year であるが, 1978 年には製造設備が倍增される予定である。当地域にはその他の工業 (アスベストパイプ, セメントパイプなど) を導入する計画もあるが, 未だ具体化されていない。

Chiclayo 地区は砂糖きび, 米を中心とした農業地帯である。今後も農地の拡張, 改良工事の計画があり, 将来とも農業中心の産業地帯となるであろう。電力需要としては, 砂糖きびを原料とする製紙工業の導入などが考えられているが, 現在のところ具体的な計画はない。

Piura 県は, 将来農業・漁業・鉱業・工業と他方面への発展が予想される地域である。現在は農業, 特に輸出を目的とした綿花の栽培が主産業となっている。Chira 地区はかんがい工事を実施中であり, 政府は将来, 当地区に導入する農産物の種類, およびそれらの製品加工化計画を検討中である。

Paita 地区はソ連, 日本などの援助を得て漁港の整備, および海産物の冷凍・しおづけ・缶づめ等水産加工工業の導入を計画している。

Bayovarではリン鉱の開発を計画しており、現在パイロットプラントが出来ている。ペルー政府は、本鉱石の開発に対する各国の融資条件を検討中である。また、アンデス山脈を越えて Bayovarに至る970 Kmの石油パイプラインの敷設工事が計画されており、1976年度には完成される予定である。それに伴い、25万トンのタンカーが入港できるよう港湾の建設も計画されており、将来は石油化学プラントの導入も考えられる。

Piura から Tumbes に至る砂漠地帯は小規模ながら石油採掘が行われている。Talara 地区では石油精製所が拡張工事を行っており、また、天然ガスを利用した肥料プラントも日本の援助で建設中である。Piura は民間の配電会社 EMPRESA DE ENERGIA DE PIURA が電力供給を行っており、1973年の最大需要、年間消費電力量は夫々 11.2 MW, 45.6 GWH であった。Talara 市は ELECTROPERU が電力供給を行っているが、1973年の最大需要、年間消費電力量は夫々 9.6 MW, 66.0 GWH である。

Tumbes 県は Peru 国最北端にあり、米、バナナを主体とした農業が主産業となっている。現在は農業開発、観光開発等の計画があるが、将来、電力需要の大幅な増大は予想できない。

今回調査を実施した Yungas 水力発電計画は Michiquillay 鉱山, Trujillo, Chimbote 等、当面の開発計画の中心地域に近く、当プロジェクトが実現される場合には当然 Chimbote, Trujillo を中心とし、かつ Michiquillay とも連系され、拡大された Santa 系に投入されること。また、Chiclayo 地区は電力供給の信頼度の向上、ならびに予備力の節減をはかる面から、将来需要が熟した時点で Santa 系との連系が考えられること。さらにまた Piura, Tumbes 両県については、将来急速な需要の伸びが予想される可能性はあるにしても、未だ開発計画が煮つまっておらず、Santa 系との連系は相当先の問題であること、等を考えて需要想定は下記地域を対象として行った。

1. Ancash 県

Chimbote を中心とした工業地域および既設 Santa 系

2. La Libertad 県

Trujillo および Pacasmayo 等の工業化地域

3. Lambayeque 県

Chiclayo を中心とした都市

4. Cajamarca 県

Michiquillay 鉱山および Cajamarca を中心とする都市

4・2 需要想定

需要想定は本年1月、動力鉱山省(MEM)において作製された INFORME No 001 EM /DGE/DPE/COEPA "ANALISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL SISTEMA LA-

MBAYEQUE-LA LIBERTAD-ANCASH-CAJAMARCA 1975-1985”の想定値を基準にして、下記資料をもとに検討し、更に現地踏査を行った。

1. Demanda y Oferta de Energía Eléctrica en la Región Energética Norte 1972年6月
(Cooperación Energética Peruana-Alemana para la Planificación Integral de Energía.)
2. SIDERPERUの増設計画に伴う需要予測(MEM)
3. Michiquillay 鉱山開発に伴う需要予測(Michiquillay Copper Corporation)
4. AVARIO DE ESTADISTICA 1971および1972年(MEM)
5. ペルー共和国カハマルカ地区開発計画基礎調査報告書(金属工業事業団)
6. 今回の現地調査より得た至近年の需要実績および負荷特性に関するデータ

電力需要の想定期間については、Michiquillay 鉱山の操業およびChimboteの製鉄所SIDERPERUの増設計画の具体化により大幅な需要の増大が予想される1980年代前半に重点をおき、1985年頃までを予測すれば、Yungas水力発電計画の開発時期、規模、系統増強計画等の検討のための基礎資料として充分である。

しかし、北部地域は今後の長期的発展の可能性の高い地域であるだけに、更に長期的な供給計画を策定しておくことが望まれるので、想定期間を1975年より1990年までとした。

需要想定の結果をTable 4-1に示すが、以下その内容について述べる。

電力需要は工業化の進展如何に大きく左右される。

現在、北部Peruの工業化計画は緒に就いたばかりで、各種の計画も非常に不確定な面を有している。従って長期の需要想定を行うことは非常にむづかしく、そのため想定値はある程度の幅をもたせたものとした。

需要想定の中で()をつけていない数値は、現在の需要の伸びおよび設備増強計画などの計画に具体性があり、実現性の確度の点から将来の予測値として考えて大略妥当とみられる数値である。

将来、更に工場の新設、拡張、生産量の増大などを積極的に実施した場合に予想される需要の最大値を()をつけて示した。この値は、後年度についてはMEMの予測値と殆んど等しい。又、至近年度についてはMEMの予測値を現在の工業計画進捗状況に合わせて縮小してある。

各地域別の需要想定はTable 4-2~Table 4-7に示す。

Chimboteの電力需要には特にSIDERPERUの生産計画の影響が大きい。1973年のSIDERPERUの最大需要および年間消費電力量は夫々48.8MW, 184.4GWHであり、Chimbote地域に対して最大需要で89%, 年間消費電力量では77%を占めている。

SIDERPERUは1975年、1978年、1982年と3段階で設備の増強を図る計画があり、

従ってこれらの時期には鉄鋼生産量の増大に伴い急激な需要の伸びが予想される。

魚粉工業は最近のアンチョビの不漁から昨年は殆んど操業を停止しており、今後の需要の伸びも小さいと思われる。

Chimbote市、SIDERPERU、魚粉工場等個々の負荷の需要想定にはMEMの想定値をそのまま採用したが、今後、導入される新設工場による需要としては、現在の工業開発の進展状況からみて早くても1978年以後に入るとした。この想定結果によると、1980年まではSIDERPERUの増設計画により需要も急激な伸びを示しており、最大電力需要で平均 $11\%/Year$ 、年間消費電力量では平均 $13\%/Year$ で伸びているが、増設計画が完了した1982年以後は、伸率は急激に低下している。

Callejon de HuaylasはAncash県内陸の鉱山地帯であり、1973年の最大需要は2.3 MW、年間消費電力量は8.9 GWHであった。

過去数年間の需要(年間消費電力量)の伸率は平均して5%程度である。1977年にはAntamina, Santa Luisa両鉱山の開発計画が加わり電力需要の急激な増大が予想されている。想定にはMEMの数値を採用した。

Trujillo市の1973年の電力需要は最大需要で14.5 MW、年間消費電力量で48.8 GWHであった。過去5年間の年間消費電力量の伸び率は約10%である。現在計画されている新工業団地は50ヘクタールほどの整地が完了したところであり、目立った需要の増大はいくとも1978年以後になると判断した。中心となる工業は自動車関連産業であり、自動車工場、鋳物工場、トラクター農機具等の工場を想定し、想定値は前述の資料1に依った。

TrujilloからSantiago de Caoに至る138KV送電線は現在設計段階にあり、完成時期は当初の計画より今の所、2年おくれで1976年度になると思われる。従ってSantiago de Caoの製紙工場(TRUPAL)および精糖工場(Cartavio)がSanta系に組み入れられる時期を1977年と想定し、これらの工場の想定値は系統への編入時期の遅れの分だけMEMの値より低目にみた。

Pacasmayoと周辺都市を含めた地域の電灯需要は1.3~1.5 MW程度であり、私営ならびに公営の供給力(合計2.2 MW)で賄っている。当地域の電力需要の大部分はセメント工場が占めており、現在、自家発電設備(有効出力7 MW)で賄っているが、1978年には生産設備を倍増する予定でいる。増設後の需要は15 MW程度が想定されている。Pacasmayoおよびその他周辺都市の需要想定にはMichiquillay 鉱山の開発に関連した港湾の増強のための需要を含めた。Pacasmayo 負荷のSanta系統との連系時期はTrujillo~Michiquillay送電線のルートがPacasmayoを経由するかどうかによって左右される。早ければ1980年にSanta系に連系されることになる。

Cajamarca および Michiquillay 地区の電力需要は Michiquillay 鉱山の操業開始時期である 1980 年より Santa 系に編入される。

Michiquillay 鉱山の需要想定値は同鉱山の開発に伴って誕生する鉱山都市の需要を含めて、採鉱量は初年度 3 ～ 5 万 ton/day 、1985 年度より 4 ～ 6 万 ton/day として想定した。

Cajamarca 市の 1973 年の電力需要は最大需要が 1.7 MW、年間消費電力量で 5.1 GWh であった。同市の需要想定は、最近の伸び率 11 %/year を用いて 1980 年までの想定を行い、1981 年以後は Michiquillay 鉱山が操業に入り、比較的安定した電力需要の増加率になると考え、伸び率は 5.5 %/year とした。

Chiclayo の需要想定値には Chiclayo 市のほか Monsefu, Eten, Lambayeque, Pimentel, Ferreñafe など Chiclayo 市近辺の小都市を含めて計上した。

Chiclayo の系統は現在供給力が不足しており、今後の産業計画の進展に伴い、供給力が確保されていくと電力需要の伸び率も高くなっていくことが予想される。

想定には過去 10 年間の最大伸び率 12 % を採用した。

この結果、最大需要は 1985 年で 35 MW、1990 年で 51 MW であり、新規工場の積極的な導入が行われない限り、Santa 系統との連系が有利な需要 78 MW には達しない。(注：前述の資料 5 参照のこと。)

Chiclayo 地区は将来とも農業を中心とした産業地帯となる構想であり、飛躍的な需要の増大は考えられない。このため Table 4 - 1 の北部電力系統全体(以後“拡大 Santa 系”と呼ぶ)の総需要の中には含めていない。

4・3 負荷曲線

電力需給計画の策定に当っては、系統内の多種多様なすべての負荷の特性を調査し、それらを総合して作られる総合負荷の日負荷曲線から需要の特性を把握することが重要である。

既設 Santa 系統の日負荷曲線の形状を Fig 4 - 1 に示す。これは 1973 年の実績より得た個々の typical な負荷曲線をもとに Santa 系総合の日負荷曲線を作成したものであり、系統の typical な特性を示すものといえる。

これによると、Santa 系統は SIDERPERU による影響が大きい、夜間の電灯需要により負荷曲線はかなり平坦化され、10 時より 22 時まで電力需要は殆んど一定となっている。しかしながら、今後の産業の発展とともに系統が拡大され、各種の負荷の投入や電灯需要の増大などが進んでいくにつれ、負荷曲線の形状も複雑化していくことが予想される。

Santa 系統の将来の負荷曲線は SIDERPERU、Chimbote 市など個々の負荷の需要想定と負荷特性とから個々の負荷の負荷曲線を求め、それらを合成することによって推定した。

1982年断面について想定した各地域および拡大 Santa 系の Weekday の日負荷曲線を Fig 4-2 に示す。1982年断面を採択した理由はこの時期が想定期間中の真ん中にあり、現在、具体化されている主要な工業計画が一応実施に移され、その後の電力需要の増加は安定した伸びを示していくと考えられるし、かつ、電力系統の構成上からも当分は定着したものとなり、想定期間全体を推定する上からも都合が良いからである。

検討に用いた各地域における工場等の Week day の日負荷曲線は Fig 4-3 ~ Fig 4-7 に示すが、これらの形状は大幅な生産計画の変更などの特殊な場合を除いては、年間を通して大きな変化がないものと考えられる。

Fig 4-2 の日負荷曲線によれば、電力需要のピーク値は 19 時 ~ 20 時のいわゆる点灯時間帯にある。

各単位負荷の日負荷曲線の形状には経年的な変化があまりないと考えられるため、新規開発の水力発電計画の投入が予想される 1982 年以後の拡大 Santa 系の日負荷曲線にもこの特長が維持される。それは昼間の電力需要の主体である工場需要の伸びが安定していく反面、Chimbote, Trujillo 等の都市の電力需要はその後大きい伸びが予想され、点灯時間帯の需要を伸ばしていくであろうし、また工場需要においてもこの時間帯の需要が少なくないからである。

従って、各地域の全ての負荷について 19 時 ~ 20 時の電力需要を求め、それを系統全体に亘って合成して得た値を拡大 Santa 系の最大電力需要とすることができる。

Fig 4-8 に拡大 Santa 系の日負荷曲線の推移を示す。

Santa 系統が Pacasmayo, Michiquillay へと拡大され、電灯需要が増大し、工場需要の増加も安定していくに従って昼間および点灯時ピーク需要が顕著となっている。このように、増大、且つ、複雑化していく需要に対して、応じうるだけの供給力を常に確保していかなければならないが、供給力を構成する水、火力発電所には個々に夫々異った特性（運転出力、運転時間、負荷追従性など）があり、電力供給を安定、且、経済的に行うためにはこれらの供給力の特性をよく把握して、各供給力がその特性を十分に活かせるようにしなければならない。

従って、今後の供給力の開発については、その電源が負荷曲線のどの部分を分担すべきか（尖頭部か、基底部か、あるいはその中間部か）を、既設供給力との負荷分担を考慮の上で十分に検討し、系統の実情に沿った開発の仕方が重要となる。

4・4 供給計画

前記の需要想定にもとづいて作製した拡大 Santa 系の需給バランスを Table 4-8 に示す。この供給力には小規模であるディーゼル発電機は除いている。また Lima-Chimbote 連系線による中央系統からの供給も当然考慮すべきではあるが、とりあえず、北部の拡大 Santa 系単独

で需給バランスをみたものである。

これによると、現在の Santa 系統電源だけでは 1977 年までしか需要を満すことは出来ない。ELECTROPERU は Santa 川水系の Cañon del Pato 発電所の増設工事 (100 MW → 150 MW) に本年 10 月に着手し、1978 年に完成を見込んでいる。この発電所が予定通り完成されると 1978 年の供給力は 223 MW となるが、SIDERPERU の増産計画が予定通り進んでいるときは、送電端需要は 238 MW となり供給力に不足を生ずる。

従って、1978 年には新たに供給力を投入するのがのぞましい。しかしながら、この時点では不足量もさ程でなく、新規電源の開発に時間的な無理があれば 1978 年度に運開予定である Lima - Chimbote 送電線により中央電力系統から当面の融通を受ける方法もある。

1980 年には主として Michiquillay 鉱山の操業開始が原因で、飛躍的な電力供給不足が生じるので、供給の安定性の面から拡大 Santa 系内部に新規電源を投入することが望ましい。

Pacasmayo の Santa 系編入時期は Trujillo ~ Michiquillay 送電線のルートに左右されるため、当送電線のフェジビリティ調査が行われていない現時点では、早ければ 1980 年に連系されることが想定されるので、この需給バランスでは 1980 年で考慮した。1980 年に Pacasmayo が Santa 系に連系されない場合は、1980 年の拡大 Santa 系での不足供給力は 9 MW 程度緩和され 82 MW 程度になる。しかし、連系時期が遅れた場合の連系後の不足供給力は、ほぼこの表の値に沿ったものとなると考えられる。

拡大 Santa 系の送電端電力、年間送電端電力量の将来の推移を想定したものが Table 4 - 9 であり、これに 10 % 程度の予備力を加えた供給力を保有するのが信頼度上望ましい。

送電損失電力は各地域の 1990 年ごろの最大需要電力に対して、各需要端電力に対する送電損失電力 (MW) を求め、これを需要端需要 (MW) に加えて送電端需要とした。

拡大 Santa 系の送電端電力量 (GWH) は、次の Puller Woodrow 氏の実験式により拡大 Santa 系に関する損失係数を求め、最大需要時の送電損失電力 (MW) とにより年間送電損失電力量 (GWH) を算定し、年間の需要端電力量に加えて求めた。

$$P = 0.7 f^2 + 0.3 f$$

P = 損失係数, f = 負荷率

Fig 4 - 9 (a) および Fig 4 - 9 (b) は、上記にもとづいて作成された拡大 Santa 系の電力供給計画を示すものである。

需要想定には前述の実現の可能性の確度の高い想定値をもととして、これに供給予備力を考慮して供給計画を策定するのが妥当であると考えられるので、これを基準にし、次の事項を前提にして立案した。

- (I) 拡大 Santa 系自内の供給力のうち 10 % を供給予備力にあてる。

(2) 必要な供給力は、極力、拡大 Santa 系自内で確保できるように計画するが、供給力不足を生じた場合は Lima-Chimbote 送電線により中央系統からの補填を考慮する。

(3) Santiago de Oco および Papasmayo の汽力発電設備等は系統の経済的な運用面から予備力として扱う。

(4) Chimbote, Tarma のガスタービン発電機は、特性、経済性を考慮して尖頭負荷を担い、利用率は 10% 程度を原則とする。

Fig 4-9 (a) に示す必要供給力の曲線 (A) は、上記にもとづいて作成した拡大 Santa 系に必要と考えられる供給力の推移を示すものである。

拡大 Santa 系内に確保する供給力は Lima-Chimbote 送電線の使い方によって、その保有量を検討しなければならない。

曲線 (A) は、拡大 Santa 系自内で予備力 10% を保有する場合に必要なと考えられる供給力であり、曲線 (B) は、中央系統に十分な余力があると仮定し、Lima-Chimbote 送電線の送電容量一杯 (1 回線時 120 MW) まで、中央系統から受電することを考えた場合の拡大 Santa 系内に必要な供給力である。Appendix A に Lima-Chimbote 送電線の送電可能電力 (1 回線時) を定額安定度、および電圧面から検討した結果を掲げた。

1978~1979 年の供給力の不足に対処する新規電源の開発は時間的な問題から困難と考えられるので、予備力を含めた不足供給力を Lima-Chimbote 送電線により、中央系統からの融通に頼らざるを得ないと思われるが、これに多くを期待することは当送電線事故時の影響が大きくなり、系統の信頼度の低下は免がれない。従って、当面は曲線 (B) に沿った供給力の確保に努めるにしても、出来る限り早い時点で曲線 (A) の供給力に移行することが望ましい。

4・5 新規開発電源

拡大 Santa 系自内に確保しなければならない供給力 (予備力を含む) は、前節で述べたように Lima-Chimbote 送電線の使い方により検討しなければならないが、Yungas 水力発電所の開発を含み、El Chorro 発電所をはじめ、各種の新規開発電源および Lima-Chimbote 送電線による中央系統からの融通には最大電力 (MW)、年間送電々力量 (GWH) について Fig 4-9 (a) および (b) の供給力が確保できるように計るとともに、負荷の特性を充分に考慮し、適正な運転が出来るような特性を持たせなければならない。

Fig 4-10 (a), (b) および Fig 4-11 (a), (b) は 1982 年ならびに 1990 年に想定される最大需要時および休日の日負荷持続曲線である。1982 年の時点では、負荷の尖頭部をガスタービンで賄い、Canea del Pato 発電所を基底部に当てると残りの基底部および中間部を分担する新規電源の開発が必要となる。この新規開発電源全体の平日かつ最大需要時の日負荷率は 86% 程

度になり（年間平均日負荷率は 60 % 程度），むしろ基底部の性格が強い電源が要求される。

1990 年の時点では基底部，尖頭部，中間部の分化が更に顕著となり，尖頭部の需要も大きくなっている。

従って，この時点では基底部，中間部を荷なり供給力の増加を計ることは勿論，尖頭部を賄う電源の投入も必要となる。

今後，拡大 Santa 系に投入される新規電源の開発に当っては，斯様な負荷の特性を充分検討の上，電力系統の運用面から適正な機能を有する電源の開発の仕方が要求される。

Yangas 水力発電所を 1980 年代の初期に開発するとすれば，負荷分担の上からは中間帯を荷なり発電所として開発すべきであろうが，地点の特性からは第 7 章に述べる如く，尖頭部に近い部分を賄う電源とした方が経済性が高くなる。

この検討は第 8 章の経済評価に詳細を述べる。

Fig. 4-2 Daily Load Curves of Expanded Santa Power System
(Maximum demand in 1982)

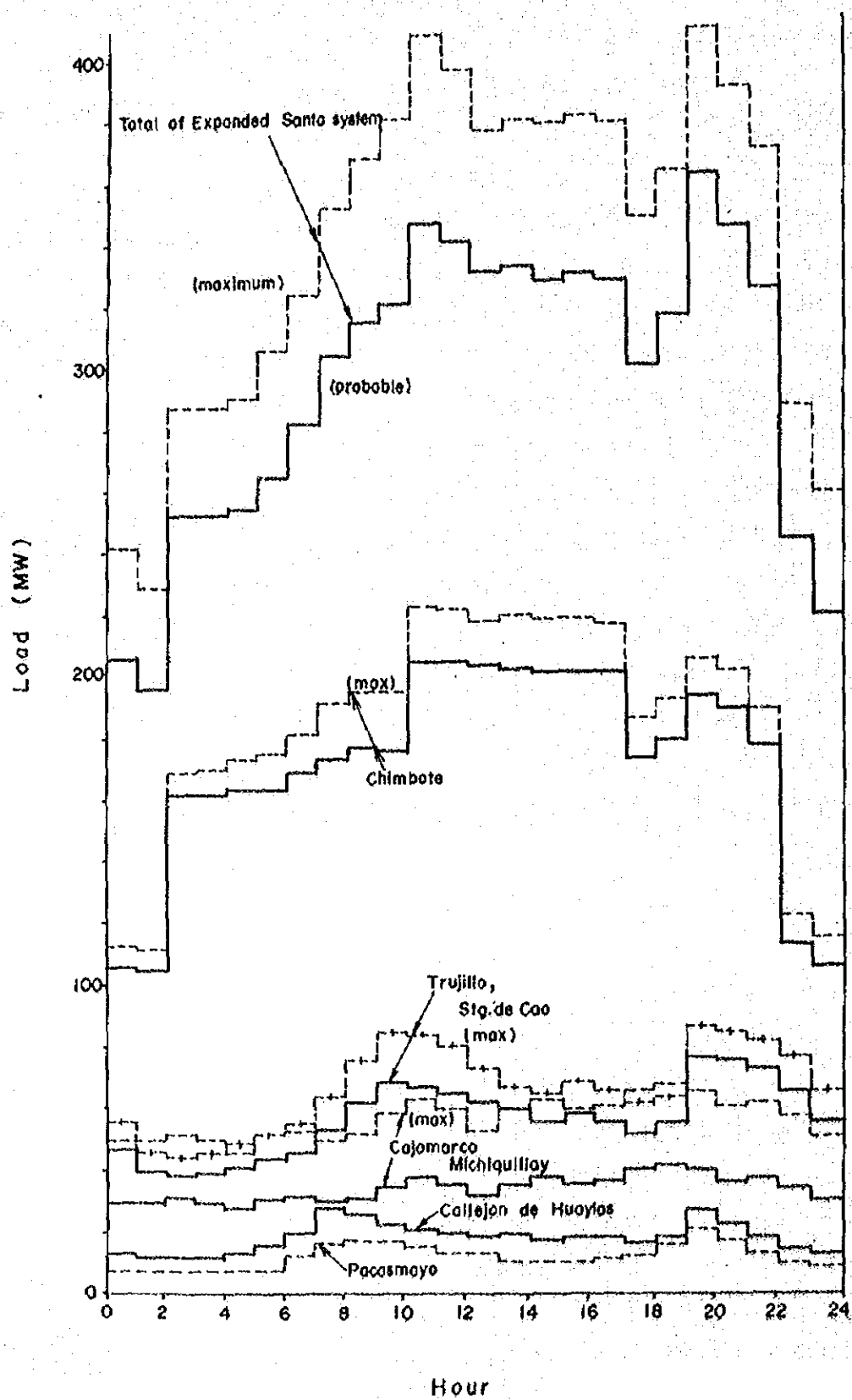


Fig. 4-1 Typical Daily Load Curves of Santa Power System (in 1973)
 (Reproduced from [1] in 1983)

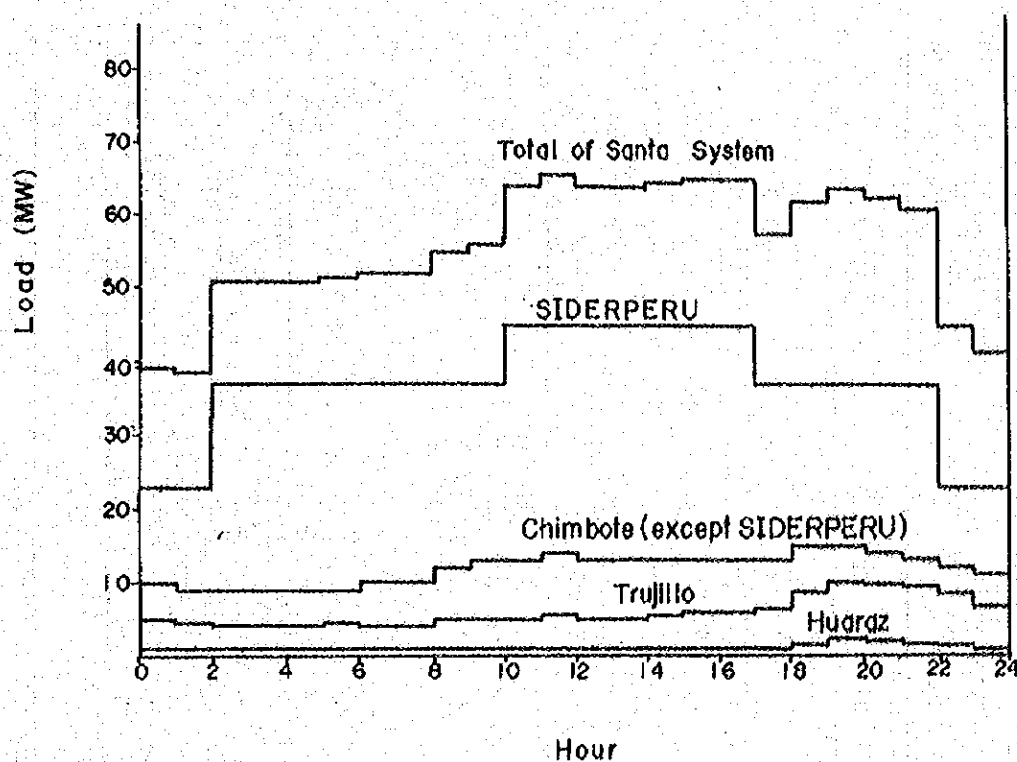


Fig. 4-3 Daily Load Curves of Chimbote Area
(Maximum demand in 1982)

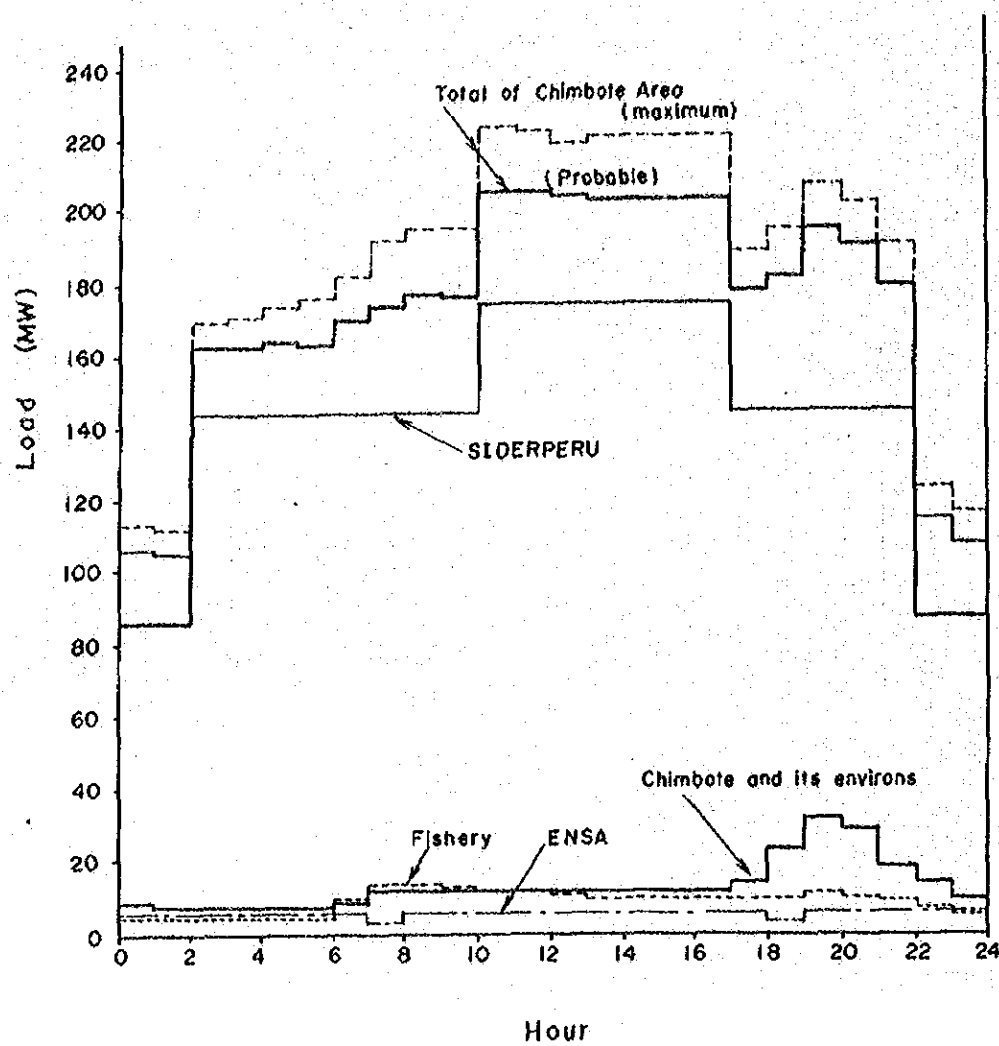


Fig. 4-4 Daily Load Curves of Callejon de Huaylas Area
(Maximum demand in 1982)

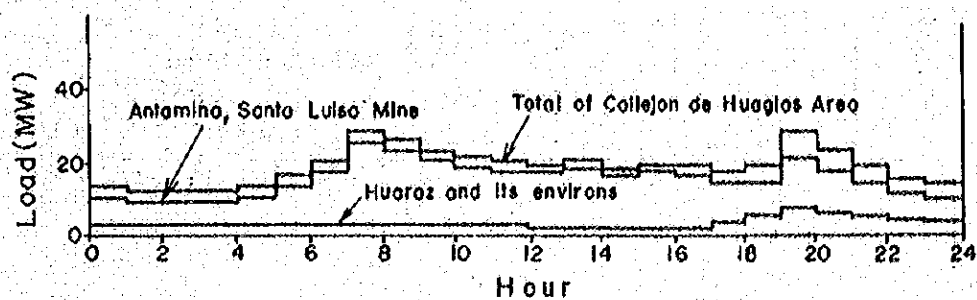


Fig. 4-5 Daily Load Curves of Trujillo and Stg. de Cao Area
(Maximum demand in 1982)

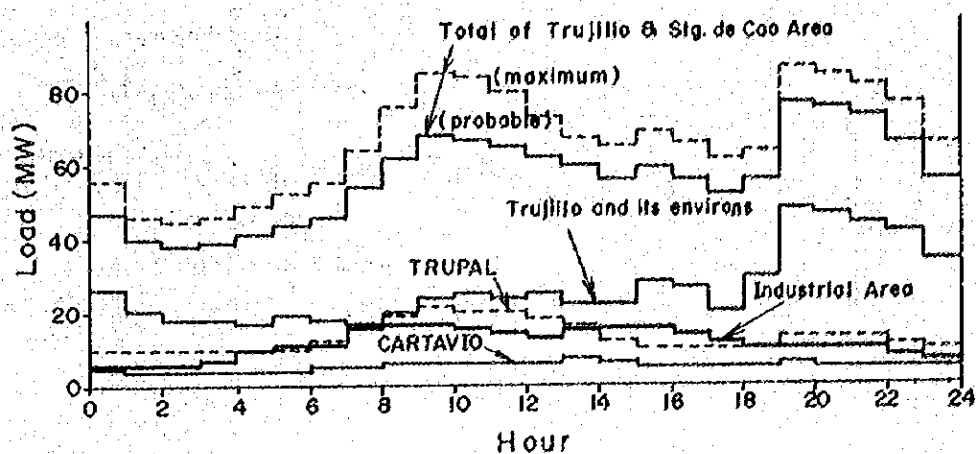


Fig. 4-6 Daily Load Curves of Pacasmayo Area
(Maximum demand in 1982)

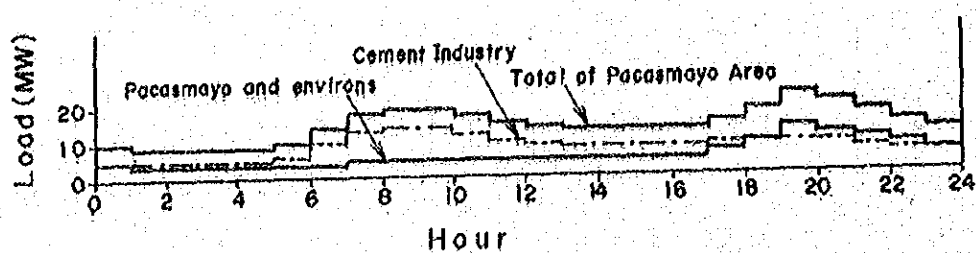


Fig. 4-7 Daily Load Curves of Cajamarca and Michiquillay Area
(Maximum demand in 1982)

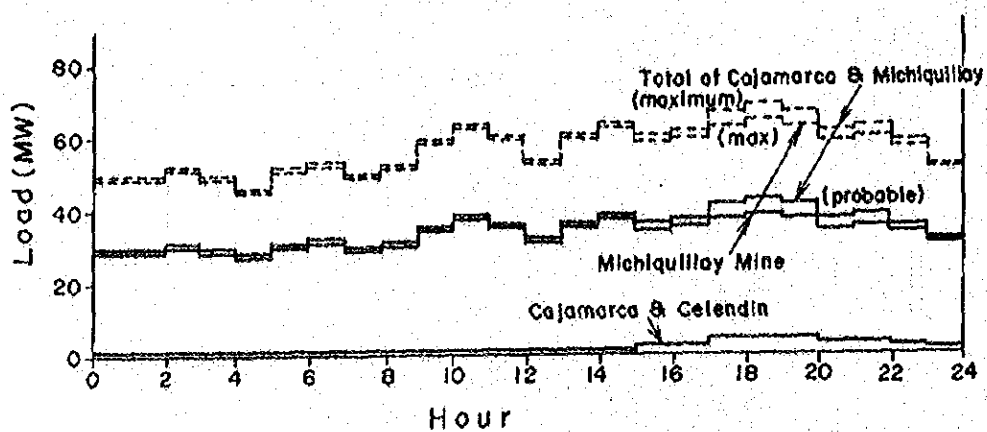


Fig. 4-8 Daily Load Curves of Santa Power System (Maximum demand)

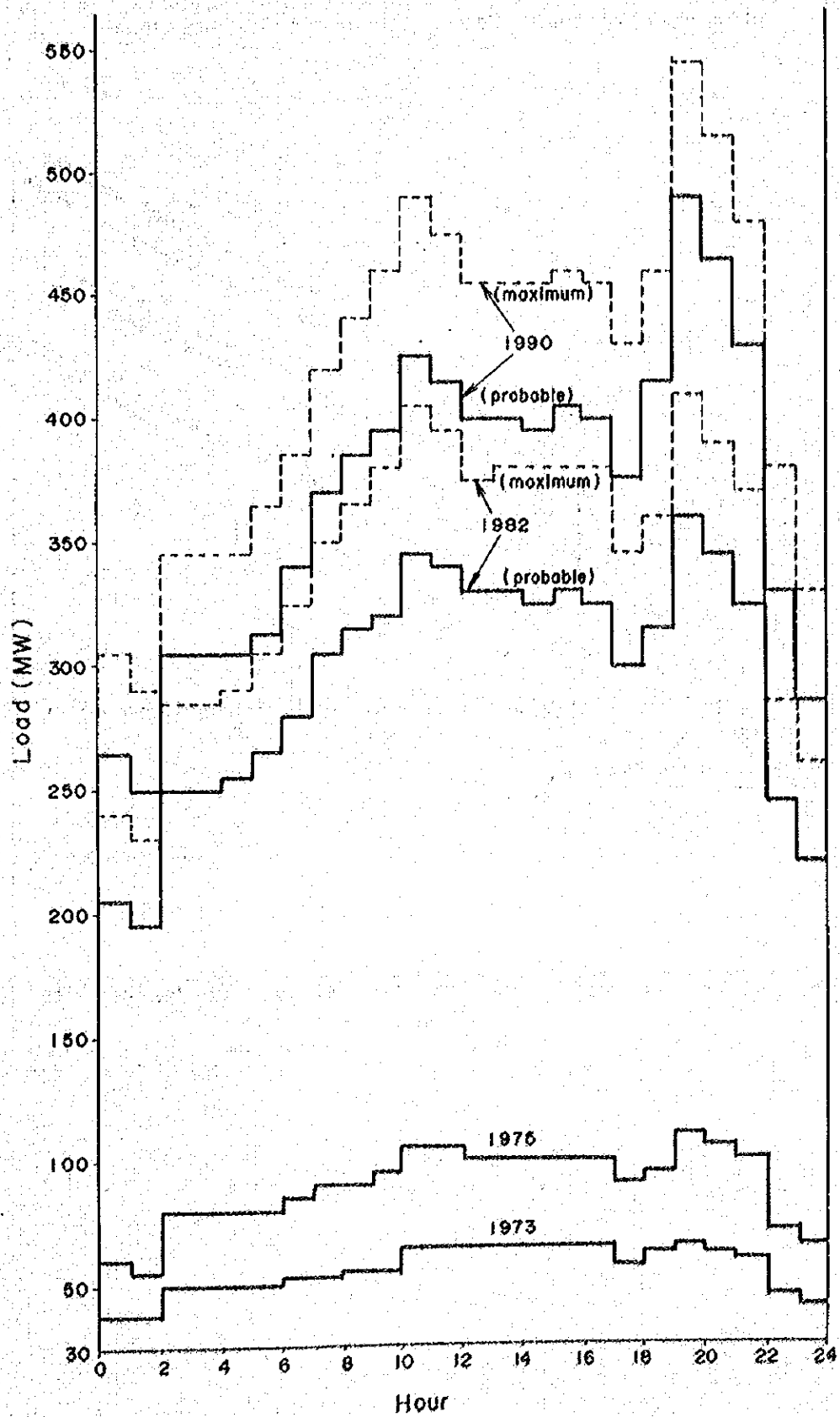


Fig. 4-9 (a) Power Demand and Required Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System

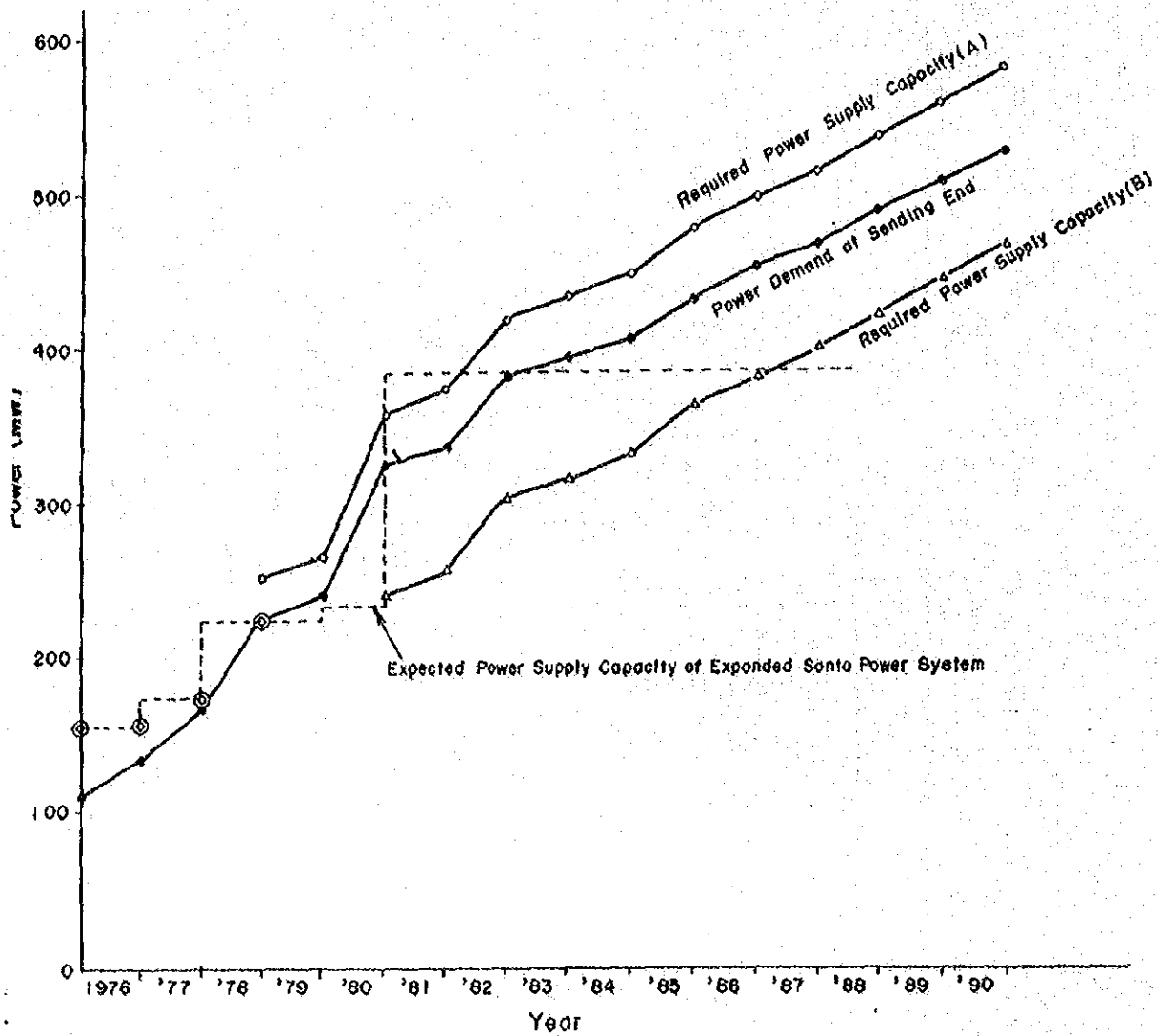


Fig. 4-9 (b) Annual Energy Demand and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System

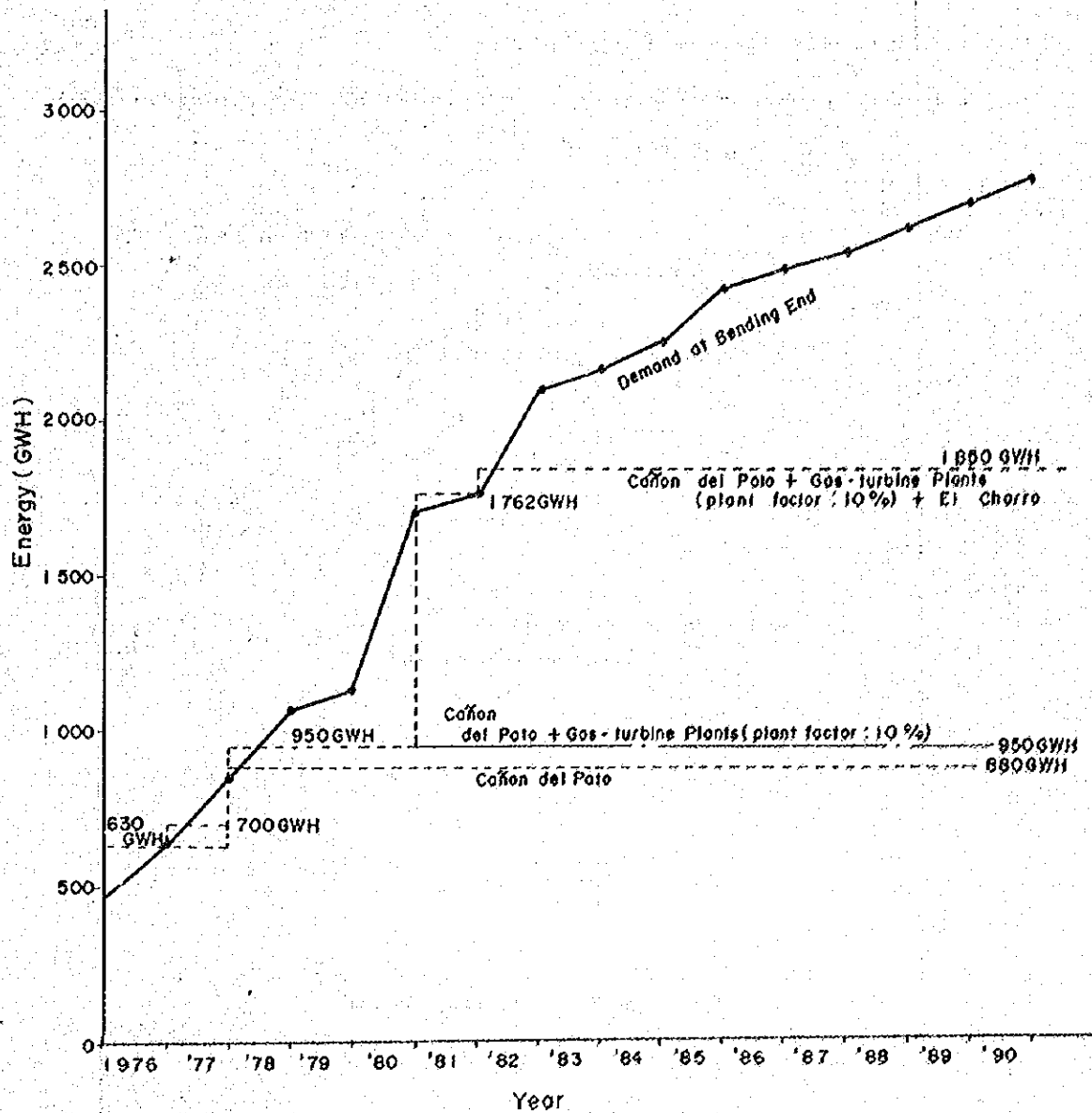


Fig. 4-10 (a) Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Maximum demand in 1982)

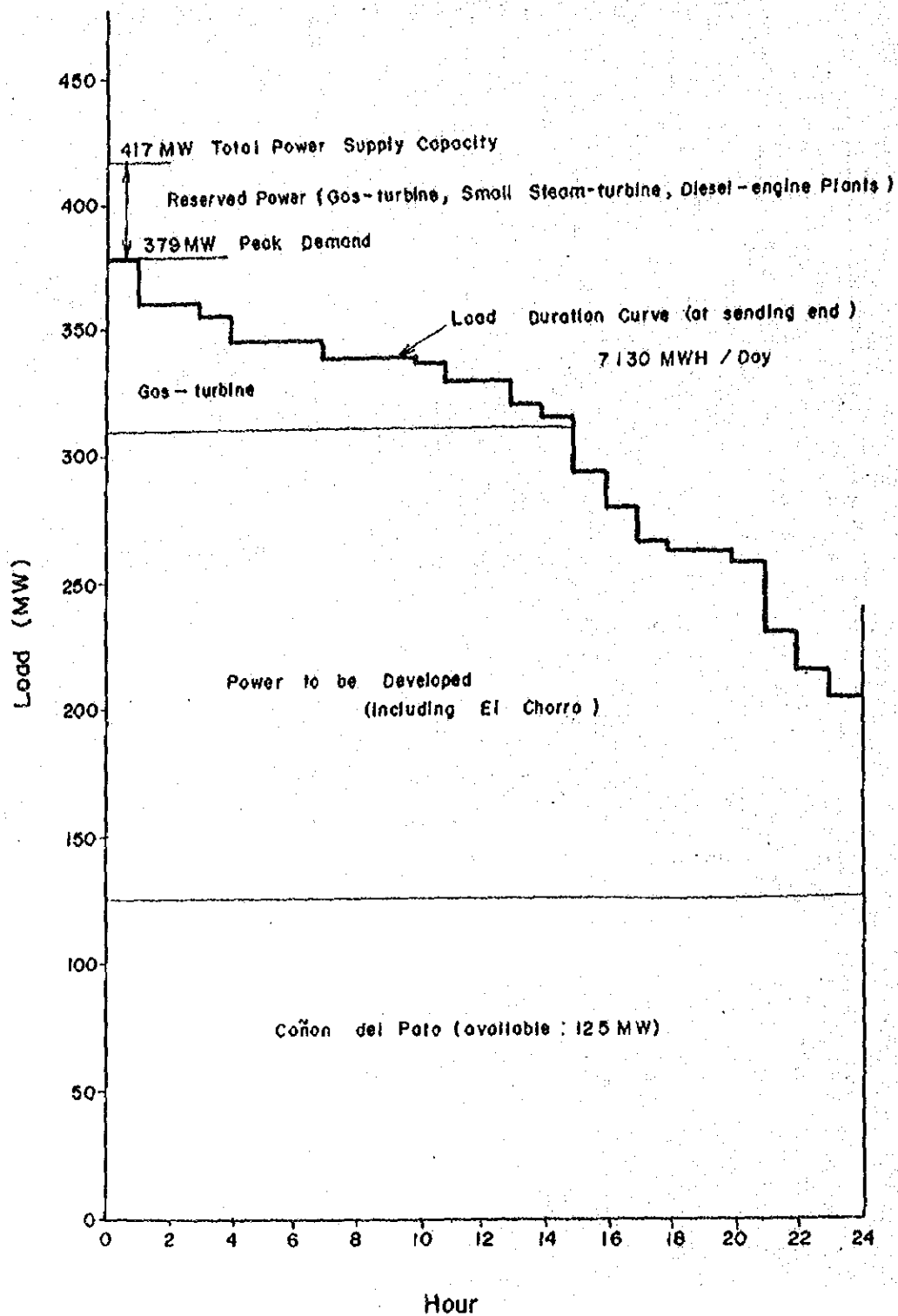


Fig. 4-10 (b) Load Duration Curve and Power Supply Capacity
of Expanded Santa Power System
(Holiday in 1982)

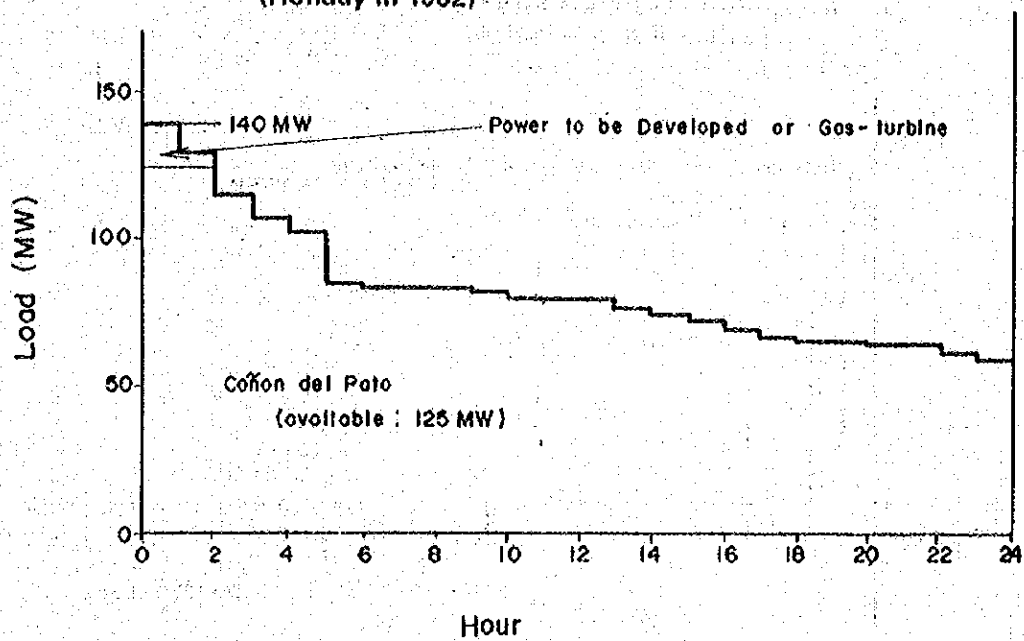
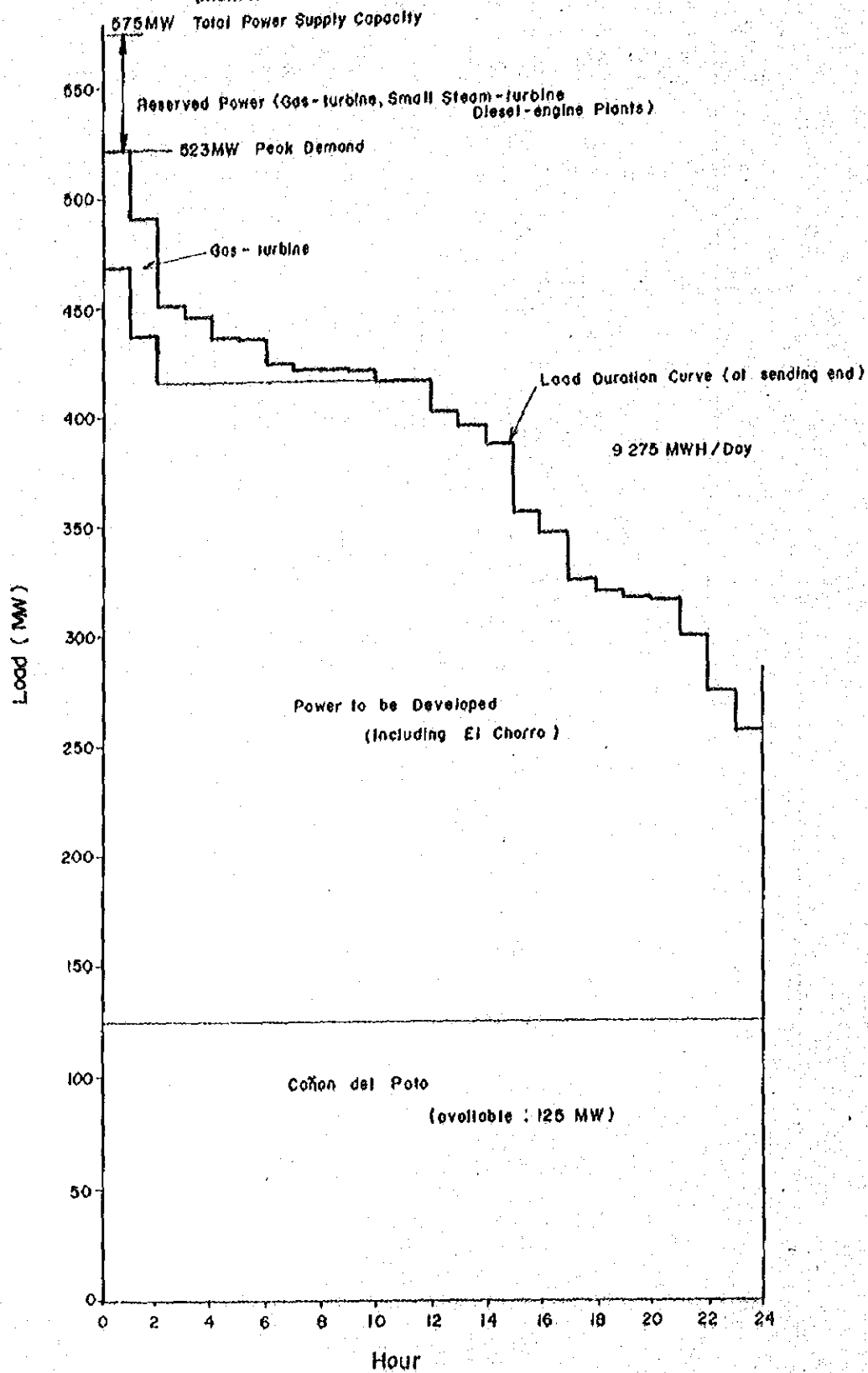


Fig. 4-11 (a) Load Duration Curve and Power Supply Capacity of Expanded Santa Power System (Maximum demand in 1990)



**Fig. 4-11 (b) Load Duration Curve and Power Supply Capacity
of Expanded Santa Power System
(Holiday in 1990)**

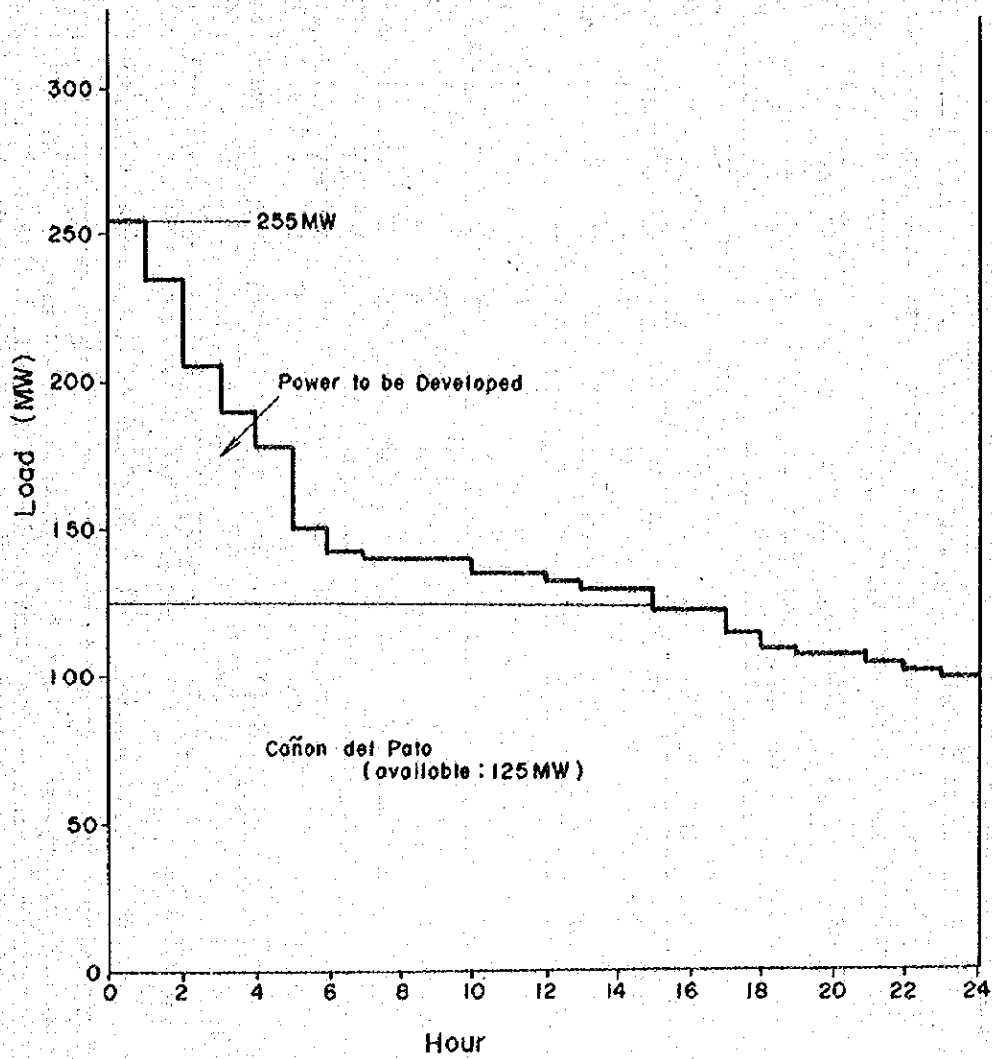


Table 4-1 Load Forecast of Northern Region (Expanded Santa Power System)
- Maximum Demand (MW) and Annual Energy Consumption (GWH)

Region	Item	1972 Actual	1973 Actual	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Chimbote	Maximum Demand	MW	48	55	91	111	112	163	166	171	172	204	211	212	219	238
	Annual Energy Consumption	GWH	188.2	241.4	369	533	542	754	785	864	898	1169	1221	1268	1307	1450
Callejon de Huaylas	Maximum Demand	MW	2.6	2.3	4	5	15	17	17	27	28	28	29	29	30	31
	Annual Energy Consumption	GWH	7.8	8.9	9	9	82	92	92	160	161	162	163	163	165	167
Trajillo	Maximum Demand	MW	10.5	14.5	20	23	47	59	67	73	79	87	91	95	102	113
	Annual Energy Consumption	GWH	40.7	48.8	78	89	255	313	350	390	412	447	462	485	516	560
Stg. de Cao	Maximum Demand	MW														
	Annual Energy Consumption	GWH														
Pacasmayo	Maximum Demand	MW														
	Annual Energy Consumption	GWH														
Cajamarca Michiquillay	Maximum Demand	MW														
	Annual Energy Consumption	GWH														
Total	Maximum Demand	MW			115	139	174	253	264	374	385	427	436	450	471	547
	Resultant Maximum Demand	MW			108	130	167	234	246	355	369	408	419	434	458	544
	Annual Energy Consumption	GWH			455	630	879	1159	1227	1945	2018	2335	2412	2490	2642	3041
	Load Factor	%			48	55	60	57	57	62.5	62	65	66	66	64.5	62

Note) The figures are reasonable and appropriate estimates of power demand and annual energy consumption in view of the present progress of industrialization program, while the figures in parenthesis are the maximum estimates in case more vigorous industrialization is materialized. The latter for the later years is almost the same as the MEM estimate.

Table 4-2 Load Forecast of Chimbote District

Load	Item	Unit	1972 Actual	1973 Actual	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Chimbote and surrounding cities	Maximum Demand	MW	24.4	21.7	10	12	15	17	20	23	27	31	35	39	43	52	69
	Annual Energy Consumption	GWH	40.9	38.4	39	46	54	64	74	86	100	115	134	149	164	198	264
Fish Mill	Maximum Demand	MW			13	13	13	14	14	14	14	14	14	15	15	15	16
	Annual Energy Consumption	GWH			27	28	28	29	29	30	31	31	35	35	36	37	38
SIDERPERU	Maximum Demand	MW	44.4	48.8	70	89	89	139	140	143	143	173	174	176	176	178	178
	Annual Energy Consumption	GWH	125.4	184.4	281	435	435	574	591	648	666	920	947	969	990	995	1014
ENSA	Maximum Demand	MW	5.3	4.2	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7
	Annual Energy Consumption	GWH	19.8	15.7	19	21	22	23	25	26	28	30	32	33	36	40	47
Other	Maximum Demand	MW	0.6	0.6	1	1	1	(16)	(16)	(20)	(20)	(20)	(20)	(22)	(22)	(22)	(22)
	Annual Energy Consumption	GWH	2.1	2.9	3	3	3	(65)	(65)	(74)	(74)	(74)	(74)	(82)	(82)	(82)	(87)
Total	Maximum Demand	MW	48	55	91	111	112	(177)	(180)	(189)	(190)	(222)	(224)	(231)	(232)	(239)	(251)
	Annual Energy Consumption	GWH	188.2	241.4	369	533	542	(754)	(785)	(864)	(898)	(1169)	(1221)	(1268)	(1307)	(1352)	(1450)
Load Factor		%	45	50	46	55	55	(49)	(50)	(52)	(54)	(60)	(62)	(63)	(64)	(65)	(66)
							49	50	50	53	55	61	64	64	66	66	66

Note) Same as Table 4-1.

Table 4-3 Load Forecast of Callejon de Huaylas

Load	Item	Unit	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Huaylas and surrounding cities	Maximum Demand	MW	2.6	2.3	3	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	10
	Annual Energy Consumption	GWH	7.8	8.9	9	9	9	10	10	11	12	13	13	14	14	16	18
Antamina and Santa Luisa Mines	Maximum Demand	MW					12	14	14	25	25	25	25	25	25	25	25
	Annual Energy Consumption	GWH					73	82	82	149	149	149	149	149	149	149	149
Total	Maximum Demand	MW	2.6	2.3	3	4	15	17	17	27	27	28	28	29	29	30	31
	Annual Energy Consumption	GWH	7.8	8.9	9	9	82	92	92	160	161	162	162	163	163	165	167
	Load Factor	%	3.4	4.4	34	26	62	62	62	68	68	66	66	64	64	63	61

Table 4-4 Load Forecast of Trujillo and Stg. de Cao District

Load	Item	Unit	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Trujillo and surrounding cities	Maximum Demand	MW	10.5	14.5	20	23	26	30	34	38	43	48	51	55	60	71	92
	Annual Energy Consumption	GWH	40.7	48.8	78	89	102	116	131	148	168	189	199	216	235	279	360
Trujillo Industrial Area	Maximum Demand	MW					11	14	14	14	14	17	17	17	20	20	25
	Annual Energy Consumption	GWH					32	41	41	41	41	49	49	49	60	60	80
Stg. de Cao Paper Factory (TRUFAL)	Maximum Demand	MW					(27)	(30)	(32)	(35)	(37)	(38)	(39)	(40)	(40)	(40)	(40)
	Annual Energy Consumption	GWH					15	18	18	19	20	21	22	23	23	23	23
Stg. de Cao Paper Factory (CARTAVIO)	Maximum Demand	MW					(122)	(133)	(144)	(156)	(167)	(171)	(175)	(180)	(181)	(181)	(181)
	Annual Energy Consumption	GWH					73	77	81	86	90	94	98	103	104	104	104
Total	Maximum Demand	MW					6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8
	Annual Energy Consumption	GWH					31	32	34	35	36	38	39	40	40	40	40
Total	Maximum Demand	MW			20	23	(47)	(59)	(67)	(73)	(79)	(87)	(91)	(95)	(102)	(113)	(137)
	Annual Energy Consumption	GWH			78	89	(255)	(313)	(350)	(380)	(412)	(447)	(462)	(485)	(516)	(560)	(661)
Total	Maximum Demand	MW			20	23	41	52	59	64	69	77	81	85	92	103	129
	Annual Energy Consumption	GWH			78	89	206	257	287	310	335	370	385	408	439	483	584
Total	Maximum Demand	MW			45	44	(62)	(61)	(60)	(59)	(60)	(59)	(58)	(58)	(58)	(57)	(54)
	Annual Energy Consumption	GWH			45	44	57	56	56	55	55	55	54	55	54	54	52

Note) Same as Table 4-1.

Table 4-5 Load Forecast of Pacasmayo District

Load	Item	Unit	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Pacasmayo and surrounding cities	Maximum Demand	MW			2	2	6	7	8	9	11	13	14	16	18	28	29
	Annual Energy Consumption	GWH			7	11	25	30	35	40	45	52	58	65	70	80	95
Pacasmayo Cement Factory	Maximum Demand	MW			7	7	7	8	10	12	13	14	15	15	15	15	15
	Annual Energy Consumption	GWH			30	30	30	39	44	47	48	50	53	53	53	53	53
Total	Maximum Demand	MW	8	8.8	7	9	11	12	15	17	20	22	24	26	28	32	39
	Annual Energy Consumption	GWH			37	41	55	69	79	87	93	102	111	118	123	133	148
	Load Factor	%			47	52	57	66	60	58	53	53	53	52	50	47	43

Table 4-6 Load Forecast of Cajamarca and Michiquillay Mines

Load	Item	Unit	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Cajamarca Celendin	Maximum Demand	MW	1.3	1.7	2.4	2.7	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	7
	Annual Energy Consumption	GWH	4.6	5.1	7	8	9	10	11	13	13	14	15	15	17	18	21
Michiquillay Mines	Maximum Demand	MW								(64)	(64)	(64)	(64)	(64)	(75)	(75)	(80)
	Annual Energy Consumption	GWH								(441)	(441)	(441)	(441)	(441)	(516)	(516)	(594)
Total	Maximum Demand	MW	1.3	1.7	2.4	2.7	3	3	3	42	42	42	43	43	55	56	57
	Annual Energy Consumption	GWH	4.6	5.1	7	8	9	10	11	(454)	(454)	(455)	(456)	(456)	(533)	(534)	(615)
	Load Factor	%	40	34	33	34	34	38	42	79	79	79	79	78	80	80	79

Note) Same as Table 4-1

Table 4-7 Load Forecast of Chiclayo District

Load	Item	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Chiclayo and surrounding cities	Maximum Demand	MW	9.4	12	14	15	16	18	20	23	25	28	31	35	41	51
	Annual Energy Consumption	GWH		59	66	73	79	86	93	102	110	120	132	140	170	200
	Load Factor	%		56	54	56	56	55	53	51	50	49	49	47	47	45

Table 4-8 Demand and Supply Balance of Expanded Santa Power System

Item	Year	1972 (Actual)	1973 (Actual)	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Supply Capability		155	155	155	155	173	223	223	232	382	382	382	382	382	382	382
Cañon del Pato		75	75	75	75	75	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Chimbote Gas Turbine		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Trujillo Gas Turbine		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Sig. de Cao Thermal (TRUPAL)		(12.5)	(12.5)	(12.5)	(12.5)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Sig. de Cao Thermal (Cartavio)		(6.2)	(6.2)	(6.2)	(6.2)	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Pacasmayo Diesel		(8.6)	(8.6)	(8.6)	(8.6)	(8.6)	(8.6)	(8.6)	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
El Chorro									150	150	150	150	150	150	150	150
Power Demand (Demand End)		54	71	108	130	(167)	(234)	(246)	(355)	(369)	(408)	(419)	(434)	(458)	(486)	(544)
						161	218	229	309	322	361	372	386	411	439	492
Chimbote		48	55	91	111	112	(177)	(180)	(189)	(190)	(222)	(224)	(231)	(232)	(239)	(251)
						163	166	171	172	172	204	206	211	212	219	228
Callejon de Huaylas		2.6	2.3	4	5	15	17	17	27	28	28	28	29	29	30	31
		*	*	*	*	(47)	(59)	(67)	(73)	(79)	(87)	(91)	(95)	(102)	(113)	(139)
Trujillo, Sig. de Cao		10.5	14.5	20	23	41	52	59	64	69	77	81	85	92	103	129
Pacasmayo									17	20	22	24	26	28	32	39
Cajamarca, Michiquillay									(68)	(68)	(68)	(69)	(69)	(80)	(81)	(87)
									42	42	42	43	43	55	56	57
Transmission Loss				3	4	(5)	(10)	(11)	(20)	(20)	(24)	(24)	(26)	(30)	(33)	(41)
						5	8	9	14	15	18	18	19	21	25	31
Power Demand (Sending End)				111	134	(172)	(244)	(257)	(375)	(389)	(432)	(443)	(460)	(488)	(519)	(585)
						166	226	238	323	337	379	390	405	432	464	523
Surplus Supply Capability				44	21	(1)	(-21)	(-34)	(-143)	(-7)	(-50)	(-61)	(-78)	(106)	(-137)	(-203)
						7	-3	-15	-91	45	3	-8	-23	-50	-82	-141

* For Trujillo only

**Table 4-3 Power Demand and Annual Energy at Sending-End
of Expanded Santa Power System**

Item	Unit	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1990
Maximum Demand (Demand End)	MW	108	130	(167) 161	(234) 218	(246) 229	(355) 309	(369) 322	(408) 361	(419) 372	(434) 386	(458) 411	(486) 439	(544) 492
Transmission Loss	MW	3	4	(5) 5	(10) 8	(11) 9	(20) 14	(20) 15	(24) 18	(24) 18	(26) 19	(30) 21	(33) 25	(41) 31
Power Demand at Sending End	MW	111	134	(172) 166	(244) 226	(257) 238	(375) 323	(389) 337	(432) 379	(443) 390	(460) 405	(488) 432	(519) 464	(585) 523
Load Factor	%	48	55	(60) 59	(57) 55	(57) 55	(62.5) 60.5	(62) 60	(65) 64	(66) 64	(65) 64	(66) 65	(64.5) 64.5	(64) 62
Loss Coefficient	-	0.31	0.38	(0.43) 0.42	(0.40) 0.38	(0.40) 0.38	(0.47) 0.45	(0.45) 0.43	(0.49) 0.48	(0.50) 0.48	(0.49) 0.48	(0.50) 0.49	(0.49) 0.49	(0.48) 0.45
Annual Energy Consumption (Demand-End)	GWH	455	630	(879) 830	(1159) 1040	(1227) 1101	(1945) 1639	(2018) 1705	(2335) 2022	(2412) 2099	(2490) 2177	(2642) 2343	(2744) 2445	(3041) 2664
Annual Energy Loss	GWH	8	13	(19) 18	(35) 27	(39) 30	(82) 55	(79) 57	(103) 76	(105) 76	(112) 80	(131) 90	(142) 107	(172) 122
Annual Energy at Sending-End	GWH	463	643	(898) 848	(1194) 1067	(1266) 1131	(2027) 1694	(2097) 1762	(2438) 2098	(2517) 2175	(2602) 2257	(2773) 2433	(2886) 2552	(3213) 2786

Note) Same as Table 4-1.

第 5 章 地 質

5-1	計画地区の地形・地質概要	47
5-1-1	概 概	47
5-1-2	地 形	47
5-1-3	地 質	48
5-2	計画ダム地点の地形・地質	48
5-2-1	地 形	49
5-2-2	地 質	49
5-2-3	貯水池内の地質及び耐水性	49
5-2-4	計画ダム地点の土木地質的見解	50
5-2-5	付属構造物地点の地質	50
5-3	比較ダム地点の地形・地質	51
5-3-1	62号ダム地点	51
5-3-2	63号ダム地点	52
5-3-3	比較ダム地点の土木地質的見解	52

圖目録

Fig. 5. 1 Geologic Map

第 5 章 地 質

5・1 計画地域の地形、地質概要

5・1・1 一 般

Peru 国の地勢は、国土のほとんどの中央部を東南～北西方向に縦断する、標高 4,000 m 以上の広くて高い Andes 山脈により強く影響を受けている。この山脈は 3 連の山岳地帯から構成され、太平洋側から大西洋側に向って、西部山脈、東部山脈および Sub-Andes 山脈と呼称されている。この骨格となる Andes 山脈を含めて地形を更に詳細に区分すると 8 つの区域に分けられる。すなわち、太平洋側より沿岸山脈、沿岸低地帯、西部山脈、内陸峡谷部、Titiaca 盆地、東部山脈、Sub-Andes および Amazon 低地帯である。

Peru 国の地形が、東南～北西方向の優勢な構造山脈 (Andes 山脈) に支配されていることに起因して、河川は特徴ある 3 つのグループに分けられる。すなわち、沿岸山脈西斜面に水源を持ち太平洋側に流入する流路長は短い、河川勾配の急な河川群、東南～北西方向に延びる山脈間の裾野を侵食し、北方向または南方向へ流れた後 Amazon 河に流入する深い侵食河川群、および Sub-Andes 山脈東部斜面に水源を持ち、広大な流域面積、緩かな河川勾配と長い流路を持つ Amazon 低地地域の河川群である。

Yangas 計画地域は当国の主都 Lima の北方約 600 Km の距離にあり、上述の地形区分では西部山脈区域に属する。計画地域の概略の緯度、経度は南緯 $6^{\circ}50'$ 、西経 $78^{\circ}10'$ である。

5・1・2 地 形

流長約 50 Km、流域面積 1,250 sq. Km を持つ Yangas 川は、標高約 4,000 m の西部山脈に水源を発し、同山脈東側斜面を屈曲しながら北北東に流下し、Amazon 河支流の Marañon 河に流入する。この川は Llaucano 川、Crisnejas 川などと共に、Marañon 河の大支流の 1 つで、雨期にはかなりの荒れ河となっている。

Yangas 川の水源付近の地形は、起伏の非常にゆるやかな準平原を形成している。この丘陵地域には、直径数 10 m ～数 Km にわたる多数のシンクホールが認められる。 $\frac{1}{100,000}$ 地形図上では、これらのシンクホールはいくつかの帯状分布を示し、そのベルト・ゾーンの配列は Andes 山脈の延長方向、即ち東南～北西方向を示している。

Yangas 川およびこれに流入する各支流の河谷は、全般に V 字型谷を示し、兩岸の山腹斜面は急峻な所が多く、地形学的には侵食作用の最も激しい壮年期地形を呈している。河床部には数段の段丘が形成され、そのうち規模の大きいものでは一段の高さが 40 ～ 50 m もある。また、流域内の山腹低所には大規模な地滑り地形が多数見られる。

5・1・3 地 質

Peru 国の地質は、地質時代的に先カンブリア紀～第三紀の堆積岩、火成岩および変成岩と、これをおよぐ第四紀の堆積物よりなり、これらは地質構造上、海岸带状地域、Andes 地域および Sub-Andes 地域の3つの地質構造区に分けられる。

Yangas 計画地域は上記のうち、主として中生代の岩石より構成される Andes 地域 (Andes Geotectonic Region) に位置する。この地域に分布する岩石は、岩質的には砂岩、粘板岩および石灰岩などの堆積岩が主で、これらのうち、石灰岩の分布が最も広い。

Andes 一帯に分布するこれらの堆積岩類は、一般に著しく褶曲し、かつ、断層が発達しており、これらの地質構造は東南～北西の方向性を示す。しかし Andes 地域西部に位置する計画地域の地質構造は Andes 東部に比べると、比較的単調である。

すなわち、この地域の地質的な特徴としては、非常に厚い堆積岩（石灰岩および砂屑岩）が広く分布し、火成岩の分布が非常に少ないこと、それら堆積岩は東南～北西性の地質構造に支配され比較的規則正しく配列し、構成される地質が地形を大きく規制していることなどが挙げられる。

又、分布する地層は中生代白亜紀に属し、大部分は石灰岩、砂質～泥質石灰岩より構成され、所々に石英質の粗粒～細粒砂岩および粘板岩を挟在している。このうち、局部的に分布する砂岩および粘板岩を除いた広範囲に分布する石灰質岩石は、岩質的にカルスト侵食を受け易く、写真判読 (Photogeological Interpretation) によると山頂部には数多くのドリネが形成されている。他方、今回の調査において、Yangas 川沿いの各所において直径数 10 cm～数 m の溶解洞が見出され、そのうち数ヶ所では cave からの湧水が認められた。また、周囲の山体を刻むほとんどの支谷は、雨期にもかかわらず水は流れておらず、付近の地盤は一般に、非常に乾燥した様相を示している。

5・2 計画ダム地点の地形、地質

計画ダム地点は、野崎技師および MOTILMA によってとりあげられていた A63 地点であったが、調査団が調査した結果、Fig 7-2 に示す如く、地形的にも必ずしも好ましいダム地点ではなかった為、止むなく上流の A61、A62 地点迄調査の範囲を広げざるを得なかった。これらの地点は上流より A61、A62 および A63 候補地点と呼ばれているが、簡単な経済比較検討を行った結果、A61 地点を計画ダム地点とした。

A62 および A63 の比較ダム地点の地形、地質については比較ダム地点として次章でふれるが、この項では、A61 計画地点の地形、地質について述べる。

5・2・1 地 形

この地点付近では、Yangas 川はほぼ直線的に流下している。ダム地点では流路の幅は約 40 m で、兩岸の山体がせまるがその上下流は谷幅が急に広がり、兩岸には、はんらん原が幅広く分布している。ダム地点は他の地点と異なり、段丘はなく、ダム軸における山体は兩岸共、山腹傾斜が $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ で、比高約 100 m の絶壁を形成し、河谷の形状は左右対称な U 字谷を呈している。ダム取付部の山体は沢が少なく、河流と平行して絶壁が連続しているが、ダム地点の約 200 m 下流では兩岸に大きな沢が流入してくる。

5・2・2 地 質

- (1) 表層堆積物：地形の項で記したように、山体は兩岸共絶壁をなし、広く堅硬な岩盤が露出しており、尾根部に極く僅かの土被りを見るだけである。河床砂礫はダム軸においては、兩岸の山体が相せまる河谷を埋めているので堆積量はあまり多くないと思われる。
- (2) 基礎岩盤：分布する岩石は石灰岩である。岩盤には 1～2 m 間隔で層理が発達し、その走向・傾斜は $N 30^{\circ} W$ 、 $20^{\circ} \sim 50^{\circ} NE$ である。すなわち、地層の走向は河流と約 60° で交叉し、下流側へ傾斜している。石灰岩は茶灰色～灰黒色を呈し、岩質的にはやや泥質な石灰岩で、他種岩石の挟みはない。

岩盤には層理および節理などの亀裂は多いが、ダム地点で観察した限りそれらの地層の分離面は密着し、岩盤からの湧水あるいは溶解洞などカルスト侵食を受けた形跡は見受けられない。また、特に顕著な断層あるいは破碎帯も認められない。

5・2・3 貯水池内の地質および耐水性

貯水池を構成する岩石は石灰岩、砂岩、粘板岩およびその互層よりなっている。このうち、石灰岩は、河床部ではダム地点から約 2 km 上流までの区間、それより上流には砂岩、粘板岩およびその互層が分布しており、貯水池区域の石灰岩帯と他の砕屑岩帯の占める割合はほぼ等しい。それらの走向・傾斜は一定しないが、一般的傾向として $N 20^{\circ} \sim 30^{\circ} W$ 、 $50^{\circ} \sim 60^{\circ} NE$ を示し、その走向は河流と $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ で交叉し、下流側へ傾斜している。

石灰岩の岩質は“5・2・2 地質”で記したように、やや泥質なものが多く、他種岩質の挟みの少ない均質な岩盤である。砂岩は白色を呈し堅硬、緻密な中粒の石英質砂岩である。粘板岩は灰～灰黒色を呈し、細粒・緻密で層理の発達する比較的堅硬な岩石である。

貯水池の耐水性については“5・1・3 地質”で記したように、石灰岩は一般にカルスト侵食を受け易く、石灰岩分布地域にはドリーネ、地下トンネルなどによって特徴づけられるカルスト地形が発達していることが少くない。この地点においてもその例外ではなく、Photogeological Interpretation によると、貯水池地域外ではあるがこの山体を構成する岩石は、貯水池内に分布する石灰岩と同一層準の山体には数多くのドリーネが形成され、また、湧水

地点と思われる個所が数多く認められる。このことから、貯水池内の石灰岩の分布する山体にはかなりの溶解洞の存在が充分予測しうるし、貯水池の耐水性については今後慎重なる調査・検討を要する。しかし、貯水池内の Yangas 川には、雨期・乾期の水量に差はあるものの常時流水がある。この現象は少なくとも貯水池内における河床岩盤レベルにおいては、年間を通じて地下水が存在することを示している。従って、問題は、現状では仮に貯水池内の地炭水、地下水はすべて Yangas 川に流入しているとしても、現在の地下水面と貯水池の満水位との間、すなわち、地下水面以高の岩盤に他流域へあるいはダム地点の下流へ連続する空洞 (cave) がある場合、貯水による水圧の増加に伴ない空洞を埋めていた充填物質が流失し、新たに漏水経路が形成される可能性もありうる。これらの問題を解決するための調査は、多額の費用、多くの労力と長い時間を必要とするが最も重要な課題である。

5・2・4 計画ダム地点の土木地質的見解

この地点は地形条件よりはむしろ地質条件に問題がある。地形的には河川が直線的に流下し、谷幅は他の2つの地点に比較して最も狭く、また、ダム取付部の山体には沢が少なく、河道に沿って絶壁が連続し、ダム建設にはむしろ好条件を有している。地質的には、崖錐堆積物および河床砂礫などの表層堆積物は少なく、基礎岩盤を構成する石灰岩は、岩盤からの湧水あるいは空洞などカルスト侵食を強く受けた形跡は見当らない。しかし、“5・2・3 貯水池内の地質および耐水性”で記したように、ダム地点から貯水区域のかなりの範囲に亘り分布する石灰岩は、水密性の保証という点で非常に大きな問題を持っている。現に、世界各地で石灰岩地帯に造られた貯水池は多数あるが、調査の結果、ダムおよび貯水池基礎の水密性が保証されないために着工に至らなかった例も多い。また、ダム完成後、大量の漏水が発生したため貯水機能が低下し、所期の目的を達し得ないものやその処理に巨額の費用を要したものもある。

この地点の地質状態から考えて、カルストに起因するダムおよび貯水池基礎からの漏水の可能性が考えられるので、その水密性について充分な調査・検討がなされなければならない。

5・2・5 付属構造物地点の地質

今回の現地踏査では、ダム地点および貯水池の地形・地質を調査することに主眼を置いた。したがって、水路および発電所地点の地質については、今回実施した航空写真判読の結果に基づき、その地質概要を記す。

水路経過地点に分布する地質は、中生代の石灰岩および非石灰質岩石（珪岩、砂岩および粘板岩とその互層）と古生代の片麻岩からなり、このうち、大部分の区間は石灰岩からなっている。

石灰岩分布区域においては、ダム地点および貯水区域の項で記述したと同様、溶解洞の存

在が重要な問題になる。したがって、水路経過地域内の溶解洞の存在の頻度、規模、状態および湧水の発生について充分調査する必要がある。溶解洞の問題を除外した他の地質的問題点、例えば、トンネル周辺岩盤の強度・風化および破砕帯などについては、ダム地点の地質からすると、計画を左右する程の大きな問題はないように思われる。非石灰質岩盤区域の地質は、トンネル掘削に支障となる地質的問題は現段階では特に見当らない。

発電所地点としては4地点が比較検討されたが、そのうち第Ⅱ案以外は、非石灰質岩盤区域に予定され、また、発電所の型式としては第Ⅳ案以外は地上式で計画されている。地上式発電所の場合、分布する岩盤は発電所の基礎としては特に問題はないが、地下式発電所の場合はそれに相応した充分な調査が必要となる。特に全体計画上、発電所が石灰岩地域内に位置した場合はダム地点同様、溶解洞の存在が大きな問題になるので、発電所においても入念な調査が必要であることはいうまでもない。

5・3 比較ダム地点の地形・地質

5・3・1 ㊦2ダム地点

この地点は計画ダム地点(㊦1ダム地点)の約2.5Km下流に位置する。この付近のYangas川はほぼ直線的に流下している。ダム軸における流路の幅は約50mで、河岸には平均高さ約10mの段丘が存在し、段丘の幅は左岸で約10m、右岸では約50mある。ダム軸における左岸の傾斜は約35°、右岸では河床から比高約50mまでは斜面傾斜約60°、それ以高は傾斜約35°の斜面を形成している。従って、谷の形状は兩岸非対称のV字谷を呈している。

貯水池区域の地形は、谷幅はダム地点のすぐ上流から広くなり、兩岸からは大きな沢が流入する他、河岸には氾濫原、段丘および扇状地が形成されている。また、ダム地点の左岸上流には大規模な地滑り地形が認められる。

(1) 表層堆積物 ; ダム地点の山腹斜面は兩岸とも全面に堅硬な岩盤が露出し、土被りはほとんど認められない。河床砂礫は、ダム地点では兩岸がせまり、河川の急流部に位置しているため比較的少ないと推測される。しかし、地形の項で記したように幅の広い河岸段丘が分布しており、その堆積物の厚さは10m以上ある。

(2) 基礎岩盤 ; 岩盤は石灰岩で構成される。この地点の石灰岩は灰～灰黒色を呈し、一般に泥質岩が多く、層理および節理などの亀裂が発達している。地層の走向、傾斜はN 20°～30°W、50°～60°SWを示し、その走向は河流とほぼ直交し上流側へ傾斜する。この地点で重要な地質現象は、岩盤からの湧水がダム軸およびその近傍に存在し、また、岩盤に発達する層理・節理および亀裂に沿って溶解が認められることである。このことは、地山深部に溶解洞の存在が推測され、基礎の耐水性に関する問題を提起する。顕著な湧水ヶ所

としてはダム軸右岸山腹低所の岩盤部（湧水量約 $1 \text{ }^{10^9} \text{ m}^3/\text{min}$ ）、右岸の段丘部（湧水量約 $500 \text{ }^{10^9} \text{ m}^3/\text{min}$ ）ダム軸下流約 200 m の急崖の中腹部（湧水量約 $3 \text{ }^{10^9} \text{ m}^3/\text{min}$ ）が認められる。

5・3・2 ㈬3ダム地点

この地点は計画ダム地点の約 5 Km 下流に位置する。このダム地点は、右岸の Grande 川と左岸の Catalina 谷が Yangas 川と合流する合流点の直上流に位置している。

㈬2 地点からほぼ直線的に流下して来た Yangas 川は㈬3 地点の直上流で大きく屈曲して、流路を東西方向に変える。ダム軸における川幅は約 100 m で、左岸には高さ 40～50 m の幅広い段丘が存在する。兩岸の斜面傾斜は約 60° で、谷の形状は幅の広い兩岸対称な U 字型を示している。貯水区域の谷幅はダム地点直上流の支流との合流点より上流域では広くなり、河岸には幅広い段丘が形成されている。また、ダム地点の直上流に兩岸から流入する支流沿いには、連続的な地滑り地形が分布している。

(1) 表層堆積物：㈬2ダム地点同様、兩岸山腹斜面には全面に岩盤が露出し、土被りはほとんどない。河流部における河床砂礫の厚さは 10 m 以上であり、兩岸に幅広く分布する河岸段丘、堆積物の厚さは約 40 m である。従ってダム軸における砂礫層の厚さは、現河床砂礫と段丘砂礫を合せて 50 m 以上となる。

(2) 基礎岩盤：分布する岩盤は石灰岩である。岩質および亀裂の発達程度も㈬2ダム地点の石灰岩と大差ない。地層の走向・傾斜は $N 20^\circ \sim 30^\circ W$ $60^\circ \sim 70^\circ SW$ でその走向は河流と約 50° で交叉し、上流側へ傾斜している。地山からの湧水はダム軸上流約 250 m の右岸（湧水量約 $2 \text{ }^{10^9} \text{ m}^3/\text{min}$ ）で 1ヶ所認められ、基礎の耐水性については㈬2ダム地点と同様の問題がある。また、この地点のダム基礎の問題点としては、右岸山体がやせた尾根で、かつ急峻であることから地山のゆるみがかかなり深部までおよんでいると、推測されることが挙げられる。

5・3・3 比較ダム地点の土木地質的見解

(1) ㈬2ダム地点

この地点はダム地点として、地形条件よりむしろ地質条件に問題がある。すなわち、この地点の岩盤には数ヶ所で大量の湧水が認められ、また、岩盤に発達する亀裂には地下水および地表水などにより溶解を受けた形跡が多く認められる。このことは、基礎にも溶解洞の存在することが充分推測され、ダム基礎および貯水池内の地山の耐水性について大きな問題となる。

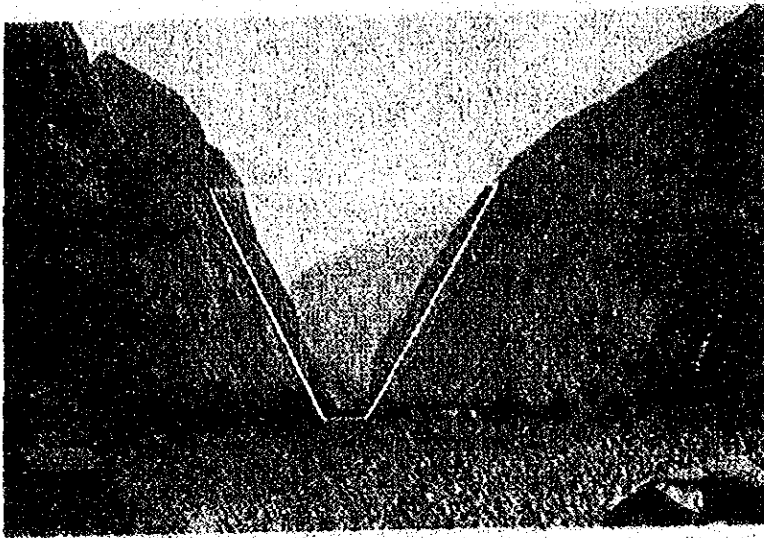
次に貯水池内においては、ダム地点直上流の左岸には大規模な地滑り地が分布している。貯水後にも、この地滑り地域が全域活動する様なことが起ればダムの安全性や貯水の衝撃波による影響が懸念され、また、一部の崩落にとどまった場合でも貯水池への流入土砂も

多く、貯水池の貯水容量を低下させるものと考えられる。

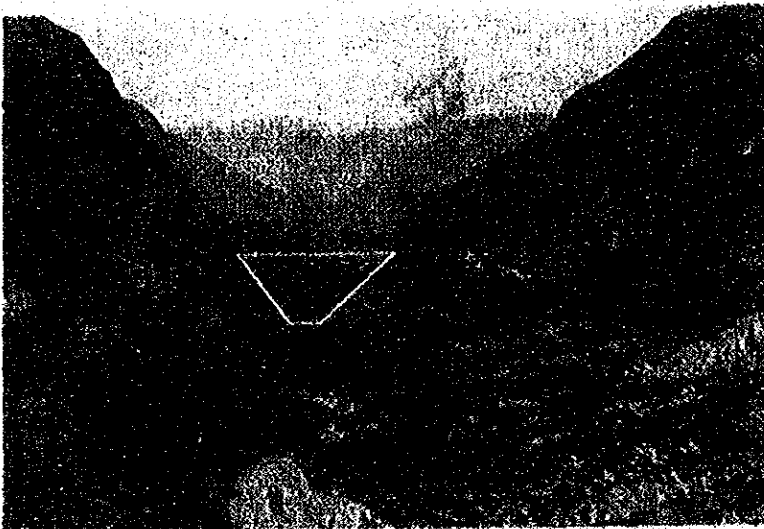
(2) 163ダム地点

この地点はダム地点としては、基礎の地質条件のみならず貯水池内堆砂にも問題がある。

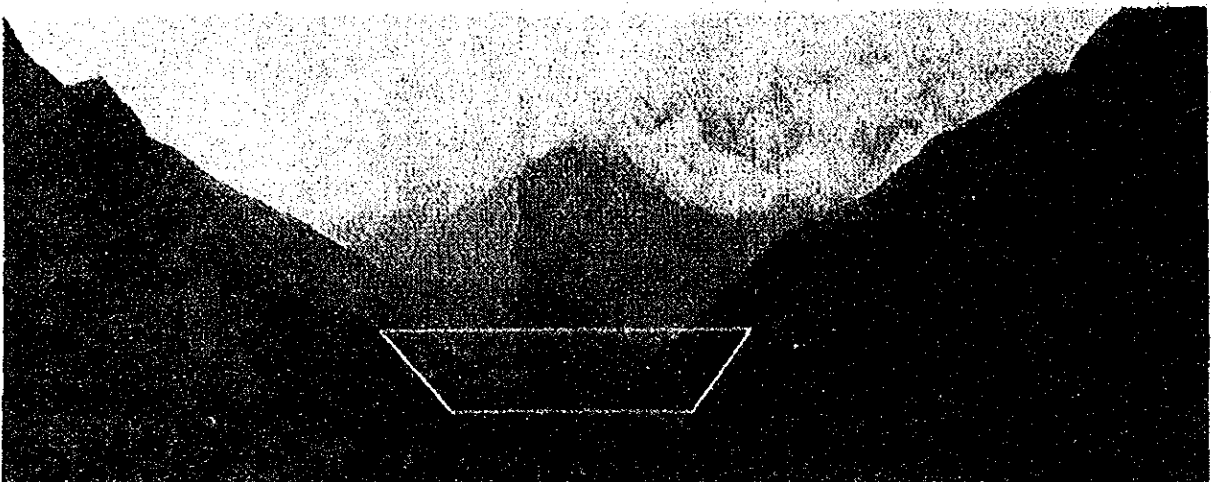
地形的には、ダム地点がYangas川本流と支流のGrande川およびCatalina川の合流点の直下流に位置しているため、谷幅はダム軸で200m近くあり、計画ダム地点の谷幅(約40m)に較べてはるかに広い。また、地質的にはこの地点に分布する岩盤は、162ダム地点と同様岩質的にカルスト作用を受け易い石灰岩であり、ダム基礎の耐水性については類似した問題が予想される。その他の問題としては、ダム地点および貯水池内に非常に厚い段丘砂礫が堆積している為、他の地点に比較してダム基礎の掘削量が莫大になり、また、貯水後においては堆砂により貯水機能が著しく低下することが考えられる。



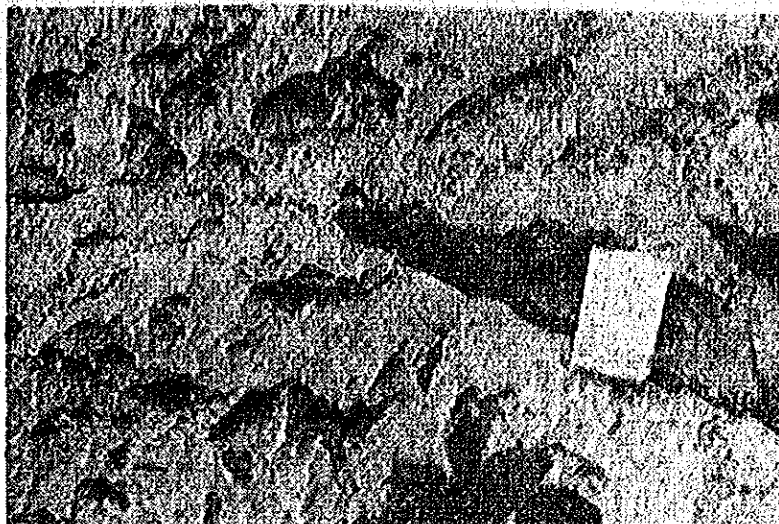
**Selected Dam Site
(No.1 Dam Site)
from upstream**



**No.2 Dam Site
from upstream**

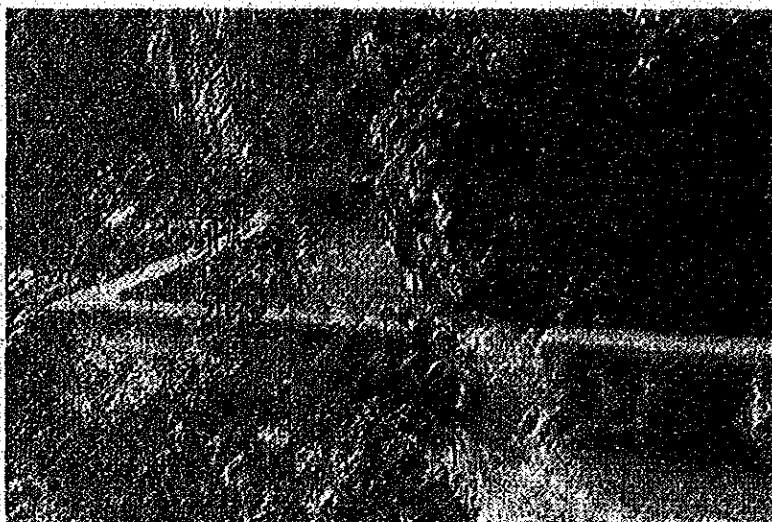


No.3 Dam Site from upstream



Deep limestone crack
at No.2 Dam Site

Spring water
at No.2 Dam Site

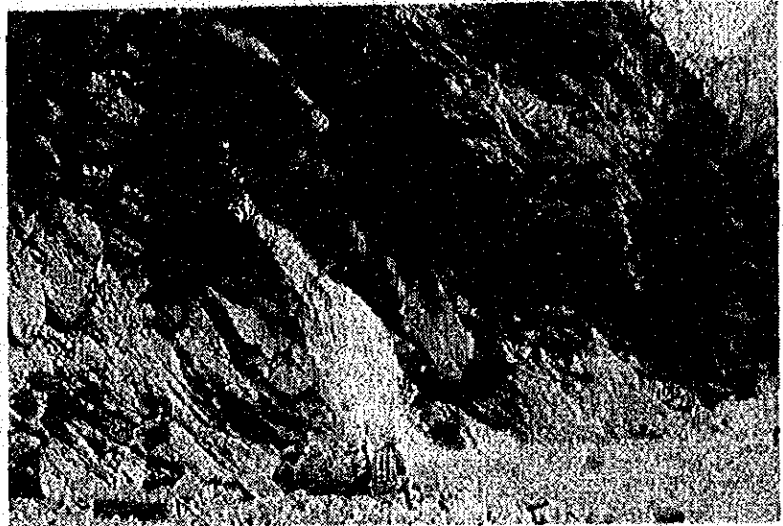


Deep river deposit
at No.3 Dam Site

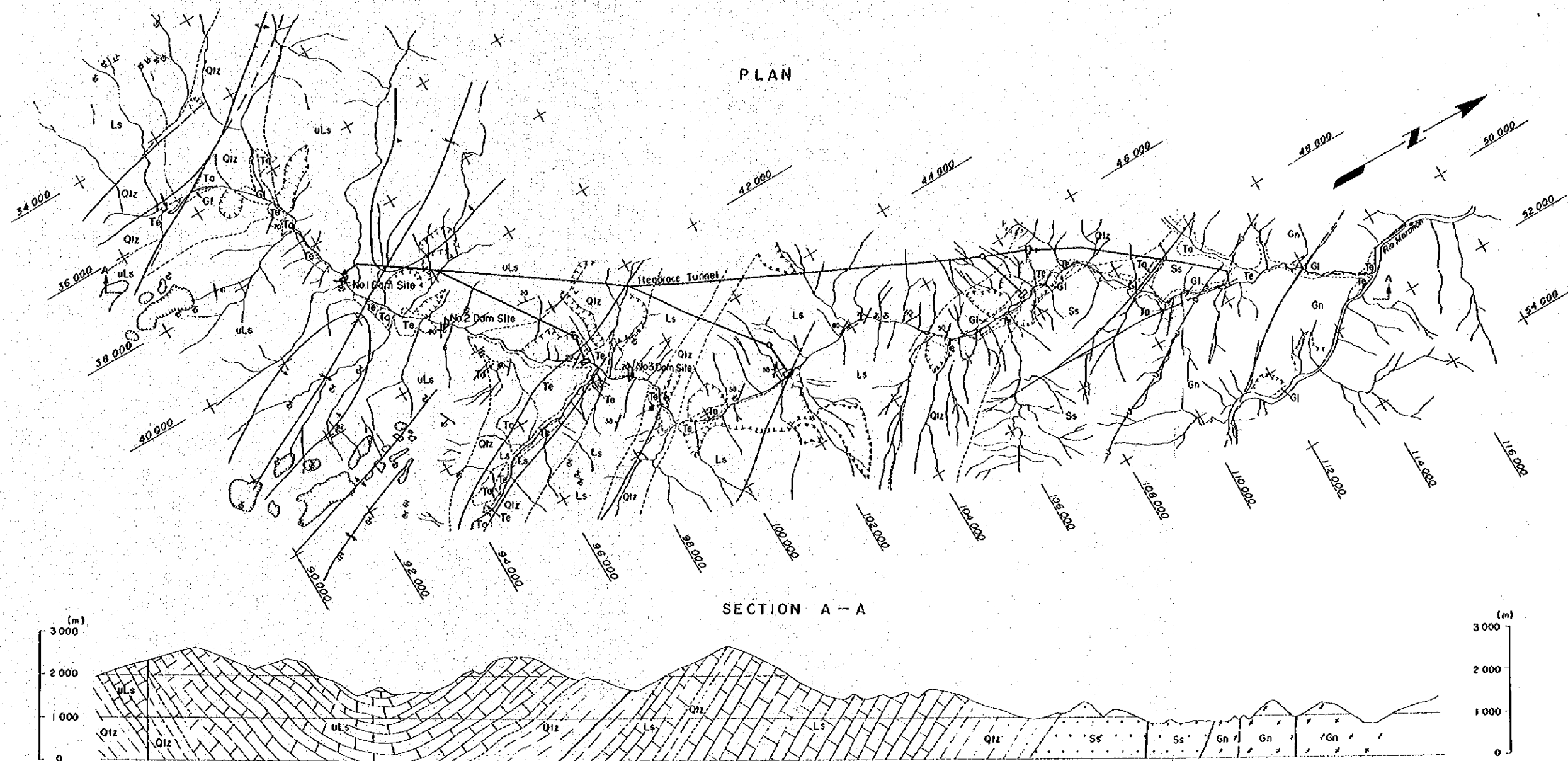


Spring water
at downstream
of No.3 Dam Site

Spring water
at downstream
of No.3 Dam Site



Deep limestone cracks
at No.3 Dam Site



LEGEND

Quaternary	To	Talus deposit.
	G1	River deposit.
	Te	River terrace deposit.
Cretaceous	uLs	Upper limestone.
	Q1z	Alternation of Quartzite, Sandstone and Slate.
	Ls	Lower limestone.
Jurassic	Ss	Sandstone and Slate.
Precombrian	Gn	Gneiss.

	Geologic boundary (conformity)
	Unconformity (u open to younger formation)
	Fault (/ ; assumed)
	Axis of anticline.
	Axis of syncline.
	Strike and dip of strata.
	Spring.
	Sinkhole.
	Landslide.

	Gracial cirque.
	Section

Note:

- 1) Geological structure lines shown on the geological map are chiefly on the basis of the interpretation of aerial photographs.
- 2) Classification, strike and dip of strata, and location of spring, landslide and gracial cirque are based on the data collected by reconnaissance survey along the Rio Yangos as well as interpretation of aerial photographs.

0 5000m

Fig. 5-1 Geologic Map

第 6 章 水 文 解 析

6-1-1	水文資料	59
6-1-2	気候資料	59
6-1-3	川上地点の流量の算定	60
6-1-3-1	算出方法	60
6-1-3-2	降雨期間の算定	61
6-1-3-3	Driesden法	61
6-1-3-4	令雨量法	62
6-1-3-5	Meyerhoff法	62
6-1-3-6	各計算法の比較	63
6-1-3-7	地点流量の算定	63
6-1-4	洪水量の算定	64
6-1-4-1	算出方法	64
6-1-4-2	積算地点雨量	64
6-1-4-3	積算面積雨量	65
6-1-4-4	Rational式によるピーク洪水量の算出	65
6-1-4-5	三角形ハットパストグラフによるピーク洪水量の算出	66
6-1-4-6	積算日洪水量	66
6-1-4-7	結 論	67
6-2	土砂量の算定	67
6-3	地砂量の算定	69

圖 面 目 錄

Fig. 6-1	Location Map of Runoff and Rainfall Gaging Stations
Fig. 6-2	Monthly Average Precipitation
Fig. 6-3	Monthly Temperature and Humidity
Fig. 6-4	Altitude Vs Temperature
Fig. 6-5	Double Mass Curves
Fig. 6-6	Rainfall Period of Cajamarca
Fig. 6-7	Thiessen Diagram
Fig. 6-8	Isohyetal Map (Mar.)
Fig. 6-9	Isohyetal Map (Aug.)
Fig. 6-10	Altitude Vs Rainfall
Fig. 6-11	Probable Point Rainfall (Cajamarca)
Fig. 6-12	Triangular Hydrograph Analysis
Fig. 6-13	Probable Daily Runoff (Llancano Derivacion)
Fig. 6-14	Observed Evaporation Data and "Rohwer Equation Lines"
Fig. 6-15	Measured Rates of Reservoir Sedimentation of the Western United States

表 目 錄

Table 6-1(a)	Runoff Gaging Station and Existing Data
Table 6-1(b)	Rainfall Observatory Station and Existing Data (Monthly Record)
Table 6-2	Mean Monthly Precipitation in Yungas River Estimated by Thiessen Method
Table 6-3	Mean Monthly Streamflow at Yungas Dam Site Estimated by Thiessen Method
Table 6-4	Mean Monthly Streamflow at Yungas Dam Site Estimated by Isohyetal Maps
Table 6-5	Elevation Bands, Typical Stations and Data for Elevation Method
Table 6-6	Mean Monthly Streamflow at Yungas Dam Site Estimated by Elevation Method
Table 6-7	Observed Evaporation Data
Table 6-8	Analysis of Evaporation

第 6 章 水 文 解 析

6・1 水文資料

水文解析に必要な雨量および流量の観測所の位置は Fig 6-1 に示すように、Yangas 川流域内には、現在の所、流量観測所が極く上流に 1ヶ所存在する以外は全く無い。しかし、Yangas 川に隣接した Llaucano 川流域には雨量および流量観測所があり、Crisnejas 川流域にも数ヶ所の雨量観測所がある。

また、観測期間は Table 6-1 に示すように、Cajamarca 市の雨量記録が約 40 年あるのを除けば、他はいずれも 10 年内外であって非常に短い。なお、若干の欠測期間のある観測所が多い。

観測頻度は流量、雨量とも daily であり、更に Brilliantana 観測所では時間雨量の資料が得られている。

流量の資料は、自記水位計の記録をもとに算定されたものである。

以上述べたように、Yangas 計画の水文解析を行う為に必要な資料は今の所非常に不足しているのが実情である。

6・2 気象状況

Yangas 計画は Peru 北部の Andes 山脈の Amazon 側に属しており、典型的な Andes 山岳地域の気象状況下にある。

一般に、Andes 山岳地域の気象を左右するのは、Chile 沖に中心を持つ定常的な太平洋高気圧と、太平洋岸に沿って Ecuador と Peru の国境付近まで北上する Humboldt 海流および Amazon 地域の気圧配置であって、移動性の高気圧や低気圧は通常全く無い。

夏期（10月～4月）においては、Amazon を中心とし Andes 山脈東斜面に及ぶ広範囲な熱性低気圧が発生し、激しい上昇気流を起す。一方、太平洋高気圧からこの低気圧に向う季節風が強くなり、Andes 山脈西斜面に吹きつける。また、前線が太平洋から Peru 山岳地帯へと伸びる。これらの影響で、Andes 山岳地域では夏期に曇天が多く雨期となる。

一方、冬期（5月～9月）においては Amazon 地方を大西洋高気圧が覆うようになり、Chile 沖に中心を持つ太平洋高気圧と共に、全般に気圧勾配がゆるくなって季節風も弱まり、晴天が続き乾季となる。

このように、Andes 山岳地域の気象は雨期と乾期に大別され、極めて安定した周期性をもって変化している。

しかしながら極く稀には、Humboldt 海流が海岸に沿って南下する暖流によってかわられる

ことがある。この現象は1925年3月に起り、Peru北部の海岸地方にも高気温と豪雨をもたらした記録があるが、山岳地帯殊にYangas川周辺への影響については明らかでない。

Yangas計画の属する地域は、分水嶺が4,000 m程度でAndes山脈としては低い部類に属し、従って夏期に及ぶ積雪並びに結氷は見られない。

雨量はFig 6-2に示すように他の山岳地帯と同様、乾期と雨期の差が顕著であり、また、地形の影響を受けて地点による差が大きい。

気温はFig 6-3に示すように、年間を通してほぼ一定である。年間平均気温、平均最高気温、平均最低気温を観測所の標高との関係で調べるとFig 6-4のようになる。

一般に、標高が100 m上昇すると気温が0.6℃低下すると云われており、Fig 6-4の年間平均気温と観測所標高の関係もこれに近い。この図からYangas Dam Site (B.L. 1,550 m)における気温は次のように推定される。

年間平均気温	19℃
平均最高 "	25℃
平均最低 "	15℃

また、湿度は地域全般で60~90%と一般に高く、Celendín市ではFig 6-3に示すように、年間を通じて70~85%である。

6・3 計画地点の流量の算定

6・3・1 算出方法

Yangas計画の検討に必要な日別・月別流量を推定することは、流域内に流量資料も雨量資料もほとんど存在しないことから非常に困難である。そこで、近設の流域における既存の資料を用いてYangas川流域内の平均雨量を推定し、これに近接流域から推定した流出係数を乗ずることによって、必要な流量を推定するものとする。

解析に使用する雨量資料が観測方法や周辺状況の変化で、観測期間中に変動していないかどうかをDouble Mass Curveの手法で検定した所、Fig 6-5に示すようにいずれも直線関係にあり、十分な信頼度を持つことが分った。

しかし、大部分の雨量資料は最近10ケ年(1964~73年)の観測期間しか無く、長期の予測には不十分である。そこでCajamarcaにある40年間の資料と関連させて期間を延長しようとしたが、Cajamarcaと他地点の資料との相関係数が0.12~0.73と低いので、この方法は採用できない。そこでCajamarcaの40年間の年雨量変化の中における最近10ケ年の雨量の傾向を調べるものとした。

流域内平均雨量の推定方法としては、一般にThiessen法と等雨量線法があるが、この報告

書では更に Elevation 法（仮称）を加え、これら3つの方法で検討するものとした。

また、近接流域の流量資料としては、Llaucano 川流域の Llaucano Derivación 測水所（C.A = 341.0 sq.Km）とその下流の Corellama 測水所（C.A = 597.1 sq.Km）とがある。後者は、Yangas 川計画地点の流域面積（637.1 sq.Km）に近いのではあるが、農業用水取水の影響が強く出ていて、Yangas 地点に適用するのは妥当でないと判断される。そこで、上流の Llaucano Derivación 測水所を流量観測所として採用するものとした。

6・3・2 降雨周期の検討

Fig 6-6 に示すのは 1934 年から 1973 年までの 40 年間の Cajamarca における年間雨量の各年の値およびその 5 項移動平均値の変化である。これによれば、降雨周期は約 30 年であり、流量算出に用いる最近 10 ケ年（1964～73 年）は、渇水期間に相当していることが分る。即ち 40 ケ年間の平均年間降雨量が 747 mm であるのに対し、最近 10 ケ年間の平均年間雨量は 690 mm で約 8 % 少く、また、1968 年の 441 mm は 40 年間の最小値である。

従って、流量算出結果は用いる資料が渇水期間に属することから、長期の予測としては少な目に見積られることになる。しかし、このレポートでは特に補正はしないものとした。

6・3・3 Thiessen 法を使用した場合

この方法は最も一般的に使用されるものであり、各年の月別流量も容易に求めることができる。

Thiessen 法により、Fig 6-7 に示すように Yangas 川流域を区分し、周辺観測所ごとの支配面積およびその比率を求めると次のようになる。

（観測所名）	（支配面積） sq.Km	（率）
Celendín	193.0	0.303
Brillantana	249.4	0.391
Hda. Negritos	33.5	0.053
La. Llica	161.2	0.253
計	637.1	1.000

上記 4 観測所の最近 10 ケ年の月別平均雨量にそれぞれの面積率を乗じて合計したものが、Yangas 川流域の月別平均雨量である。この値は Table 6-2 に示すように、月によって 17.8 mm～146.1 mm となり、最近 10 ケ年平均の年間雨量は 1,020 mm となった。

同じ方法を用いて、流量資料のある隣接した Llaucano 川の Llaucano Derivación 測水所（C.A = 341 sq.Km）の流域平均雨量を求めた。これと、同測水所の流量資料とから流出係数を算出すると、月によって 0.199～0.760 となった。この流出係数をそのまま Yangas 川

に適用するものとし、前に求めた月別平均雨量と Yangas Dam Site の流域面積 (637.1 sq・km) から、Yangas 川の月別平均流量を算定することができる。この結果 Table 6-3 に示すように、Yangas 川の月別平均流量は $2.15 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec} \sim 22.93 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec}$ 、年平均流量は $10.15 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec}$ となった。

6.3.4 等雨量線法を使用した場合

流域周辺の雨量観測所の資料をもとに、地形・風向などを考慮して Yangas 川流域の等雨量線図を描くことができる。降雨の量および分布は月毎に異なるので、各月1つずつ作成する。代表的な等雨量線図を Fig 6-8 と Fig 6-9 に示す。これから、各月ごとに等雨量線で囲まれる面積を求め、それぞれの面積の平均雨量を乗じて集計することによって、流域内の平均月別雨量を算出する。

これから、Yangas 川の流量を求める方法は前記の Thiessen 法と同様である。その結果は Table 6-4 に示すように、月別平均流量は $1.65 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec} \sim 21.77 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec}$ 、年平均流量は $9.46 \text{ cu} \cdot \text{m}/\text{sec}$ となった。

6.3.5 Elevation 法による場合

当該地域における降雨量の分布は、地形・風向・その他の要因から複雑に変化しているものと考えられるが、ここで地形要因のうち、最も単純なパラメーターである観測所標高を選び、これと雨量（雨期と乾期に分ける）の関係を見ると、Fig 6-10 のように標高と雨量の間に直線関係があることが分かった。

即ち、雨期（10月～4月）においては、標高が100 m 上昇する度に雨量（雨期7ヶ月合計）が約25 mm 増加し、乾期（5月～9月）においては、Llancano 川流域と Crisnejas 川流域（Cajamar 川流域および Condebamba 川流域）とで若干の相違があつて、標高が100 m 上昇する度に雨量（乾期の5ヶ月計）が前者で約12 mm、後者で約5 mm 増加する。

標高と雨量の間の相関係数は0.77～0.90であつて、完全な相関関係にあるとは言いが、地形と雨量の関係を大略把握できるものと考えられる。

Yangas 川流域の標高は1,500～4,000 m という比較的大きな巾にわたって分布しているので、上記の関係を利用して代表的な雨量観測所データを選定、補正して各標高区間の代表雨量とし、Yangas 川流域の各標高区間の面積比を乗じて集計することにより、流域雨量を算定するものとする。ここではこの方法を Elevation 法と仮称している。実際にこの Elevation 法を適用する場合の標高区分、代表標高、代表観測所、補正係数および Yangas 川流域と Llancano Derivación 測水所流域の各区分面積比 Table 6-5 に示している。この方法を用いることによって、流域雨量を算出して前2者の方法と同様に、実測測水所の流出係数を

そのまま Yangas 川流域に適用して、月別流量を算定することができる。この結果は Table 6-6 に示すように、 $1.77 \sim 23.29 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$ で年平均流量は $9.69 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$ となった。

この方法の長所は地形要素を多少考慮していることと、Thiessen 法と同様に各年の月別流量が容易に求められることである。短所は、Yangas 川流域外の雨量分布特性および流出特性をそのまま流域内に適用していることである。

6・3・6 各計算法の比較

前節までに述べた 3 つの方法 (Thiessen 法、等雨量線法および Elevation 法) によって算出した計画地点の 10 ケ年平均の各月雨量および流量は Table 6-3, 6-4 および 6-6 に示すようになっている。これらの表から、Yangas 地点での年平均雨量および年平均流量をとり出して見ると、次のようになる。

計算法	年平均雨量 (mm)	年平均流量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$)
Thiessen 法	1,020	10.15
等雨量線法	963	9.46
Elevation 法	1,095	9.69

即ち、年平均雨量は Elevation 法に較べて他の 2 方法による結果の方が小さくなっている。これは Elevation 法以外の方法では近接地点とは云え、標高が低く雨量の少ない観測所資料を、高い標高の計画地点に適用する部分が大きいためと考えられる。

しかしながら、雨量から流量を算出するために用いる計画流域の流出係数は、同じ方法で求めた測水所の雨量と、実測流量から計算した測水所の流出係数をそのまま適用している。従って、算出方法の如何による雨量の誤差は、流量を算出するときには打消される傾向が強い。

また、年平均流量の値は、Llaucano Derivación 測水所平均流量を計画地点との面積比で換算した値 $10.31 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$ と比較していずれも小さくなっている。これは測水所流域よりも計画地点流域の方が雨量が少ないと見られている為である。

これら 3 つの方法の計算結果には大きな差はないこと、また Elevation 法は発電計画に重要なウェイトを占める渇水期において、高い相関性が明らかとなっていること等の理由から、以下の検討には Elevation 法を採用するものとする。

6・3・7 地点流量の算定

発電計画の策定に必要な各年の月流量あるいは日流量を算定する方法は、前述の Elevation 法に従って、次式を用いて計算する。

$$Q'_{Y,M} = Q_{Y,M} \left(\frac{A'}{A} \right) \cdot \left(\frac{R'_{Y,M}}{R_{Y,M}} \right) \dots\dots\dots \text{月流量}$$

$$Q'_{Y,M,D} = Q_{Y,M,D} \left(\frac{A'}{A} \right) \cdot \left(\frac{R'_{Y,M}}{R_{Y,M}} \right) \dots\dots\dots \text{日流量}$$

ここに、 $Q'_{Y,M}$ 、 $Q_{Y,M}$: Yangas 地点および Llaucano Derivación 測水所の Y 年 M 月の月流量

A' 、 A : " " の流域面積

$R'_{Y,M}$ 、 $R_{Y,M}$: " " の月雨量

(Elevation 法によって求める)

$Q'_{Y,M,D}$ 、 $Q_{Y,M,D}$: Yangas 地点および Llaucano Derivación 測水所の Y 年 M 月 D 日の日流量

即ち、Yangas 地点の月流量あるいは日流量は Llaucano Derivación 測水所の観測資料に、それぞれの流域の面積比と月雨量比を乗じたものに等しい。日流量算定時の雨量比にその月の雨量比を用いる理由は、雨量と流量が日単位では対応しないためである。

6・4 洪水量の算定

6・4・1 算出方法

Yangas 流域内には、雨量観測所も充分な測水所も無く、また、近接流域においても長期間の時間毎の記録が無いので、Yangas 地点の洪水量を高い精度で推定することは難しい。

ここでは、近接の雨量観測所資料から Rational 式と三角形ユニットハイドログラフ法を用いて、ピーク洪水量を算定する方法と、近接の流量観測所資料から日洪水量を算定する方法によって検討する。

より精度の高い洪水量を求めるために、今後、流域内に時間毎の記録が可能な雨量および流量の観測所を数ヶ所設置するとともに、既設観測所の記録を更に長期間続ける必要がある。

6・4・2 確率地点雨量

Cajamarca の 15 年間の各年最大日雨量 (19 ~ 51 mm) の記録から Gumbel 法を用いて、確率地点雨量を求める。その結果は Fig 6-11 に示すようになり、この値をまとめて次のようにした。

再帰年 (年)	確率地点雨量 (mm)
100	70
500	83
1,000	90
10,000	110

また、他の観測所の資料は、いずれも Cajamarca より観測期間が短いこと、比較的長いものでも上記の結果と大差がないことの理由から、採用しなかった。

6・4・3 確率面積雨量

前記の地点雨量が、流域全体に均一に発生することはない。実際、近接の Ilaycano 川流域における雨量分布を調べたところ、地点雨量と面積雨量の比は最大で 0.80 となった。一方、“Design of Small Dams, U.S. Bureau of Reclamation”では、山岳地帯における地点雨量と面積雨量の比を流域面積の函数で与えており、これによれば、Yangas 地点の流域面積約 640 sq. Km に対して 0.85 となる。ここでは、安全側の数値を与える後者の値を採用するものとし、6.4.2 で求めた確率地点雨量に 0.85 を乗ずることにより、確率面積雨量を次のように決める。

再帰年（年）	確率面積雨量（mm）
100	60
500	71
1,000	77
10,000	94

6・4・4 Rational 式によるピーク洪水量の算出

洪水量の算出に、一般に用いられる式は次の通りである。

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r_t \cdot A \quad \dots\dots\dots (\text{Rational 公式})$$

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3} \quad \dots\dots\dots (\text{物部公式})$$

$$\left. \begin{aligned} T &= \sum_i \left(\frac{L_i}{W_i} \right) \quad \dots\dots\dots \\ W_i &= 72 \left(\frac{H_i}{L_i} \right)^{0.6} \quad \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} (\text{Rziha の公式})$$

但し、 Q ：ピーク洪水量， f ：流出係数， r_t ：洪水到達時間内の平均雨量強度
 R_{24} ：確率面積雨量， A ：流域面積， T ：洪水到達時間， W_i ：洪水伝達速度
 L_i ：流路の区間距離， H_i ：流路の区間標高差

この式から、Yangas 川の河床勾配を 3 区間に分けて計算すると、洪水到達時間は 2.92 時間となる。洪水時の流出係数は一般に使用される値をとって 0.80 とする。各再帰年ごとのピーク洪水量はベースフロー 30 cu. m/sec を加えて、次のように求められた。

なお、上式で $T=24$ として確率日洪水量を計算することができる。

再帰年 (年)	確率ピーク洪水量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$)	確率日洪水量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}\cdot\text{day}$)
100	1,500	380
500	1,650	450
1,000	1,800	480
10,000	2,300	580

6.4.5 三角形ユニットハイドログラフによるピーク洪水量の算出

“Design of Small Dams, U.S. Bureau of Reclamation”の方法に従って、6.4.3の確率面積雨量からハイドログラフを作成する。

降雨量と流出量の関係は、次式を使用する。

$$Q = \frac{(P - 2.674)^2}{P + 10.695} \quad \begin{cases} P: \text{累加雨量} \\ Q: \text{累加流出量} \end{cases}$$

この式は、累加雨量の増加と共に流出係数が上昇するように定められている。

(Design of small Dams, Fig A-4 参照)

以上の方法により、計算した100年確率洪水量の結果はFig 6-12に示すように、降雨開始後4時間で最大洪水量が発生し、更に4時間で急減した後は徐々に減少する。またFig 12からTotal Hydrographで囲まれる面積をはかることによって、この洪水量の日量を求めることができる。

100年確率洪水量以外の確率洪水量も、面積雨量に比例すると仮定すれば次のようになる。ベースフローは $30 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$ として加算する。

再帰年 (年)	確率ピーク洪水量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}$)	確率日洪水量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}\cdot\text{day}$)
100	1,100	360
500	1,300	420
1,000	1,400	450
10,000	1,700	550

6.4.6 確率日洪水量

Llucanq Derivación 測水所の10年間の日流量資料から各年の日最大流量を抽出し、これからGumbel法により確率日洪水量を求める。この結果はFig 6-13に示すようになり、これをYungas地点へ流域換算すると次のようになる。このときの換算率は、流域面積の比 $637.1 \text{ sq}\cdot\text{Km} / 341.0 \text{ sq}\cdot\text{Km} = 1.868$ である。

再帰年 (年)	確率日洪水量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sec}\cdot\text{day}$)
100	290
500	360

1,000	400
10,000	500

6・4・7 結 論

以上の3つの方法による計算結果を10,000年確率洪水量についてまとめると、次のようになる。

	ピーク洪水量 (cm^3/sec)	日洪水量 ($\text{cm}^3/\text{sec}\cdot\text{day}$)
(1) Rational 式	2,300	580
(2) 三角形ユニットヒドログラフ	1,700	550
(3) 流量資料による方法	—	500

(1)と(2)の結果の差は、流出係数の考え方の差によるものと思われる。即ち、(1)では流出係数を一率に0.80としているのに対し、(2)では累加雨量に応じて0.03～0.96と変化させている点に相違がある。また、(2)と(3)の差は使用する資料が、雨量と流量の相違によるものである。

洪水吐等の設計に用いる設計洪水量は、下流地域への影響と資料不足を考慮して安全側にとり、Rational 式による10,000年確率洪水量 $2,300 \text{ cm}^3/\text{sec}$ を採用する。

6・5 蒸発量の算定

蒸発量の資料は、Yangas 川付近の7ヶ所の観測所で4～20年間測定されたものを用いるものとする。その観測データは Table 6-7 に示すように、年間蒸発量で660～1,590 mm、平均で1,130 mm となっている。

自由水面からの蒸発量は、一般に水自体の持つ蒸気圧と水に接する大気の蒸気圧の差に比例し、風速や標高(大気圧)によって変化する。

上記の観測データから、計画地点の蒸発量を推定するために Carl Rohwer の式を用いる。

$$E = 181 (e_w - e_a) (1 - 0.0005 B) (1 + 0.60 w)$$

ここに、 E : 年間蒸発量 (mm)

e_w : 水面温度(ここでは大気温度に等しいとする)における飽和蒸気圧 (mm Hg)

e_a : 大気の蒸気圧(すなわち大気温度における飽和蒸気圧に相対湿度を乗じたもの) (mm Hg)

B : その場所の大気圧 (mm Hg)

w : 平均風速 (m/sec)

ここで、上記の観測所のデータから Table 6-8 に示すように各数値を計算する。即ち、年平均気温と年平均相対湿度から e_w と e_a を、また、観測所の標高から標準大気圧として B を求

ゆ、 $X = (e_w - e_a)(1 - 0.0005B)$ を計算する。X の値と年間蒸発量測定結果の関係は Fig 6-14 に示すように、ほぼ比例関係にある。

一方、Rohwer の式を平均風速をパラメータとして Fig 6-14 のように描けば、前記の測定結果は平均風速が 2~3 m であることを示している。平均風速の測定データは無いが、7 時、13 時、19 時の風速データから見て、上記の値は妥当と判断できる。そこで、Fig 6-14 に示す $w = 2.5 \text{ m/sec}$ の線を採用するものとした。

Yangas 地点の蒸発量の推定には、次の値を使う。標高 1,550 m、平均気温 19℃ (6.2 参照)、相対湿度 70% (観測所の平均値 (Table 6-8) は 75.1% であるが安全側にとった)、平均風速 2.5 m/sec 。これらの値から次のように計算する。

$$e_w = 16.5 \text{ mmHg (19℃)}$$

$$e_a = 16.5 \times 70 \div 100 = 11.5 \text{ mmHg}$$

$$B = 630 \text{ mmHg (E.L. 1,550 m)}$$

$$w = 2.5 \text{ m/sec}$$

$$E = 181 (e_w - e_a) (1 - 0.0005B) (1 + 0.60w)$$

$$= 181 \times (16.5 - 11.5) \times (1 - 0.0005 \times 630) \times (1 + 0.60 \times 2.5)$$

$$\div 1,530 \text{ mm}$$

この値は、蒸発計からの蒸発量をもとに算定されているので、これを貯水池からの蒸発量に換算する。換算係数は一般に採用されている 0.70 を用いる。従って、Yangas 貯水池の年間蒸発量は次の通り。

$$H_E = 0.70 E = 1,070 \text{ mm}$$

貯水池からの蒸発による損失雨量は次式で表わされる。

$$H_L = H_E - (1 - \alpha) H_R$$

ここに、 H_L : 蒸発による損失雨量 (mm)

α : 貯水池がない場合の流出係数

H_R : 降雨量 (mm)

H_E : 蒸発量 (mm)

この式に上記の蒸発量と Table 6-6 で計算した年間平均流出係数 0.436 と年降雨量 1,095 mm を入れれば、

$$\begin{aligned} H_L &= 1,070 - (1 - 0.436) \times 1,095 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

すなわち、貯水池からの蒸発による年間損失雨量は、貯水面積内で 450 mm と推定される。なお、貯水池からの蒸発による損失量をより正確に推定するためには、計画地点での気温、

水温、湿度、気圧、蒸発量の測定が必要である。

6・6 堆砂量の算定

Yanges 地点における堆砂量を推定するための資料、および他地点での堆砂実績が得られていないので、妥当な推定が難しい。しかしながら、Yanges 流域には崩壊地が比較的多いこと、地形の起伏が大きいこと、植生指数が低いこと等から風化産物が多いことが推定され、また、河川勾配が急であることから、風化産物の移動運搬も激しいことを考え合えると、堆砂量は比較的多いものと考えられる。

アメリカ合衆国西部における貯水池の堆砂量実測結果を、流域面積との比較で整理すると Fig(6-1.5) のようになる。これによれば、此堆砂量 ($\text{cu}\cdot\text{m}/\text{sq}\cdot\text{km}/\text{year}$) は、同じ流域面積でも貯水池によって 110 倍程度のバラツキがあるが、一般には、流域面積が大なる程比堆砂量は減少する傾向にある。此堆砂量の上限は、計画地点の流域面積 ($640 \text{ sq}\cdot\text{km}$) の場合 $800 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sq}\cdot\text{km}/\text{year}$ となる。

この値に、初めに述べた流域の状況を考慮した余裕を加えて、計画地点の比堆砂量を $1,000 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sq}\cdot\text{km}/\text{year}$ と推定した。従って 100 年間の全堆砂量は、

$$1,000 \text{ cu}\cdot\text{m}/\text{sq}\cdot\text{km}/\text{year} \times 637.1 \text{ sq}\cdot\text{km} \times 100 \text{ year} = 64 \times 10^6 \text{ cu}\cdot\text{m}$$

となる。

ただし、適当な排砂方法を採用することによって、発電上支障なく貯水池を選用品ることが可能である。

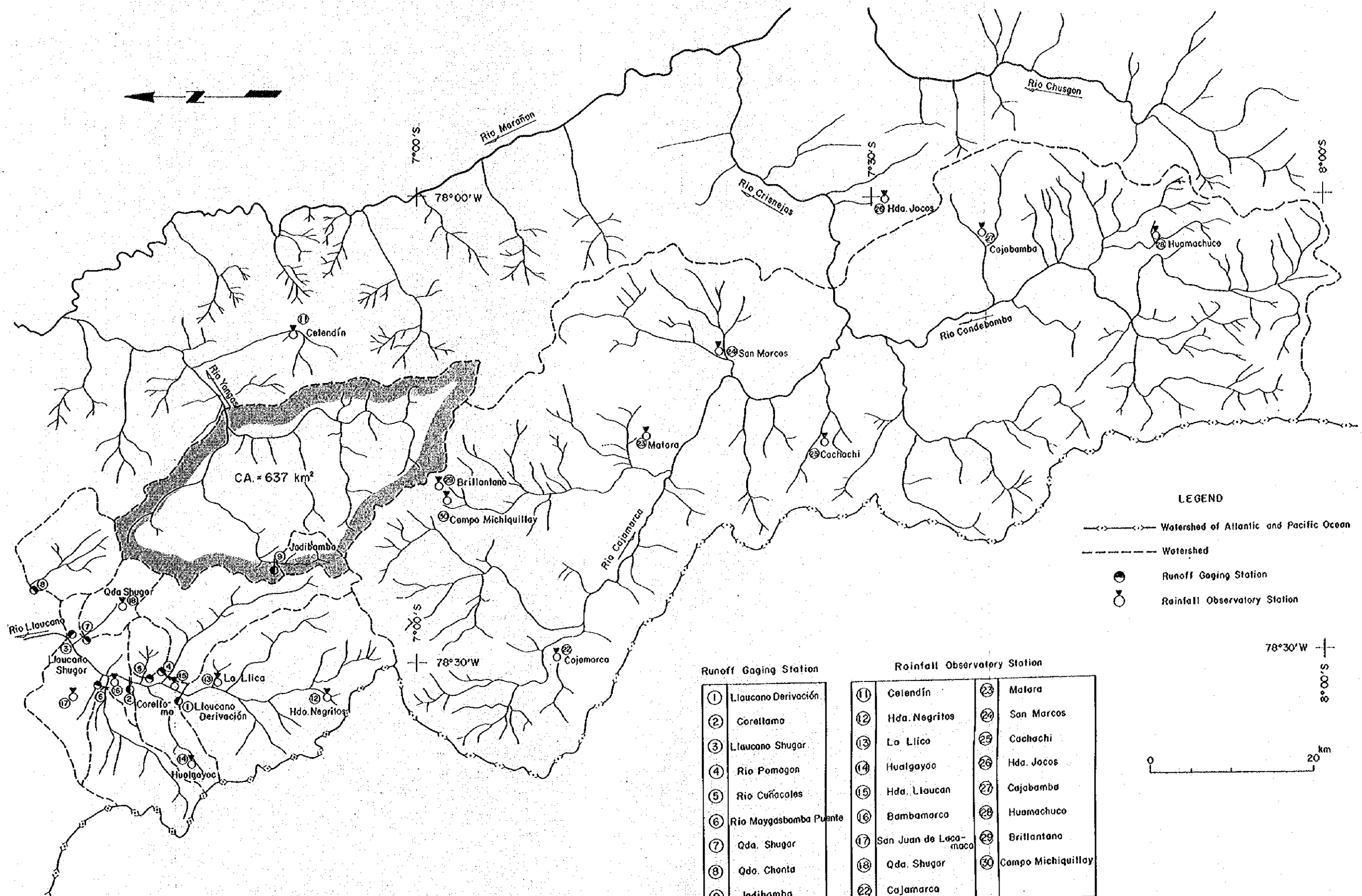


Fig. 6-1 Location Map of Runoff and Rainfall Gaging Stations

Fig. 6-2 Monthly Average Precipitation

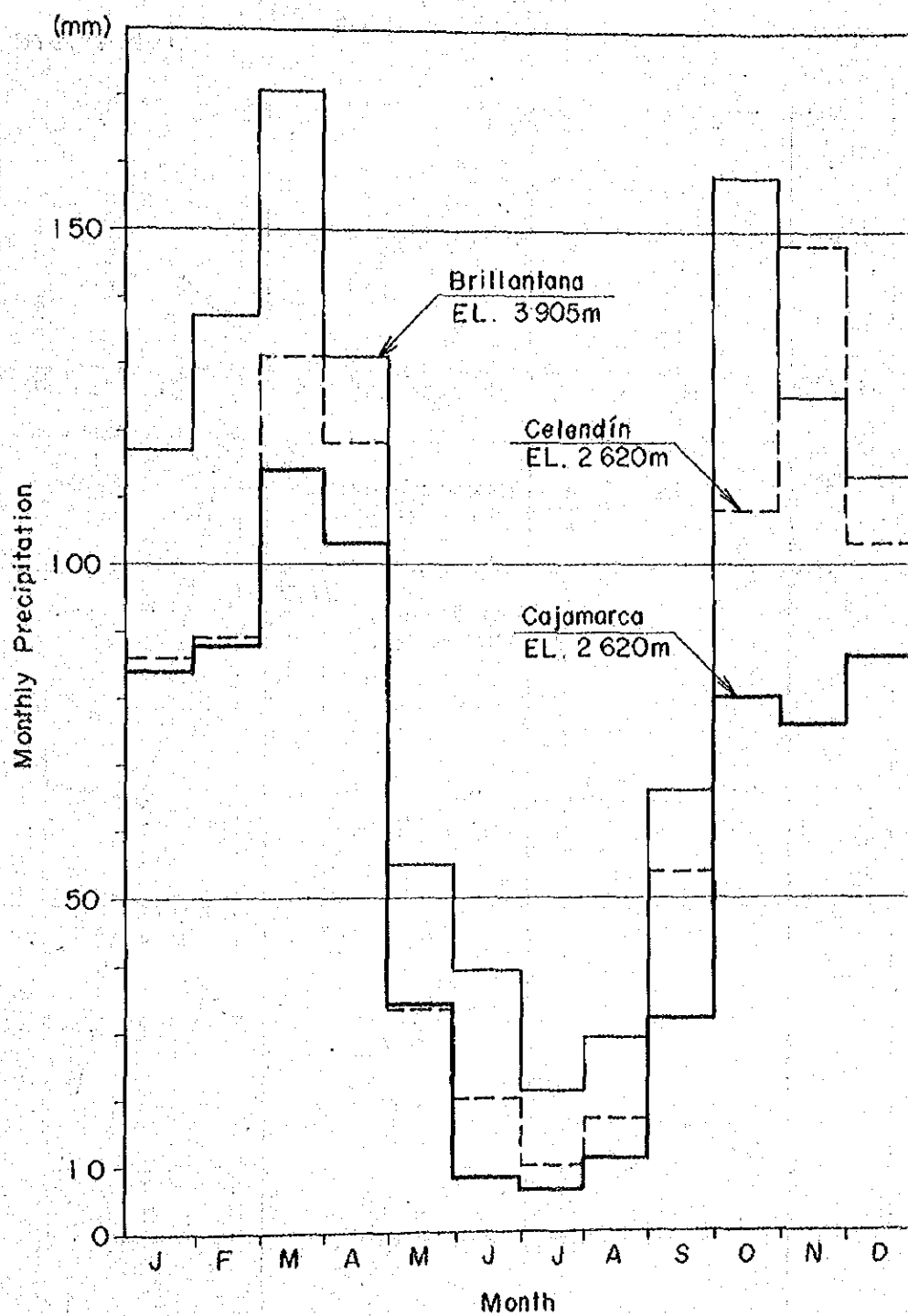
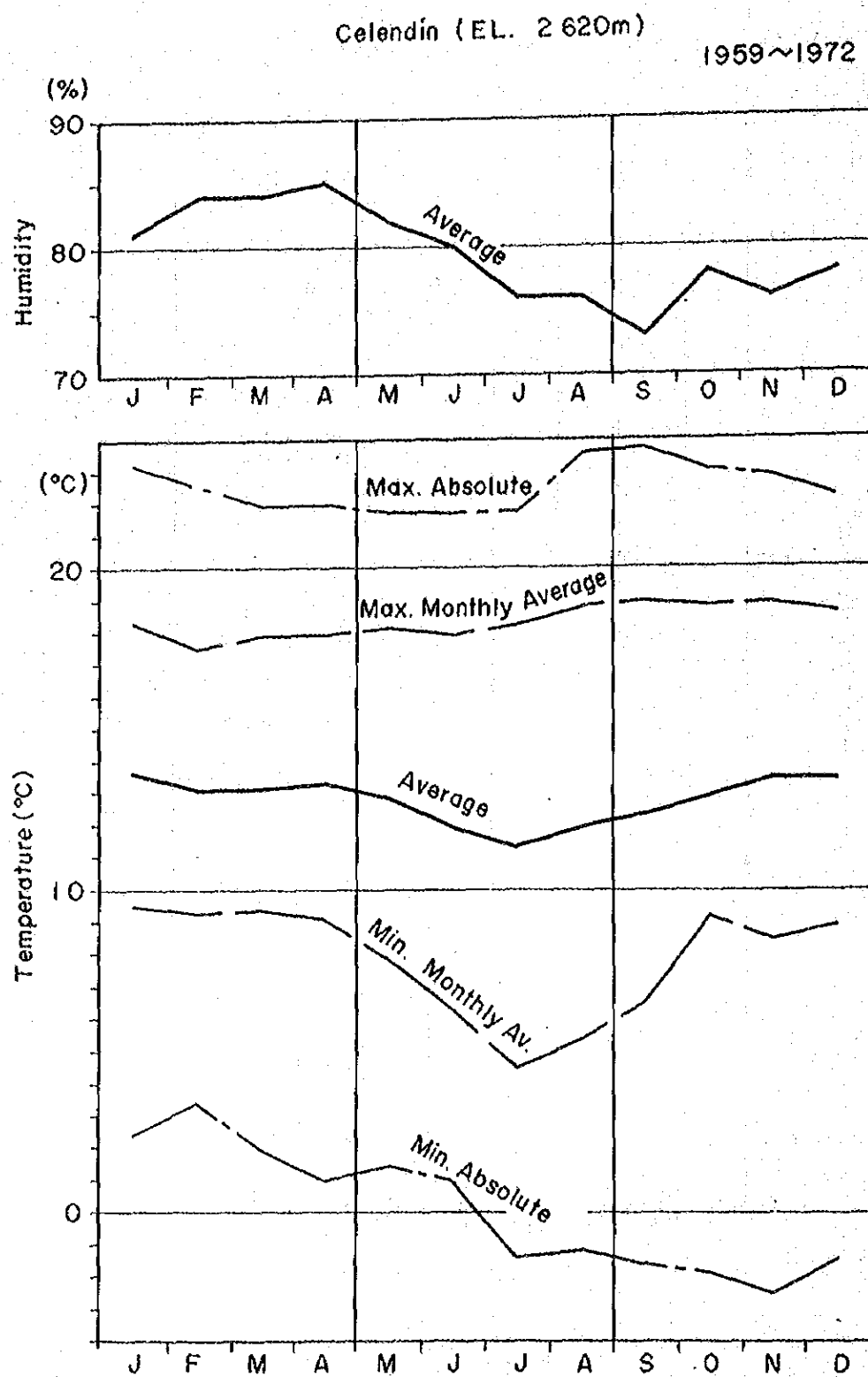
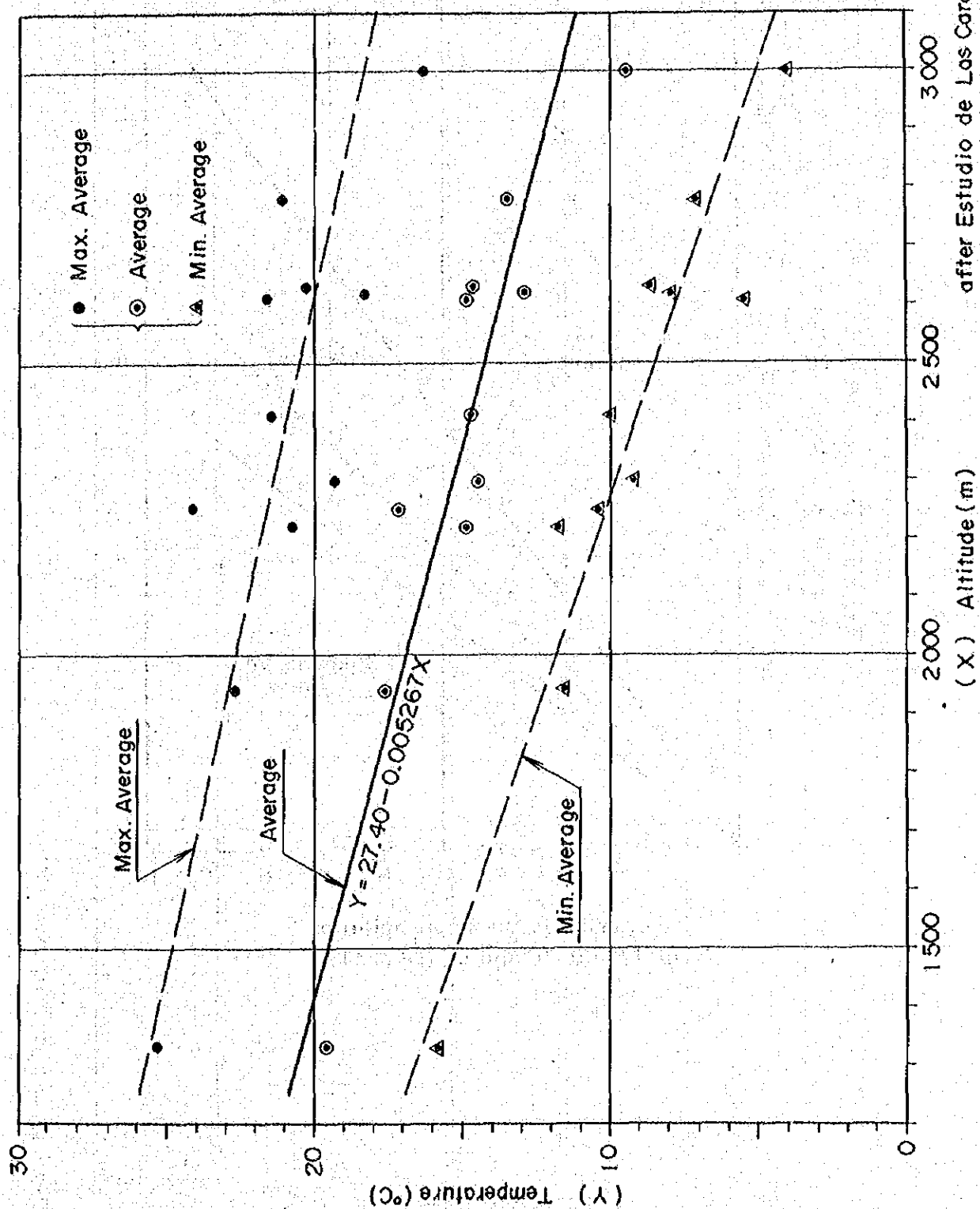


Fig. 6-3 Monthly Temperature and Humidity



after Estudio de Las Características Climatológicas, SENAMHI, 1974

Fig. 6-4 Altitude Vs Temperature



after Estudio de Las Características
Climatológicas, SENAMHI, 1974

Fig. 6-5 Doble Mass Curves

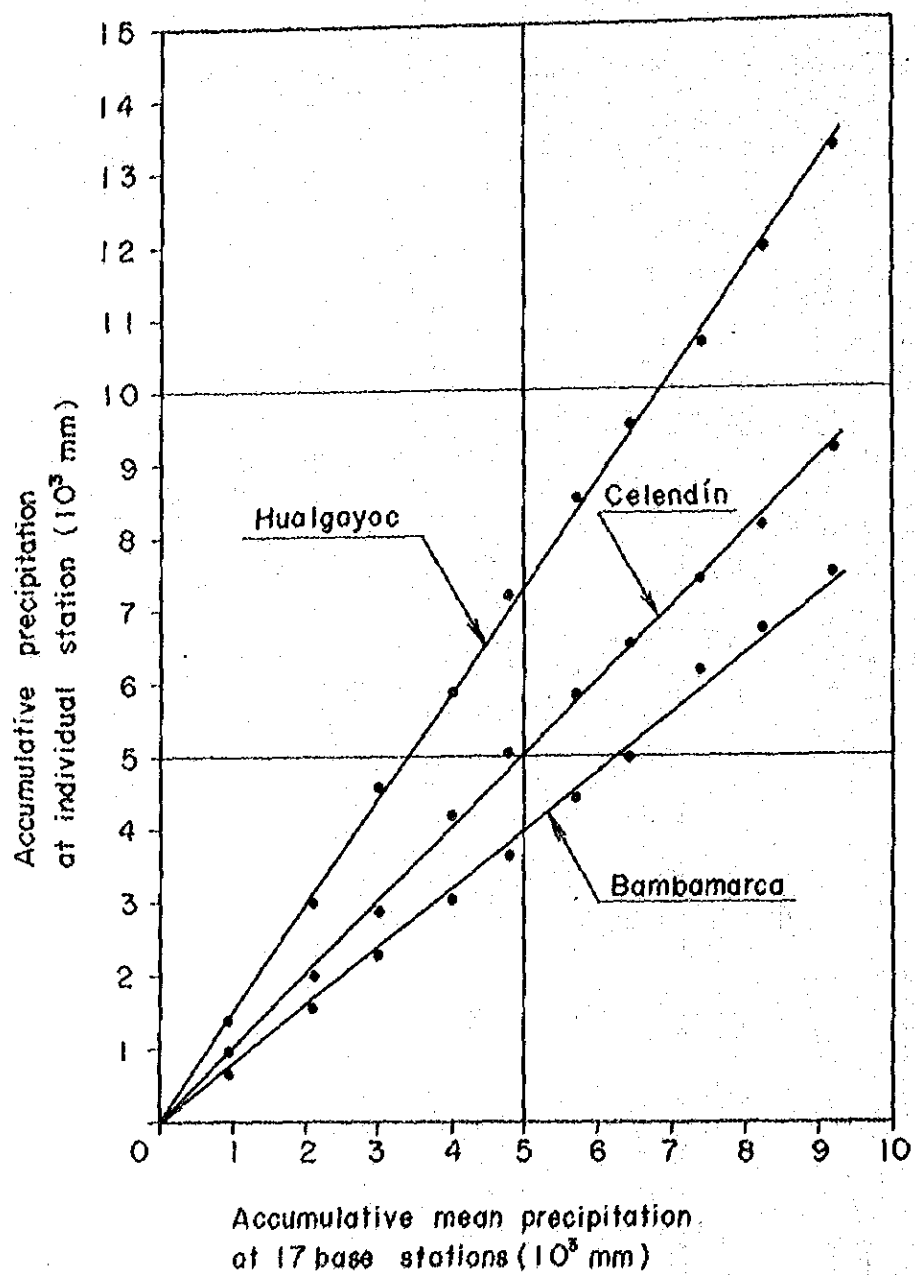


Fig. 6-6 Rainfall Period of Cajamarca

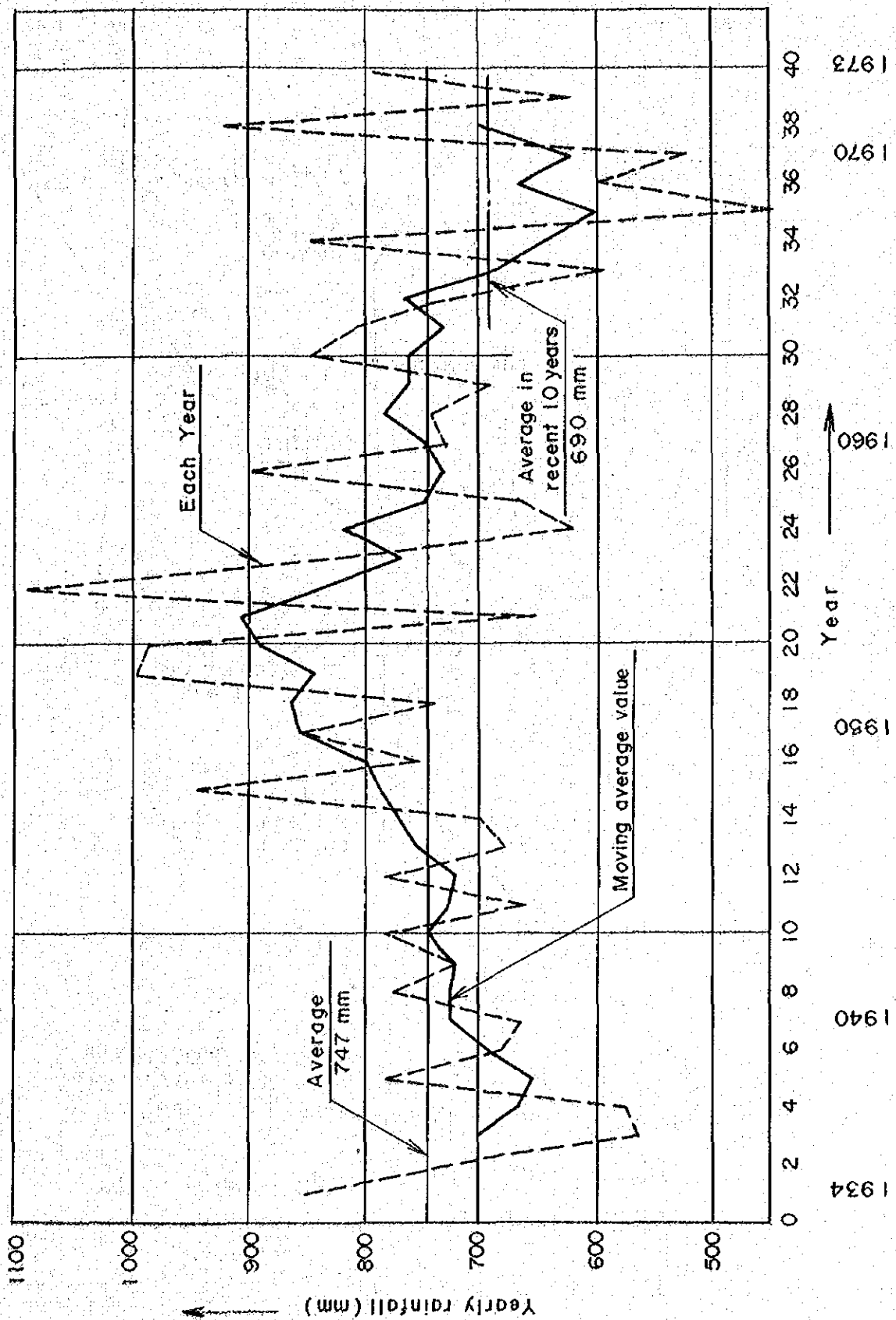


Fig. 6-7 Thissen Diagram

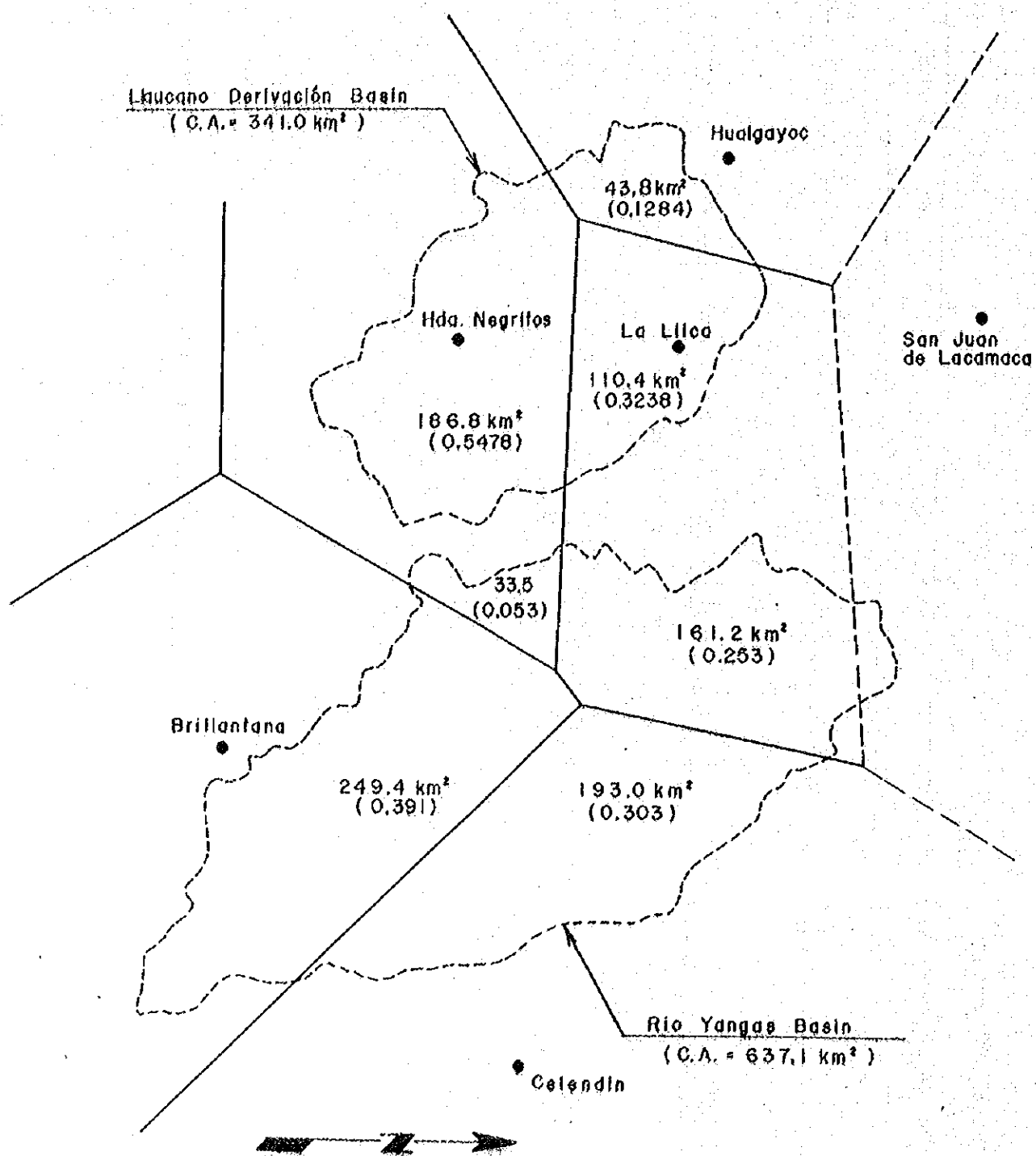


Fig. 6-8 Isohyetal Map (Mar.)

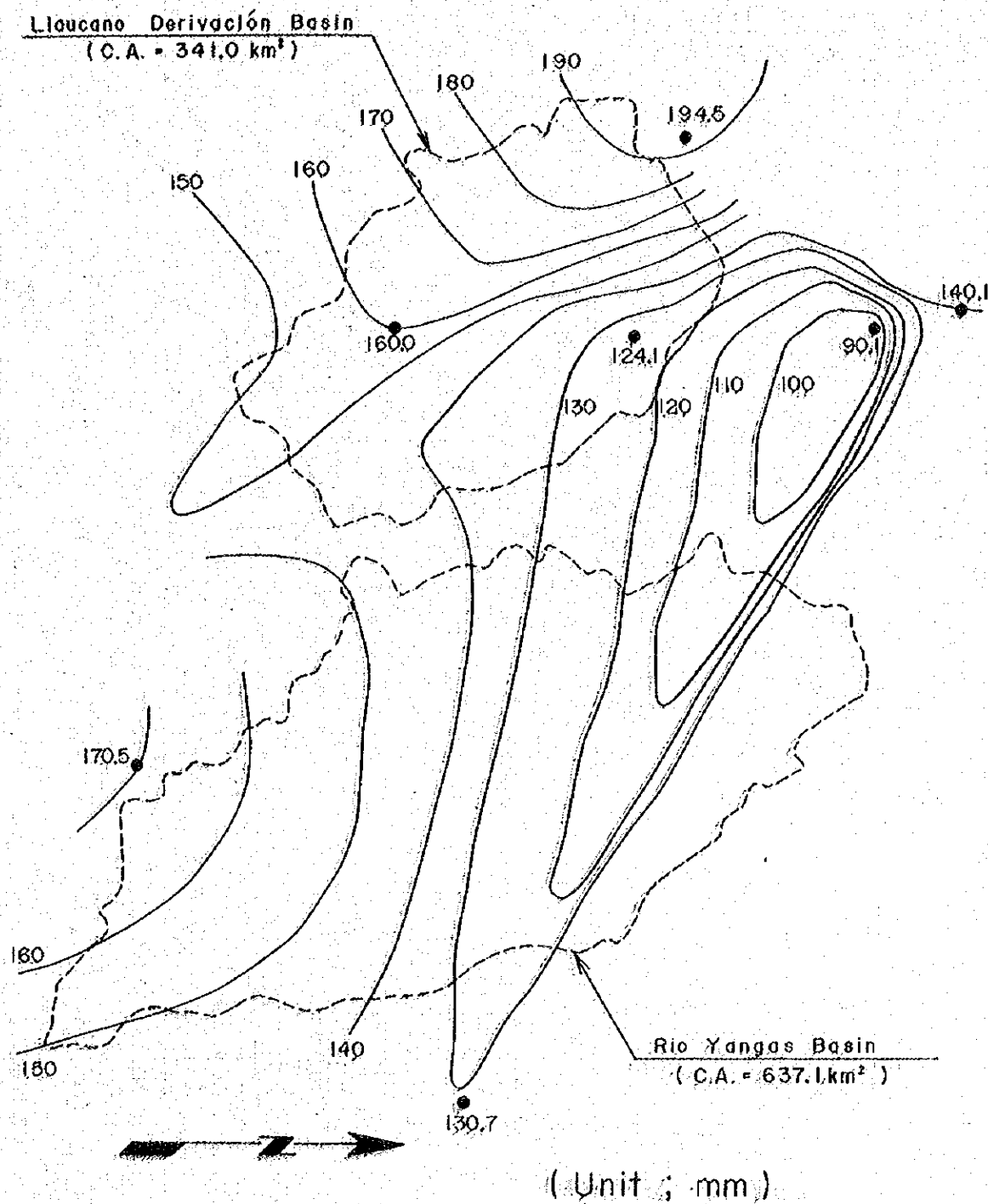


Fig. 6-8 Isohyetal Map (Aug.)

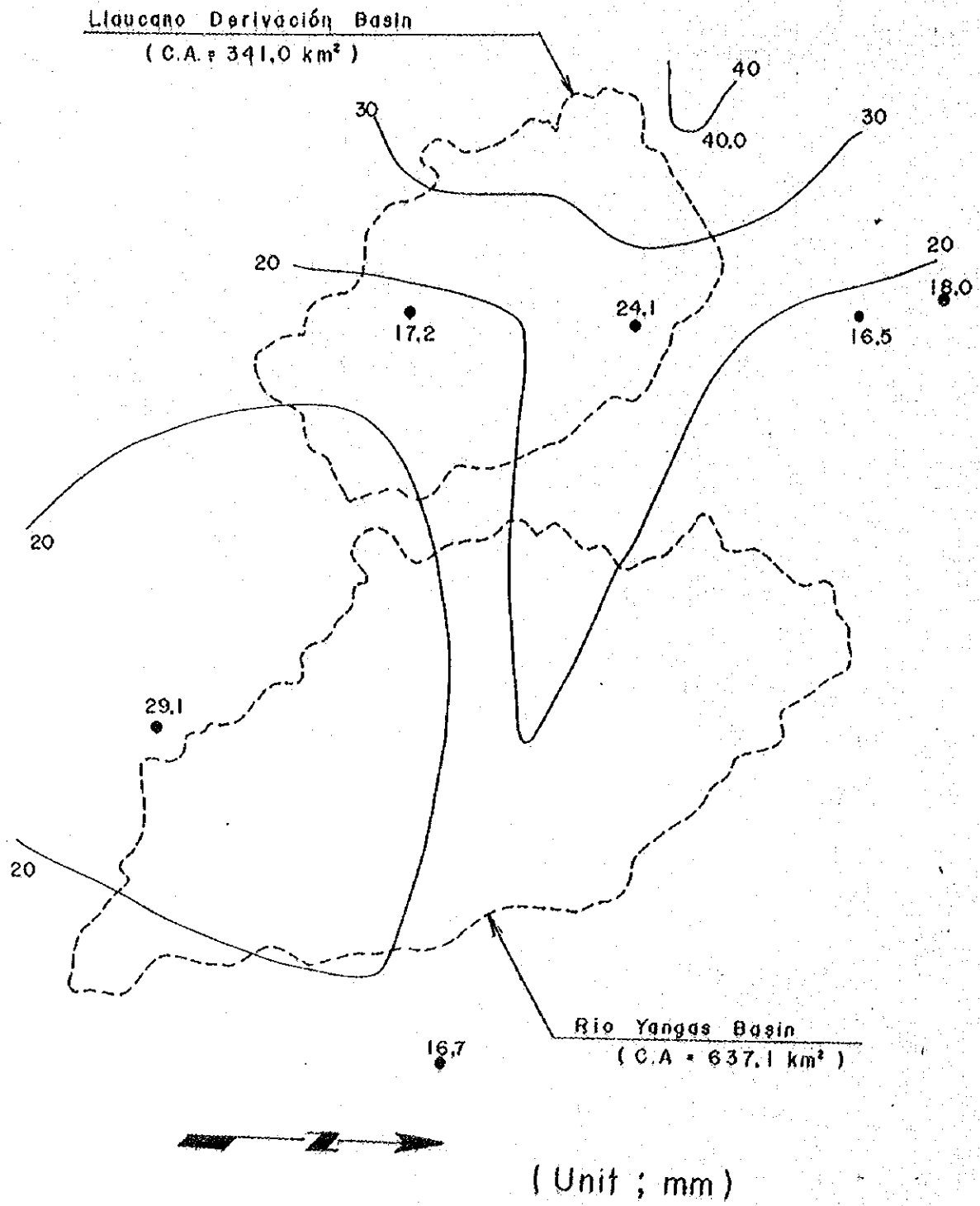


Fig. 6-10 Altitude Vs Rainfall

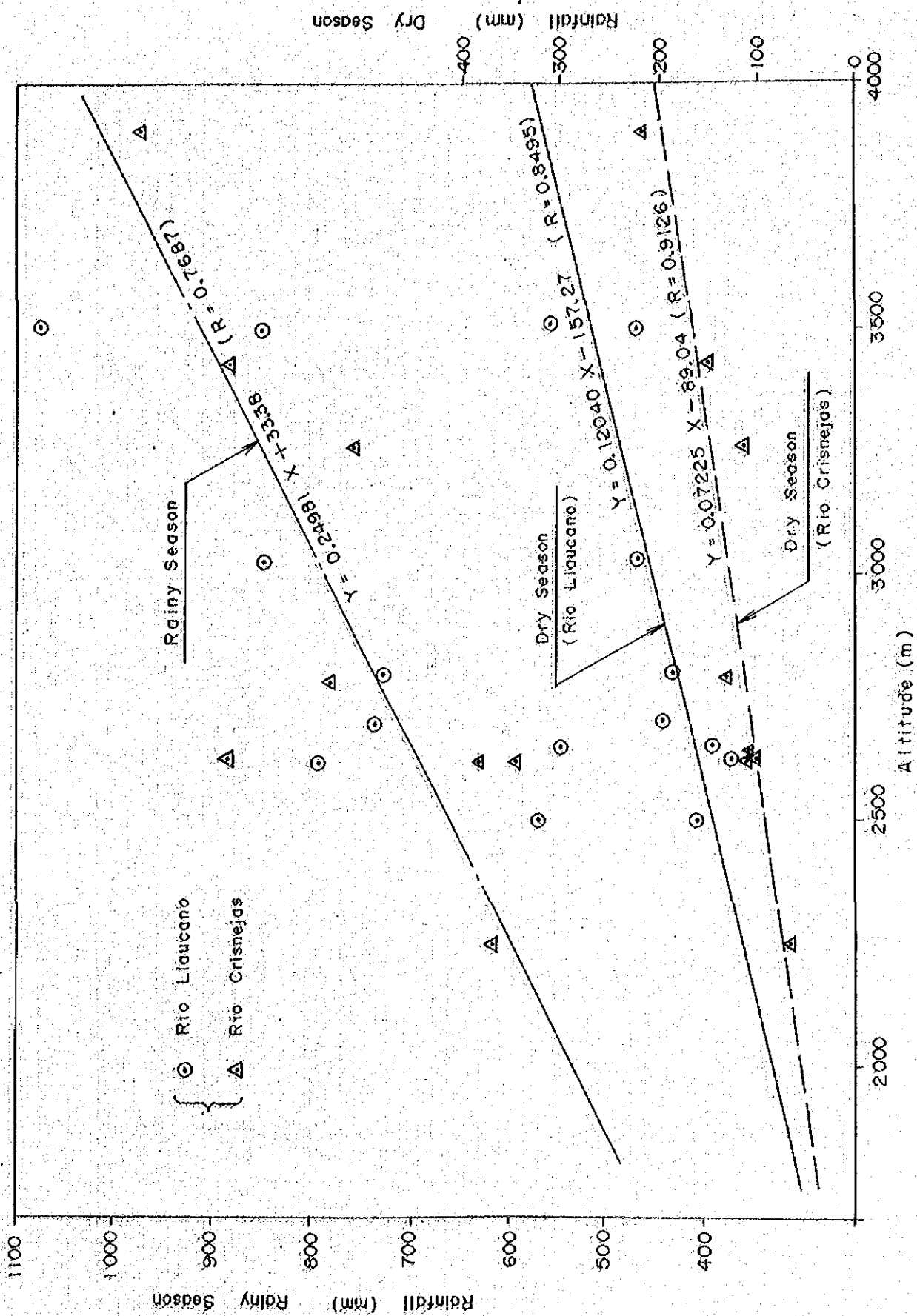


Fig. 6-11 Probable Point Rainfall (Cajamarca)

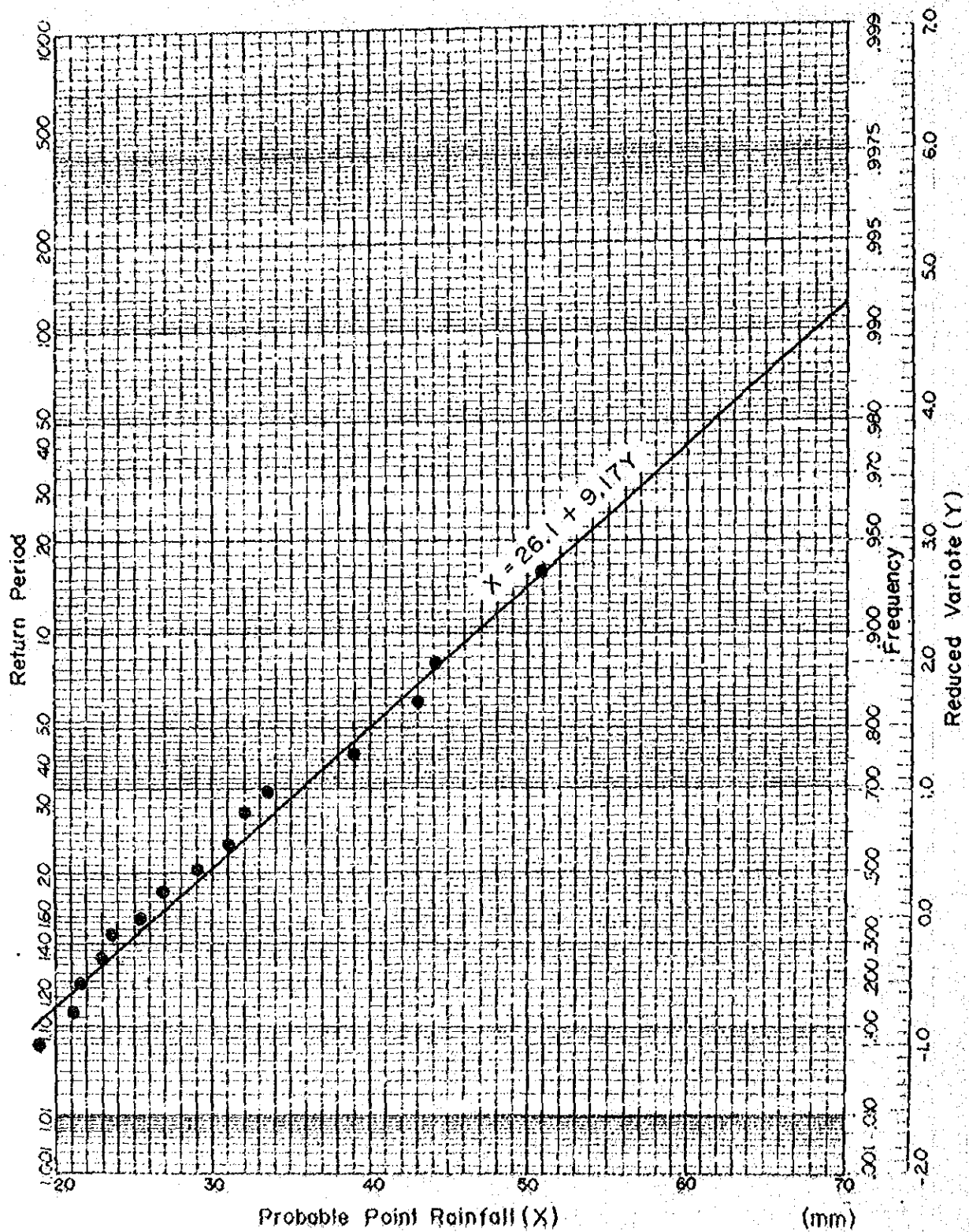


Fig. 6-12 Triangular Hydrograph Analysis

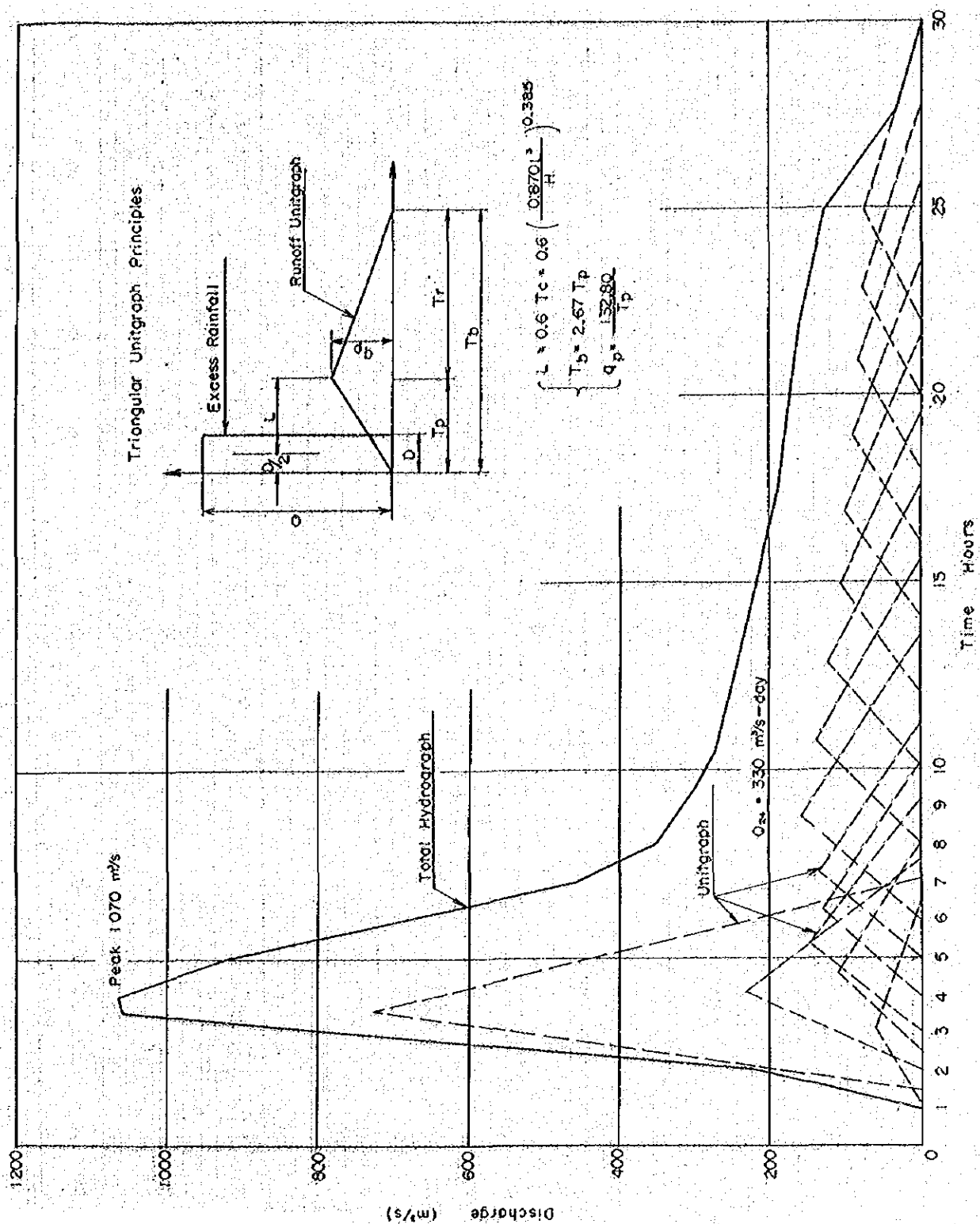


Fig. 6-13 Probable Daily Runoff (Llaucano Derivación)

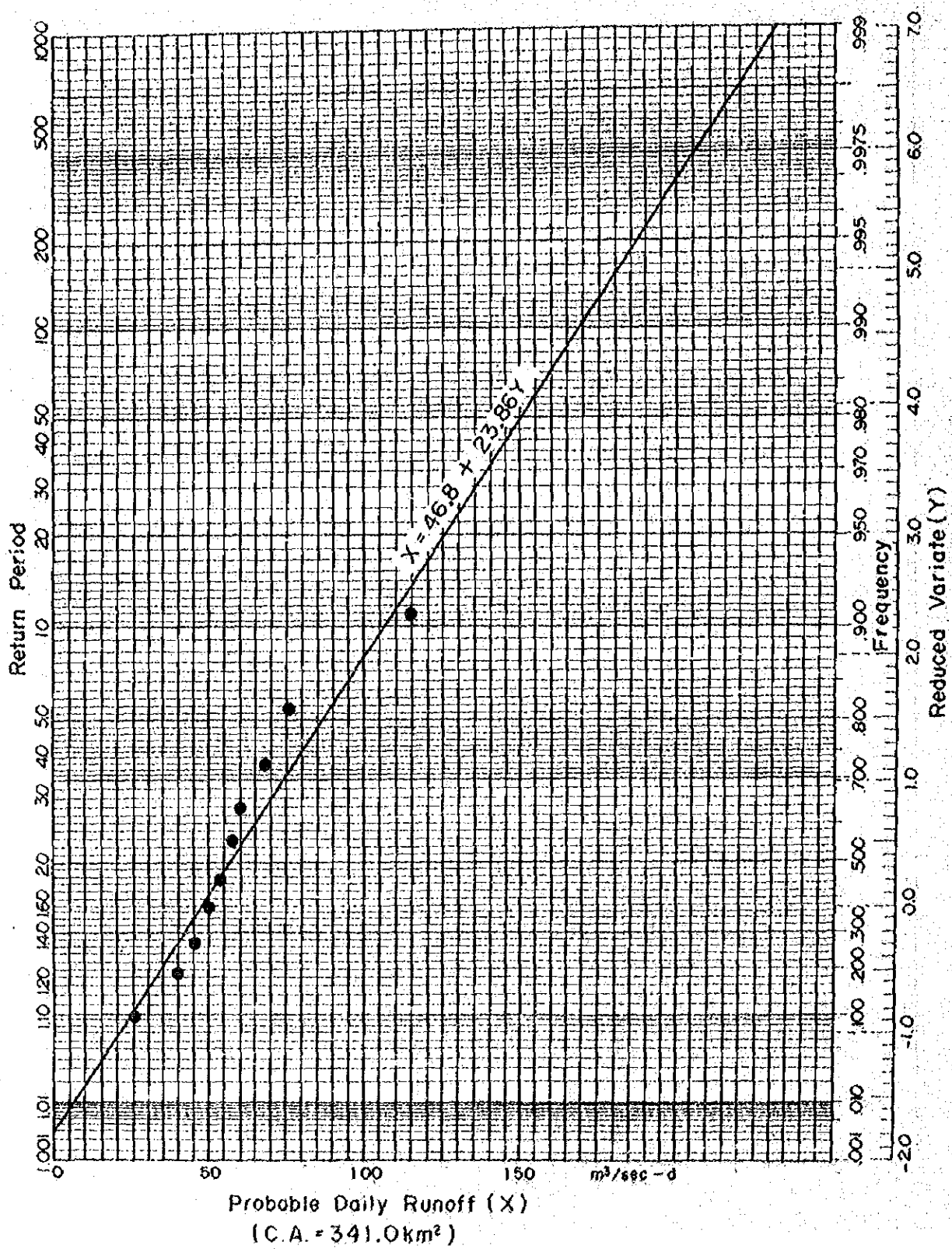


Fig. 6-14 Observed Evaporation Data and "Rohwer Equation Lines"

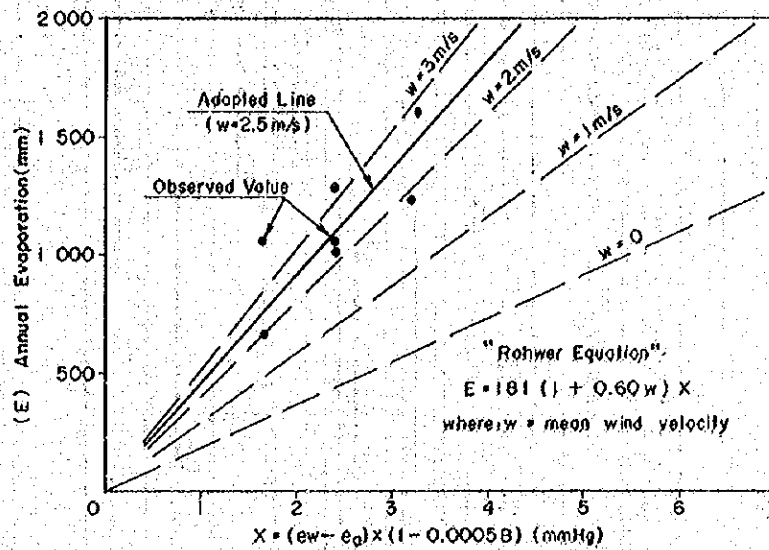


Fig. 6-15 Measured Rates of Reservoir Sedimentation of the Western United States

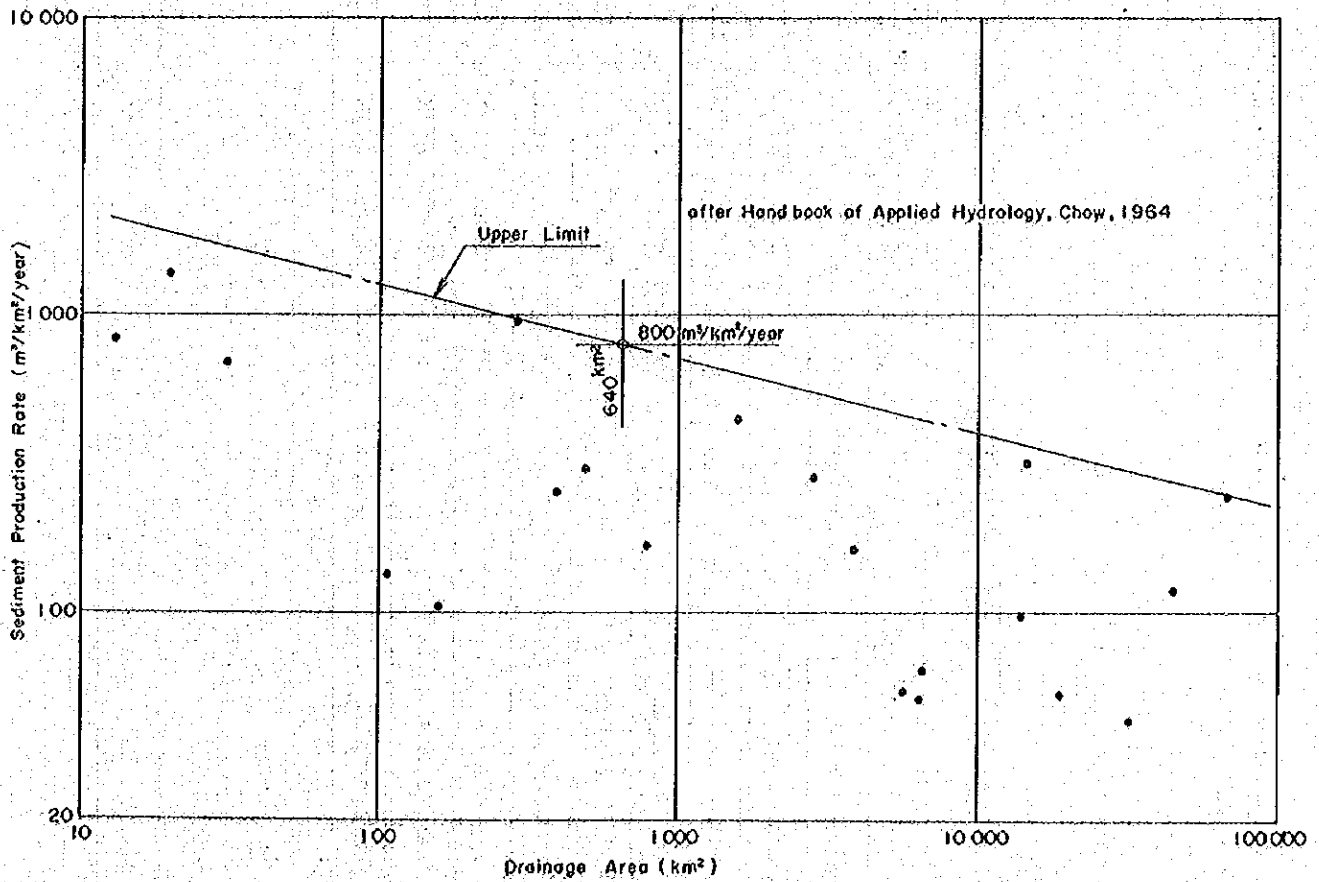


Table 6-1 (b) Rainfall Observatory Station and Existing Data
(Monthly Record)

No.	NAME OF STATION	RIVER	LOCATION		CATCHMENT AREA (km ²)	'61												
			Lat (s)	Long (w)			Altitude (m)	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72
1	Llaucano Derivación	Llaucano	6°45'	78°32'	2 570		Feb.											Sep.
2	Corellama	"	6°42'	78°31'	2 380		Sep.											Sep.
3	Llaucano Shugar	"	6°38'	78°28'	2 320		Feb.					Jan.						
4	Rio Pomagon	"	6°44'	78°31'	2 520		Feb.					Dec.						
5	Rio Cuñacales	"	6°42'	78°31'	2 500		Feb.				Nov.							
6	Rio Maygasbamba Puente	"	6°40'	78°32'	2 550							Jan.						Oct.
7	Qda. Shugar	"	6°38'	78°28'	2 780							Jan.			Dec.			Oct.
8	Qda. Choma	"	6°35'	78°25'	2 900		Feb.					Dec.						
9	Jadibamba	Yungas	6°52'	78°24'	3 550							Sep. Jun.						Oct.

Table 6-1 (a) Runoff Gaging Station and Existing Data

No	NAME OF STATION	RIVER	LOCATION		'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73
			Lat.(s)	Long.(w)	Altitude(m)															
11	Celendín	Yangos	6°52'	78°09'	2 620						Apr (July)									Aug
12	Hda. Negritos	Llucanó	6°54'	78°33'	3 500			Jul (May)			May Nov									(Aug)
13	La Lita	"	6°48'	78°31'	2 800					Jan								(Oct)		Oct
14	Huagayoc	"	6°45'	78°37'	3 510			Jul (Dec)			(Sep)	(Jul Aug)					(May)			Sep
15	Hda. Llucan	"	6°45'	78°32'	2 650					Oct										Nov
16	Bambamarca	"	6°40'	78°32'	2 500			Jul	(Oct)	(Oct)		(Aug)	(Aug Sep)						(Apr)	(Aug)
17	San Juan de Llamaca	"	6°38'	78°32'	2 700			Jul										(Oct)	(Oct)	May
18	Qda. Shugar	"	6°42'	78°26'	3 030			Jul												Aug
22	Cajamarca	Crisnejas	7°08'	78°28'	2 621															Nov
23	Matara	"	7°15'	78°16'	2 624	Jun				Sep		(Aug)		(Jun)	(Jun Jul)					Jan
24	San Marcos	"	7°20'	78°11'	2 254						Jan (Jun Jul)									Oct
25	Cachachi	"	7°27'	78°16'	2 400				Jan	Apr	Jan Jan Aug		(Feb Mar)					(Dec)		Jan
26	Hda. Jocos	"	7°31'	78°00'	2 630						Jul									Apr
27	Cajabamba	"	7°37'	78°03'	2 787					Oct		Dec Jan								Oct
28	Huamachuco	"	7°49'	78°03'	3 260					Dec	Oct (May)								May	
29	Brillantana	"	7°01'	78°19'	3 904.5							Aug								Jan
30	Campo Michiquillay	"	7°02'	78°20'	3 430					Apr										Jan

Table 6-2 Mean Monthly Precipitation in Yangas River
Estimated by Thiessen Method

Month	Unit; mm											
	Celendín		Brillantana		Hda. Negritos		La Llica		Yangas River			
	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	1' + 2'	2' + 3'	3' + 4'	1' + 2' + 3' + 4'
Jan.	85.7	26.0	134.8	52.8	105.1	5.5	80.2	20.3				104.6
Feb.	88.5	26.8	136.9	53.6	105.6	5.6	86.7	21.9				107.9
Mar.	130.7	39.6	170.5	66.7	160.2	8.4	124.1	31.4				146.1
Apr.	117.9	35.7	130.9	51.2	130.3	6.9	100.9	25.5				119.3
May	33.6	10.2	54.6	21.4	68.4	3.6	43.3	11.0				46.2
Jun.	19.8	6.0	38.9	15.2	34.3	1.8	26.1	6.6				29.6
Jul.	10.0	3.0	21.2	8.3	22.9	1.2	20.8	5.3				17.8
Aug.	16.7	5.1	29.1	11.4	17.2	0.9	24.1	6.1				23.5
Sep.	52.9	16.0	66.2	25.9	53.1	2.8	63.8	16.1				60.8
Oct.	108.1	32.7	158.3	62.0	143.4	7.5	136.4	34.5				136.7
Nov.	148.2	44.9	125.4	49.1	101.8	5.4	113.0	28.6				128.0
Dec.	102.9	31.2	112.6	44.1	81.7	4.3	80.0	20.2				99.8
Total	915.0	277.2	1179.4	461.6	1024.0	53.9	899.4	227.6				1020.3
Coefficient	0.3029		0.3914		0.0526		0.2531		1.0000			

notice; 1, 2, 3, 4 are the data observed at respective station.

1', 2', 3', 4' are the calculated area precipitation.

Table 6-3 Mean Monthly Streamflow at Yangas Dam Site
Estimated by Thiessen Method

Month	Llaucano Derivación G. S. (Llaucano River)			Yangas Dam Site	
	Area Precipitation	(R) Runoff	(Q) Runoff Coefficient	Area Precipitation	(R') Runoff
	mm	cu. m/sec		mm	cu. m/sec
Jan.	101.5	6.83	0.529	104.6	13.15
Feb.	105.8	8.14	0.546	107.9	15.51
Mar.	153.0	12.85	0.660	146.1	22.93
Apr.	124.4	12.44	0.760	119.3	22.29
May	59.9	5.01	0.657	46.2	7.22
Jun.	33.1	2.34	0.537	29.6	3.91
Jul.	24.0	1.56	0.511	17.8	2.16
Aug.	22.3	1.09	0.384	23.5	2.15
Sep.	60.5	1.58	0.199	60.8	2.97
Oct.	141.4	4.10	0.228	136.7	7.41
Nov.	109.7	7.37	0.511	128.0	16.07
Dec.	88.3	3.22	0.286	99.8	6.80
Total	1,023.6	(5.52)	(0.499)	1,020.3	(10.15)

$$\begin{cases} \alpha = \frac{86.4}{A} \cdot \frac{Q}{R} \cdot D \\ Q' = \alpha \cdot \frac{A'}{86.4} \cdot \frac{R'}{D} \end{cases}$$

A = 341.0 sq. km D; days of month

A' = 637.1 sq. km

Table 6-4 Mean Monthly Streamflow at Yangas Dam Site
Estimated by Isohyetal Maps

Month	Llancano Derivación G. S. (Llancano River)			Yangas Dam Site	
	Area (R)	Runoff (Q)	Runoff (d)	Area (R')	Runoff (Q')
	Precipitation mm	cu. m/sec	Coefficient	Precipitation mm	cu. m/sec
Jan.	106.0	6.83	0.506	96.5	11.61
Feb.	106.8	8.14	0.541	100.6	14.32
Mar.	154.0	12.85	0.656	137.8	21.49
Apr.	128.5	12.44	0.736	120.4	21.77
May	59.6	5.01	0.660	43.7	6.86
Jun.	34.1	2.34	0.522	24.4	3.12
Jul.	26.0	1.56	0.472	15.8	1.77
Aug.	25.2	1.09	0.356	19.5	1.65
Sep.	62.8	1.58	0.191	59.3	2.78
Oct.	138.8	4.10	0.232	122.0	6.73
Nov.	113.2	7.37	0.495	126.0	15.40
Dec.	96.3	3.22	0.263	96.6	6.03
Total	1,051.3	(5.54)	(0.469)	963.2	(9.46)

Table 6-5 Elevation Bands, Typical Stations and Data
for Elevation Method

Band	Elevation m	Typical Elevation m	Typical Rainfall G.S. (E.L.)	(Wet Season)	(Dry Season)	Yangas River		Llaucano Derivación G.S.	
						Drainage Area (qu. km)	Ratio (ai)	Drainage Area (qu. km)	Ratio (ai)
I	2750 - 2750	2500	Bambamarca (2500)	1.157	0.896	101.9	0.160	6.8	0.020
II	2750 - 3250	3000	Oda. Shugar (3030)	0.926	0.936	127.4	0.200	49.4	0.145
III	3250 - 3750	3500	Hda. Negritos (3500)	1.072	1.209	244.0	0.383	153.1	0.449
IV	3750 -	3900	Brillantana (3905)	1.039	1.474	163.8	0.257	131.6	0.386
Total				(Oct. - Apr.)	(May - Sep.)	637.1	1.000	341.0	1.000

$$R_A = \sum_{i=1}^n r_i \times a_i \times a_i$$

R_A : Area Rainfall
 r_i : Point Rainfall at gaging station i

Table 6-8 Mean Monthly Streamflow at Yangas Dam Site
Estimated by Elevation Method

Month	Llaucano Derivación G.S. (Llaucano River)			Yangas Dam Site	
	Area Precipitation	(R) Runoff	(Q) Runoff Coefficient	Area Precipitation	(R') Runoff
	mm	cu. m/sec	mm	mm	cu. m/sec
Jan.	119.5	6.83	0.449	109.6	11.71
Feb.	122.3	8.14	0.472	114.3	14.21
Mar.	169.3	12.85	0.596	157.9	22.39
Apr.	134.3	12.44	0.704	134.6	23.29
May	76.6	5.01	0.514	67.7	8.28
Jun.	45.6	2.34	0.390	39.4	3.78
Jul.	29.0	1.56	0.423	27.1	2.73
Aug.	29.0	1.09	0.295	25.2	1.77
Sep.	75.5	1.58	0.159	68.0	2.66
Oct.	153.1	4.10	0.210	144.8	7.23
Nov.	117.6	7.37	0.476	112.4	13.15
Dec.	99.9	3.22	0.253	94.3	5.67
Total	1,171.7	(5.52)	(0.436)	1,095.3	(9.69)

$$\begin{cases} \alpha = \frac{86.4}{A} \cdot \frac{Q}{R} \cdot D \\ Q' = \alpha \cdot \frac{A'}{86.4} \cdot \frac{R'}{D} \end{cases}$$

$$\therefore Q' = \frac{A'}{A} \cdot \frac{R'}{R} \cdot Q$$

A = 341.0 sq. km

D : days of month

A' = 637.1 sq. km

Table 6-7 Observed Evaporation Data

	Santa Cruz San Marcos (1940m)	Contumaza (2254)	Chota (2300)	Celendín (2410)	Hda Jocos (2620)	Cajamarca (2750)	Average
							Unit; mm
Jan.	73.9	118.4	70.3	80.6	37.4	88.0	99.1 82.4
Feb.	72.9	111.7	53.3	75.7	52.3	77.0	67.7 69.3
Mar.	62.1	78.0	35.4	60.5	39.0	68.0	98.1 64.8
Apr.	91.2	106.7	53.8	62.7	44.6	78.8	94.2 76.1
May	95.3	129.2	84.4	73.8	40.8	103.0	97.1 90.7
Jun.	97.4	145.9	100.4	85.4	51.4	116.2	104.1 100.7
Jul.	95.2	162.3	120.4	115.5	73.3	146.4	110.8 117.7
Aug.	96.4	173.5	125.2	121.7	77.7	163.6	116.4 124.7
Sep.	92.2	165.0	101.7	114.2	54.2	147.7	106.7 112.5
Oct.	96.2	138.2	95.8	103.9	61.4	105.1	110.2 102.2
Nov.	88.0	134.9	93.4	83.2	71.3	96.8	104.2 93.1
Dec.	93.2	129.8	78.4	86.6	59.0	93.8	120.0 94.4
Total	1,054.0	1,593.6	1,012.5	1,063.8	662.4	1,284.4	1,228.6 1,128.6

after Estudio de Las Características Climatológicas

, SENAMHI, 1974

Table 6-8 Analysis of Evaporation

Observatory Station	Altitude 2 (m)	Average Temp. 3 (°C)	Relative Humidity 4 (%)	Annual Evaporation (E) 5 (mm)	e_w (mm Hg) 6	e_a (mm Hg) 7	E (mm Hg) 8	X 9
Casca	1,330	19.6	73.4	-	-	-	-	-
Santa Cruz	1,940	17.6	77.2	1,054	15.1	11.7	601	2.38
San Juan	2,224	14.9	85.3	-	-	-	-	-
San Marcos	2,254	17.2	68.4	1,594	14.7	10.1	578	3.27
Contumaza	2,300	14.5	72.8	1,013	12.4	9.0	575	2.42
Chota	2,410	14.7	81.3	1,064	12.5	10.2	566	1.65
Cajamarca	2,750	13.8	62.5	1,230	11.8	7.4	543	3.21
Celendín	2,620	12.9	79.4	662	11.2	8.9	552	1.67
Hda. Jocos	2,630	14.7	73.3	1,284	12.5	9.2	551	2.39
Cajabamba	2,783	13.5	77.7	-	-	-	-	-
Granja Porcon	3,000	9.4	75.0	-	-	-	-	-
Average			75.1	1,129				

Note; 3, 4, 5 are observed data

6 is saturated vapor pressure of average temperature (3)

7 equal $6 \times 4 \div 100$

8 is standard atmospheric pressure at altitude 2

9 equal $(e_w - e_a) \times (1-0.0005 B)$

Relations between E (5) and X (9) are plotted in Fig. 6-14