

ペルー国
溪谷村落洪水対策事業準備調査

ファイナルレポート
I-6 サポートイングレポート
Annex-1 気象・水文・流出解析

平成 25 年 3 月
(2013 年 3 月)

独立行政法人 国際協力機構
八千代エンジニアリング株式会社
日本工営株式会社
中南米工営株式会社

環境
CR (4)
13 - 094



付図 調査対象地域

ペルー国
溪谷村落洪水対策事業準備調査
ファイナルレポート
I-6 サポートイングリポート
Annex-1 気象・水文・流出解析

目次

調査対象地域

第1章	序文	1
1.1	プロジェクトの背景.....	1
1.2	プロジェクトの目的.....	1
第2章	気象/水文	2
2.1	気温.....	2
2.1.1	チラ川.....	2
2.1.2	カニエテ川.....	3
2.1.3	チンチャ川.....	4
2.1.4	ピスコ川.....	5
2.1.5	ヤウカ川.....	7
2.1.6	マヘス-カマナ川.....	7
2.2	降雨量.....	9
2.2.1	チラ川流域.....	10
2.2.2	カニエテ川流域.....	14
2.2.3	チンチャ川流域.....	19
2.2.4	ピスコ川流域.....	24
2.2.5	ヤウカ川流域.....	29
2.2.6	マヘス - カマナ川流域.....	35
2.3	流量.....	41
2.3.1	チラ川流域.....	42
2.3.2	カニエテ川流域.....	44
2.3.3	チンチャ川流域.....	46
2.3.4	ピスコ川流域.....	48
2.3.5	ヤウカ川流域.....	49
2.3.6	マヘス - カマナ川流域.....	51
第3章	流出解析	52
3.1	実測流量に基づく確率規模別洪水流量.....	52

3.2	降雨量に基づく流出解析 (HEC-HMS システム)	57
3.2.1	HEC-HMS システムの概要	57
3.2.2	流域モデルの作成	58
3.2.3	降雨量解析	59
3.2.4	SSC 法による有効雨量の計算	63
3.2.5	確率規模別洪水流量および洪水波形の計算	72
3.3	解析結果の考察	75
3.3.1	ピーク流量の検証	75
3.3.2	カニエテ川確率 50 年規模洪水量	78

Appendix-1 Hydrologic Study of Majes-Camana River Basin

Appendix-2 Hydrologic Study of Cañete River Basin

Appendix-3 Hydrologic Study of Chincha River Basin

Appendix-4 Hydrologic Study of Pisco River Basin

Appendix-5 Hydrologic Study of Chira River Basin

Appendix-6 Hydrologic Study of Yauca River Basin

図 一 覧

図 2.1.1 1	La Esperanza, Chilaco および Mallares 観測所における月平均気温	2
図 2.1.1 2	La Toma Catamayo, Vilcabamba, Malactos および Quinara 観測所における月平均気温	2
図 2.1.1 3	Zapoltillo, Macara および Sausal de Culucan 観測所における月平均気温	3
図 2.1.2 1	カニエテ川流域および近傍の観測所における月平均気温の分布	4
図 2.1.3 1	チンチャ川流域における観測所の月平均気温の分布	5
図 2.1.4 1	ピスコ川流域における観測所の月平均気温の分布	6
図 2.1.5 1	ヤウカ観測所における月平均気温(C°)の分布	7
図 2.1.6 1	観測所の標高と年平均気温の関係	9
図 2.1.6 2	年平均気温と標高 (2,000m以上)	9
図 2.2.1 1	観測地点位置図 (チラ川流域)	11
図 2.2.1 2	チラ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)	12
図 2.2.1 3	等雨量線図 (チラ川流域)	14
図 2.2.2 1	観測地点位置図 (カニエテ川流域)	16
図 2.2.2 2	カニエテ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)	17
図 2.2.2 3	等雨量線図 (カニエテ川流域)	19
図 2.2.3 1	観測地点位置図 (チンチャ川流域)	21
図 2.2.3 2	チンチャ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)	22
図 2.2.3 3	等雨量線図 (チンチャ川流域)	24

図 2.2.4 1	観測地点位置図 (ピスコ川流域)	26
図 2.2.4 2	ピスコ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)	27
図 2.2.4 3	等雨量線図 (ピスコ川流域)	29
図 2.2.5 1	観測地点位置図 (ヤウカ川流域)	31
図 2.2.5 2	ヤウカ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)	32
図 2.2.5 3	等雨量線図 (ヤウカ川流域)	34
図 2.2.6 1	観測地点位置図 (マヘス - カマナ川流域)	37
図 2.2.6 2	等雨量線図 (マヘス - カマナ川流域)	40
図 2.2.6 3	降雨継続時間 (2011 年 2 月および 2012 年 2 月洪水) (マヘス - カマナ川流域)	41
図 2.3.6 1	チラ川流域基準点位置	54
図 2.3.6 2	カニェテ川流域基準点位置	54
図 2.3.6 3	チンチャ川流域基準点位置	55
図 2.3.6 4	ピスコ川流域基準点位置	55
図 2.3.6 5	ヤウカ川流域基準点位置	56
図 2.3.6 6	マヘス - カマナ川流域基準点位置	56
図 3.2.2 1	マヘス - カマナ流域の流域分割	58
図 3.2.2 2	マヘス - カマナ流域の HEC-HMS モデル	59
図 3.2.3 1	確率 50 年 24 時間降雨量の等雨量線図 (マヘス - カマナ川)	60
図 3.2.3 2	雨量観測所とティーセン分割 (マヘス - カマナ川)	60
図 3.2.3 3	24 時間雨量の降雨量分布	62
図 3.2.3 4	24 時間雨量の配分	63
図 3.2.3 5	24 時間降雨量曲線のタイプと適用地域	63
図 3.2.4 1	カーブナンバー (CN) , 累加雨量 P および有効雨量 P_e の関係	64
図 3.2.4 2	マヘス - カマナ川流域における CN 採用値	65
図 3.2.4 3	近傍河川の位置	70
図 3.2.5 1	チラ川の洪水ハイドログラフ	73
図 3.2.5 2	カニェテ川の洪水ハイドログラフ	73
図 3.2.5 3	チンチャ川の洪水ハイドログラフ	74
図 3.2.5 4	ピスコ川の洪水ハイドログラフ	74
図 3.2.5 5	ヤウカ川の洪水ハイドログラフ	74
図 3.2.5 6	マヘス/カマナ川の洪水ハイドログラフ	75
図 3.3.1 1	ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (10 年確率)	76
図 3.3.1 2	ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (20 年確率)	76
図 3.3.1 3	ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (50 年確率)	77
図 3.3.1 4	ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (100 年確率)	77
図 3.3.2 1	Socsi 流量観測所地点断面図	78

表 一 覧

表 2.1.2 1	カニエテ川流域および近傍の観測所における月平均気温	4
表 2.1.3 1	チンチャ川および近傍流域の観測所における月平均気温(C°)	5
表 2.1.4 1	ピスコ川流域および近傍の流域における月平均気温(C°)	6
表 2.1.5 1	ヤウカ観測所における月平均気温(C°)	7
表 2.1.6 1	マヘス-カマナ川流域における観測所の標高と年平均気温	8
表 2.2.1 1	雨量観測地点一覧 (チラ川流域)	10
表 2.2.1 2	雨量観測データ収集期間 (チラ川流域)	10
表 2.2.1 3	チラ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)	11
表 2.2.1 4	チラ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)	13
表 2.2.2 1	雨量観測地点一覧 (カニエテ川流域)	15
表 2.2.2 2	雨量観測データ収集期間 (カニエテ川流域)	15
表 2.2.2 3	カニエテ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)	17
表 2.2.2 4	カニエテ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)	18
表 2.2.3 1	雨量観測地点一覧 (チンチャ川流域)	20
表 2.2.3 2	雨量観測データ収集期間 (チンチャ川流域)	20
表 2.2.3 3	チンチャ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)	22
表 2.2.3 4	チンチャ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)	23
表 2.2.4 1	雨量観測地点一覧 (ピスコ川流域)	25
表 2.2.4 2	雨量観測データ収集期間 (ピスコ川流域)	25
表 2.2.4 3	ピスコ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)	27
表 2.2.4 4	ピスコ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)	28
表 2.2.5 1	雨量観測地点一覧 (ヤウカ川流域)	30
表 2.2.5 2	雨量観測データ収集期間 (ヤウカ川流域)	30
表 2.2.5 3	ヤウカ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)	32
表 2.2.5 4	ヤウカ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)	33
表 2.2.6 1	雨量観測地点一覧 (マヘス - カマナ川流域)	35
表 2.2.6 2	雨量観測データ収集期間 (マヘス - カマナ川流域)	36
表 2.2.6 3	TISCO 観測所の月降雨量	38
表 2.2.6 4(1)	マヘス - カマナ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) (1/2)	39
	39
表 2.2.6 5(1)	マヘス - カマナ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) (2/2)	39
	39
表 2.2.6 1	各流域の水位・流量観測所の位置および観測期間	42
表 2.3.1 1	チラ川流域の流量観測所	42
表 2.3.1 2	年最大日流量(m ³ /s)	43
表 2.3.2 1	カニエテ川における流量観測所	44
表 2.3.2 2	カニエテ川流域 SOCSI CAÑETE 観測所における年最大流量	44
表 2.3.3 1	チンチャ川における流量観測所	46

表 2.3.3 2	チンチャ川流域 CONTA 観測所の年最大流量 (m ³ /sec)	46
表 2.3.4 1	ピスコ川における流量観測所	48
表 2.3.4 2	ピスコ川流域 LETRAYOC 観測所の年最大流量 (m ³ /sec)	48
表 2.3.5 1	ヤウカ川における流量観測所	49
表 2.3.5 2	ヤウカ川流域 SAN FRANCISCO ALTO 観測所の年最大流量 (m ³ /sec)	49
表 2.3.6 1	マヘス - カマナ川における流量観測所	51
表 2.3.6 2	マヘス - カマナ川流域観測所の年最大流量 (m ³ /sec)	52
表 2.3.6 1	基準地点確率規模流量	53
表 3.2.3 1	各降雨観測所における確率 24 時間降雨量 (マヘス - カマナ川流域)	59
表 3.2.3 2	マヘス - カマナ川流域の構成流域における確率 24 時間降雨量	61
表 3.2.3 3	SCS Hypothetical Storm における 24 時間降雨量累加曲線	62
表 3.2.4 1	CN の採用値	65
表 3.2.4 2(1)	土地利用および土質性状に基づく CN (1/3)	66
表 3.2.4 3 (2)	土地利用および土質性状に基づく CN (2/3)	67
表 3.2.4 4 (3)	土地利用および土質性状に基づく CN (3/3)	68
表 3.2.4 5	Ica 川流域の CN 値	71
表 3.2.4 6	Grande 川流域の CN 値	71
表 3.2.5 1	確率規模別洪水流量	72
表 3.2.5 2	確率規模別洪水比流量	72
表 3.2.5 3	既往最大流量と確率 50 年流量の比較	73
表 3.3.2 1	各河川の流出特性	79
表 3.3.2 2	各河川の基準地点の確率別流出量 (m ³ /s) 比較	79
表 3.3.2 3	各河川の基準地点の確率別 24 時間雨量 (mm)	80
表 3.3.2 4	各河川の基準地点における確率別 24 時間総降雨量 (千 m ³)	80
表 3.3.2 5	基準地点の確率別流量 (m ³ /s) / 流域面積 (km ²)	80
表 3.3.2 6	基準地点の確率流量 (m ³ /s) / 総雨量(千 m ³)	81
表 3.3.2 7	基準地点の確率別流量 (m ³ /s) / 総雨量 (千 m ³)	81
表 3.3.2 8	カニエテ川における確率規模流量の比較	82

第1章 序文

1.1 プロジェクトの背景

ペルー国（以下、「ペ」国）は、地震、津波などの自然災害リスクの高い国であり、洪水災害リスクも高く、特に数年の周期で発生するエルニーニョ現象が起こる年は、各地で豪雨による洪水・土砂災害が多発するといわれている。近年においても 1982-1983 年および 1997-1998 年にエルニーニョ現象により大きな被害を受けているが、中でも最も被害が大きかったのは、エルニーニョ現象が発生した 1997 年から 1998 年にかけての雨季で、洪水・土砂災害等により「ペ」国全体で 35 億ドルもの被害を受けた。直近の洪水災害としては、2010 年 1 月末に、世界遺産マチュピチュ付近が集中豪雨に見舞われて鉄道や道路が寸断されるなどし、観光客ら約 2 千人が孤立した災害が発生したことは記憶に新しい。

このような背景のもと、農業省は 1999 年に河川流路整備・取水構造物保護プログラム（PEERPEC）を洪水危険地域の住民、農作地、農業インフラ等を保護する目的で開始した。同プログラムは中央政府とカウンターパートナーとして地方政府が資金手当てをして河川流域の防災事業に取り組むものであった。しかしながら、実施された事業の規模は小規模なものであり、危険を回避するために十分なものといえなかった。

農業省水インフラ総局（DGIH）を通じて農業省は 2009 年に 9 流域を対象とした「溪谷村落洪水対策プログラム」のプロジェクトを作成した。しかしこのような規模の洪水対策事業の投資前調査を実施した経験・技術と資金が不足していたため、JICA（国際協力機構）に対して支援を要請した。

この要請に対して JICA（国際協力機構）と農業省（MINAG）は、かかる調査を JICA の円借款案形成の協力準備調査として実施するという方針を前提条件として協議を重ねた。そして、事前調査の内容や範囲、実施スケジュール、双方の対応措置などを取り決めた協議議事録に 2010 年 1 月 21 日と 2010 年 4 月 16 日に署名した。本調査は JICA（国際協力事業団）により取り決められたこれら合意に基づいて実施するものである。

1.2 プロジェクトの目的

① 上位目標

プロジェクトの目的は溪谷地域（Valles）および地域住民の洪水に対する高い脆弱性軽減し、地域における社会経済の発展を促進することである。

② プロジェクトの目的

本プロジェクトは次のコンポーネントによって構成され、それぞれを実施することによってプロジェクトの目的が達成される。

- 構造物対策
- 非構造物対策（植林、土砂制御）
- 技術支援（防災教育および能力開発）

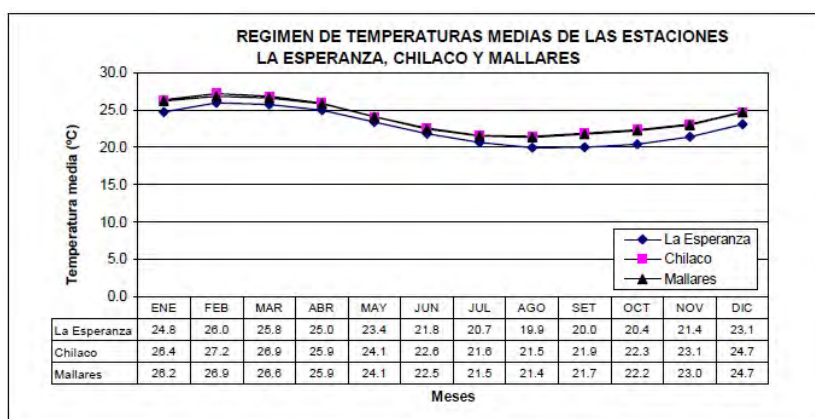
第2章 気象/水文

2.1 気温

各流域における気温の概要は次に示すとおりである。気温の観測は後述する雨量観測所および流量観測所において行われている。

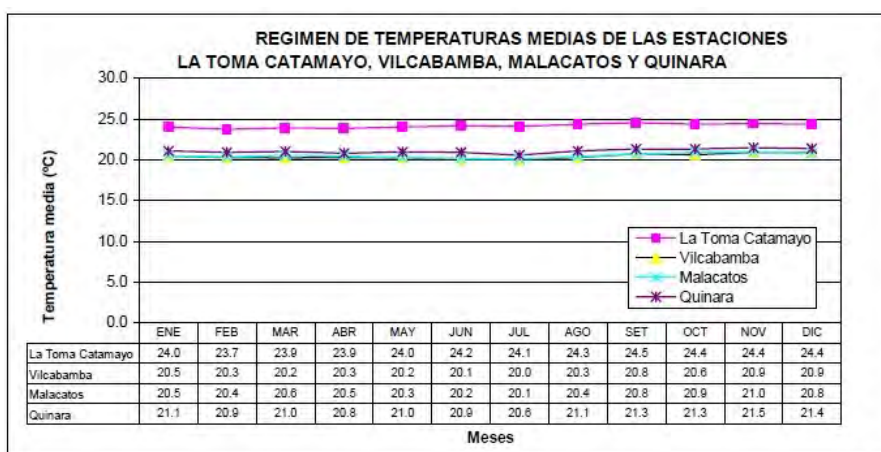
2.1.1 チラ川

チラ川流域の平均気温は下流域および中流域ではほぼ同様に 24 °C であるが上流域に行くに従って 13°C まで低下する。最高気温は 13 時から 15 時の間に生じ、標高の低い地域では 38 °C に達し (2 月または 3 月)、高い地域では 27 °C に達する。最低気温は 6 月から 8 月に生じ海岸地域では 15 °C となり、高地では 6 月から 9 月にかけて 8 °C となる。各観測所における月平均気温は図 2.1.1-1～図 2.1.1-3 に示すとおりである。



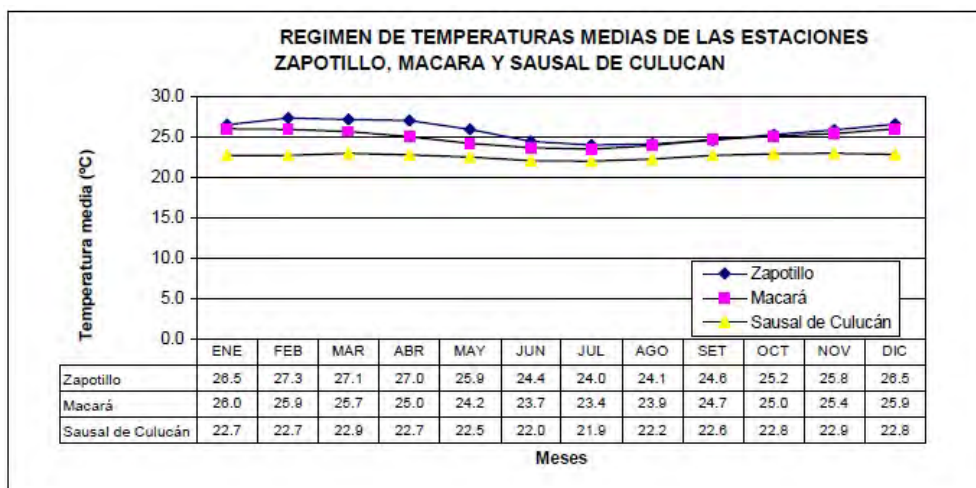
Fuente: Proyecto Binacional Catamayo – Chira

図 2.1.1-1 La Esperanza, Chilaco および Mallares 観測所における月平均気温



Fuente: Proyecto Binacional Catamayo – Chira

図 2.1.1-2 La Toma Catamayo, Vilcabamba, Malactos および Quinara 観測所における月平均気温



Fuente: Proyecto Binacional Catamayo – Chira

図 2.1.1-3 Zapotillo, Macara および Sausal de Culucan 観測所における月平均気温

2.1.2 カニエテ川

カニエテ流域におけるCañete, Pacarán および Yauyos観測所の月平均気温は

表 2.1.2-1および図 2.1.2-1に示すとおりである。

Pacarán stations および Cañete観測所の月平均気温の年間平均はほぼ同じでそれぞれ20.7 および 20.0 °Cとなっている。Yauyos観測所は標高2290mに位置しているのでやや低い 17.6°Cとなっている。

図からわかるようにPacarán と Cañeteは同様の傾向を示し、1月から4月にかけて高いが、標高の高いYauyosでは年間殆ど変化が無く、9月から11月にかけて若干高くなっている。

Cañete溪谷の月平均最高気温は1月および4月に生じ約28°Cとなっている。月平均最低気温は6月から9月に生じ14°Cである。過去最高および最低気温はそれぞれ33°C (1月) および 11.6°C (9月)である。

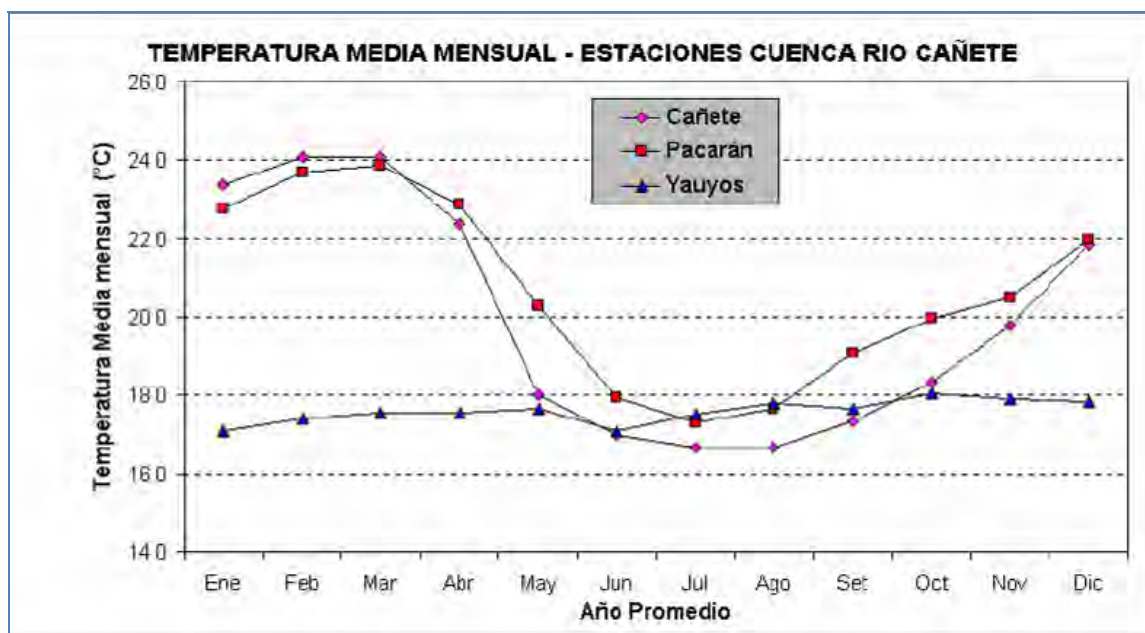
表 2.1.2-1 カニエテ川流域および近傍の観測所における月平均気温

ESTACION: YAUYOS													ALTITUD : 2.290 msnm	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	MEDIA	
Máx	18.6	18.9	18.3	18.7	18.6	17.9	18.7	18.3	17.9	18.6	18.8	18.8	18.2	
Min	15.6	16.5	16.6	16.9	17.1	16.6	16.9	17.5	17.3	17.1	17.1	17.3	17.1	
Prom.Mes	17.1	17.4	17.5	17.5	17.7	17.1	17.5	17.8	17.7	18.1	17.9	17.8	17.6	

ESTACION: PACARAN													ALTITUD : 700 msnm	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	MEDIA	
Máx	24.2	25.0	25.0	23.8	20.9	19.5	19.2	19.0	20.0	20.5	20.9	22.8	21.2	
Min	21.8	22.9	23.2	22.2	19.9	16.5	16.0	17.0	18.6	19.5	19.7	21.5	20.2	
Prom.Mes	22.8	23.7	23.9	22.9	20.3	17.9	17.3	17.6	19.1	20.0	20.5	22.0	20.7	

ESTACION: CAÑETE													ALTITUD : 150 msnm	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	MEDIA	
Máx	23.4	24.1	24.0	22.8	21.9	22.1	21.4	21.0	21.0	20.7	22.0	24.7	22.3	
Min	22.6	23.6	23.4	21.2	18.4	15.8	15.6	16.2	16.6	17.6	18.3	21.1	19.2	
Prom.Mes	23.4	24.1	24.1	22.4	18.0	17.0	16.7	16.7	17.3	18.3	19.8	21.8	20.0	

Source: Assessment and Management of Water Resources of the Cañete River Basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003



Source: Assessment and Management of Water Resources of the Cañete River Basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003

図 2.1.2-1 カニエテ川流域および近傍の観測所における月平均気温の分布

2.1.3 チンチャ川

チンチャ川流域におけるFonagro, Chinch de Castrovirreyna, Chinch de Yanac, Villa de Arma、San Pedro de Huacarpana および近傍のピスコ流域におけるHuancano, Agnocochoa 各観測所における月平均気温は表 2.1.3-1および図 2.1.3-1に示すとおりである。

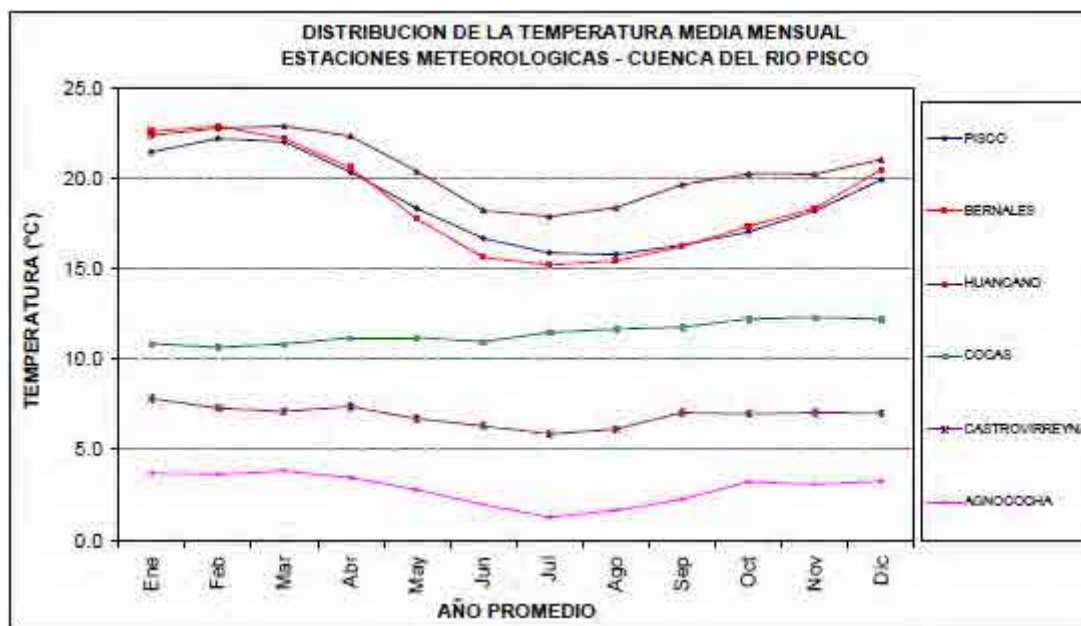
表 2.1.3-1より気温と標高には逆相関があることがわかる。年平均気温の平均値はFonagro (20.3° C) およびHuancano (20.6° C)において高く、Agnocochoa (2.8° C)において最小

を示している。また図 2.1.3-1に示すように年平均気温の分布はSan Juanで高くAcnocochoaで最小となっている。

表 2.1.3-1 チンチャ川および近傍流域の観測所における月平均気温(°C)

ESTACION METEOROLOGICA	ALTITUD msnm	AÑO PROMEDIO												MEDIA ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
FONAGRO	50	23.6	24.3	23.8	22.3	19.9	17.9	17.4	17.4	17.5	18.4	19.4	21.6	20.3
HUANCANO (*)	1006	22.4	22.8	22.9	22.4	20.4	18.3	17.9	18.4	19.7	20.3	20.3	21.1	20.6
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	2150	19.7	19.3	19.9	19.4	19.8	18.9	19.5	19.3	19.6	19.4	19.2	19.4	19.4
SAN JUAN DE YANAC	2400	14.8	14.9	15.0	14.9	15.9	15.5	15.5	16.1	15.8	15.8	15.4	16.1	15.5
HUACHOS	2680	15.1	14.7	14.7	14.7	15.2	15.2	14.9	15.9	15.8	15.8	15.1	16.0	15.2
VILLA DE ARMA	3280	11.8	10.4	11.3	12.0	12.6	12.3	13.0	12.6	13.2	12.8	11.7	11.4	12.1
S.P.HUACARPANA	3680	9.1	8.6	9.5	9.4	9.8	9.3	9.6	9.2	9.5	10.2	9.6	10.1	9.5
AGNOCOCHA (*)	4650	3.7	3.6	3.8	3.4	2.8	2.0	1.3	1.6	2.2	3.2	3.1	3.3	2.8

Source: Assessment and Management of Water Resources of the Chincha River Basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003



Source: Assessment and Management of Water Resources of the Chincha River Basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003

図 2.1.3-1 チンチャ川流域における観測所の月平均気温の分布

2.1.4 ピスコ川

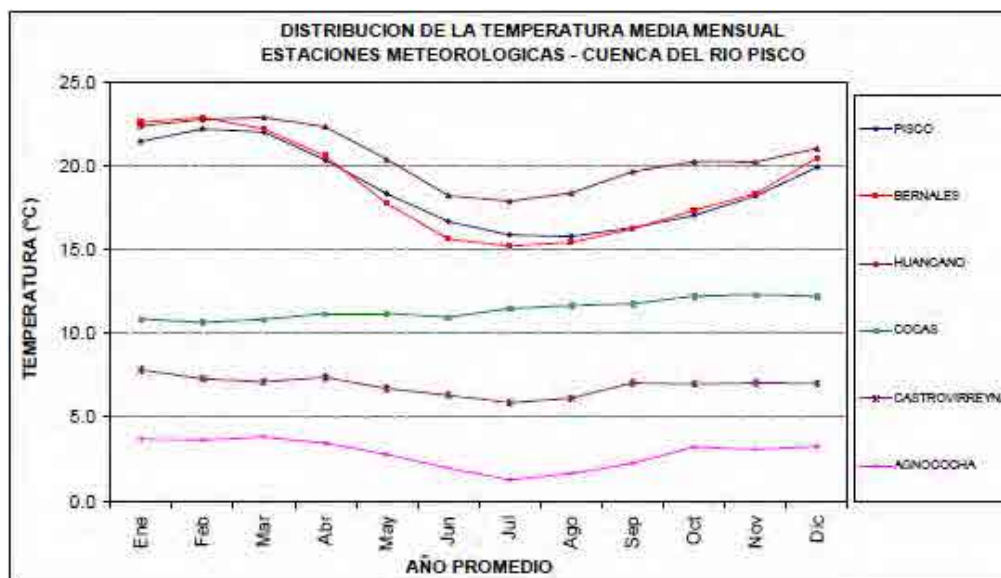
ピスコ川流域におけるPisco, Bernales, Huancano, Cokes, Acnocochoa, Castrovirreyna および近傍のイカ川流域におけるHuamaní, Acora, Tunnel Zero、San Pedro de Huacarpana 各観測所における月平均気温は表 2.1.4-1および図 2.1.4-1に示すとおりである。

表 2.1.4-1より気温と標高には逆相関があることがわかる。年平均気温の平均値はHuamani stations (20.5° C) およびHuancano (20.6° C)において高く、Tunel Cero (3.7° C) および Acnococha (2.8° C) において最小を示している。また図 2.1.4-1に示すように年平均気温の分布はPiscoおよびHancano Bernalesで高くAcnococha.で最小となっている。

表 2.1.4-1 ピスコ川流域および近傍の流域における月平均気温(°C)

N°	ESTACION METEOROLOGICA	ALTITUD msnm	AÑO PROMEDIO												MEDIA ANUAL
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1	PISCO	7	21.5	22.2	22.0	20.4	18.3	16.7	15.9	15.8	16.3	17.1	18.2	20.0	18.7
2	BERNALES	250	22.6	22.9	22.2	20.6	17.8	15.7	15.2	15.5	16.3	17.4	18.5	20.6	18.8
3	HUAMANI	800	23.0	23.8	23.7	22.0	20.1	17.5	16.6	17.5	18.8	19.9	20.7	22.0	20.5
4	HUANCANO	1006	22.4	22.8	22.9	22.4	20.4	18.3	17.9	18.4	19.7	20.3	20.3	21.1	20.6
5	ACORA	1800	17.2	17.4	17.8	17.3	16.7	16.2	16.5	16.6	16.8	17.3	17.2	17.5	17.0
6	COCAS	3246	10.9	11.0	10.8	11.2	11.2	11.0	11.5	11.7	11.9	12.2	12.3	12.2	11.5
7	S.P.HUACARPANA	3680	9.1	8.6	9.5	9.4	9.8	9.3	9.6	9.2	9.5	10.2	9.6	10.1	9.5
8	CASTROVIRREYNA	3956	7.8	7.3	7.1	7.4	6.7	6.3	5.9	6.1	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9
9	TUNEL CERO	4425	4.3	4.4	4.5	4.1	3.5	2.5	2.3	2.9	3.5	4.1	4.5	4.4	3.7
10	AGNOCOCHA	4650	3.7	3.6	3.8	3.4	2.8	2.0	1.3	1.6	2.2	3.2	3.1	3.3	2.8

Source: Assessment and Management of Water Resources of the Pisco River basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003



Source: Assessment and Management of Water Resources of the Pisco River basin. IRH-INRENA-MINAG, 2003

図 2.1.4-1 ピスコ川流域における観測所の月平均気温の分布

2.1.5 ヤウカ川

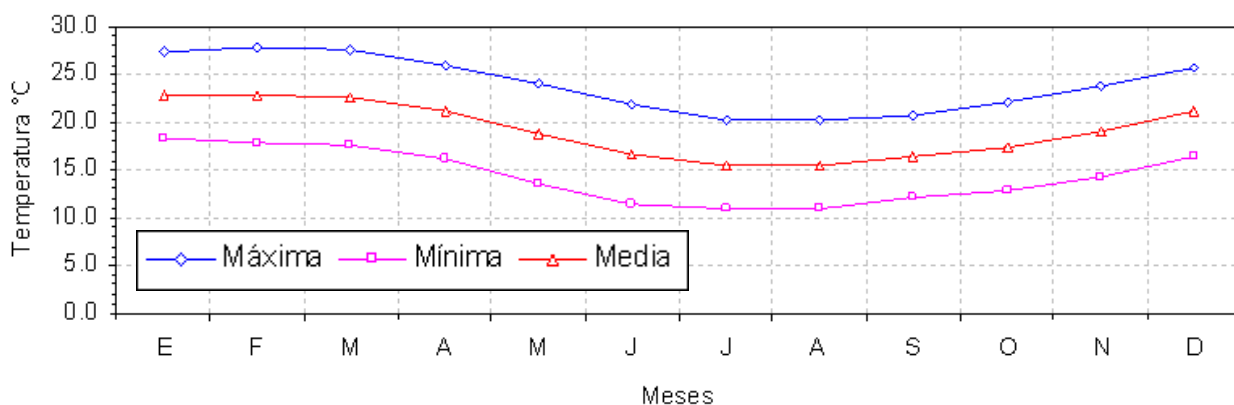
気温は標高の変化に最も関係している。ヤウカ川流域では海岸地域の準温暖地域（約 19°C）からアンデス高地の寒冷地域（約5°C）へと変化している。既存の観測所のうち信頼できる観測データがあるものはシエラおよび山地地域に位置するCoracora, Chavin および Sancosの3観測所および海岸地域のYauca観測所である。

前者の3観測所は調査対象地域から非常に離れているので、最も近いヤウカ観測所の月平均気温を表 2.1.5-1および図 2.1.5-1に示す。

表 2.1.5-1 ヤウカ観測所における月平均気温(C°)

TEMPERATURA	Mes												Promedio
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Maxima	27.40	27.90	27.60	26.00	24.00	21.90	20.30	20.10	20.70	22.10	23.90	25.80	23.98
Minima	18.30	17.80	17.70	16.30	13.60	11.30	10.90	11.00	12.20	12.80	14.40	16.40	14.39

Fuente: Asignación de Agua en Bloque en el Valle Yauca, ATDR Acari-Yauca-Puquio, 2006



Fuente: Asignación de Agua en Bloque en el Valle Yauca, ATDR Acari-Yauca-Puquio, 2006

図 2.1.5-1 ヤウカ観測所における月平均気温(C°)の分布

2.1.6 マヘス-カマナ川

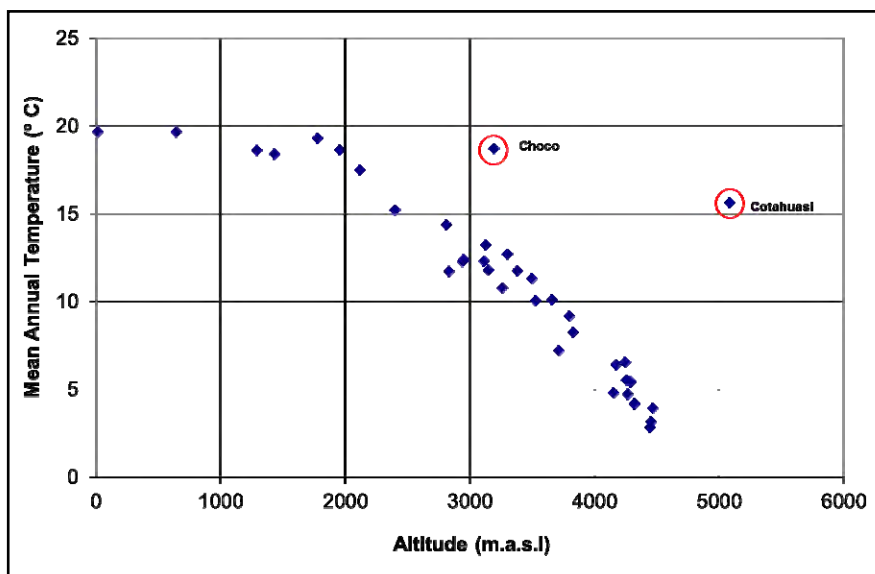
マヘス-カマナ川流域における年平均気温は標高 800m までの下流域では準温暖であり 19°C 程度であるが、標高が 800m 以上では次第に低下する。標高 2,200m と 3,100m の間に位置する Pampacolca および Chuquibamba 観測所では 10.8°C から 12.9°C の範囲となり、標高 3,100m から 3,900m の間に位置する Sibayo 観測所 (3,800m) では 7.8°C となっている。ただし月平均の最高は 20°C および最低は -6.8°C を示している。標高 3,900m から 4,800m に位置する Pañe 観測所の年平均気温は 3.1°C となっている。

各観測所における年平均気温と標高は表 2.1.6-1 に示すとおりとなる。また図 2.1.6-1 に標高と年平均気温の関係をしめす。さらに標高 2,000m 以上に位置する観測所について標高と年平均気温の関係は図 2.1.6-2 に示す通りとなり、極めて強い相関関係を示している。

表 2.1.6-1 マヘス-カマナ川流域における観測所の標高と年平均気温

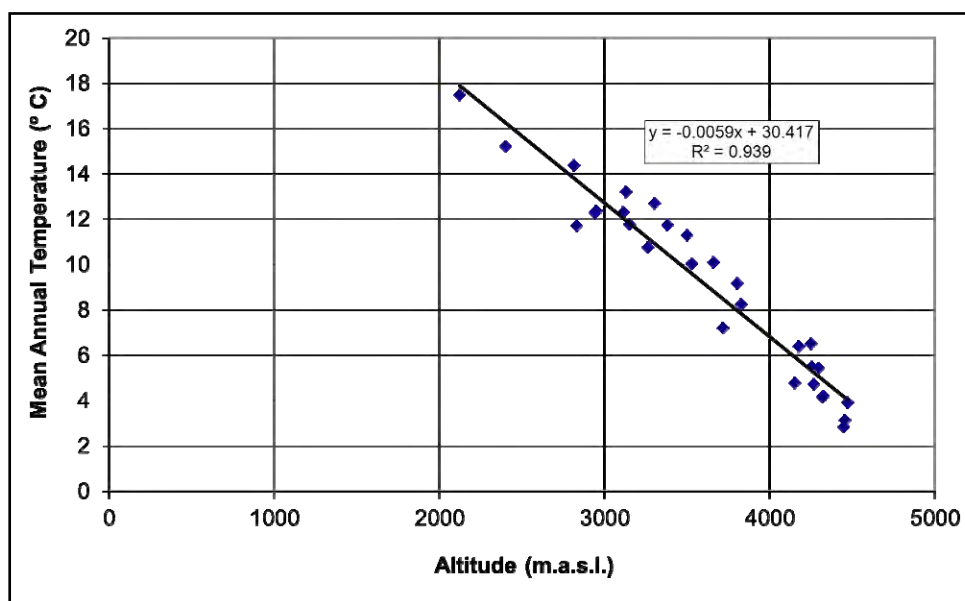
Weather Station	Altitude (m.a.s.l.)	Mean Annual Temperature (°C)
Andahua	3528	10.05
Aplao	645	19.67
Ayo	1956	18.64
Cabanaconde	3379	11.74
Camaná	15	19.67
Caravelí	1779	19.29
Chachas	3130	13.20
Chichas	2120	17.47
Chiguata	2943	12.27
Chivay	3661	10.09
Choco	3192	18.70
Chuquibamba	2832	11.71
Cotahuasi	5088	15.62
Crucero Alto	4470	3.91
El Frayle	4267	4.72
Huambo	3500	11.30
Imata	4445	2.83
La Angostura	4256	5.50
La Joya	1292	18.59
La Pampilla	2400	15.20
Lagunillas	4250	6.52
Las Salinas	4322	4.20
Machahuay	3150	11.76
Madrigal	3262	10.75
Orcopampa	3801	9.16
Pampa de Arrieros	3715	7.18
Pampa de Majes	1434	18.40
Pampacolca	2950	12.37
Pampahuta	4320	4.16
Pillones	4455	3.13
Porpera	4152	4.79
Pullhuay	3113	12.30
Salamanca	3303	12.68
Sibayo	3827	8.23
Sumbay	4294	5.42
Tisco	4175	6.39
Yanaquihua	2815	14.38

source: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
(SENAMHI)



source:Servicio Nacional de Meteorlogia e Hidrologia del Peru(SENAMHI)

図 2.1.6-1 観測所の標高と年平均気温の関係



source:Servicio Nacional de Meteorlogia e Hidrologia del Peru(SENAMHI)

図 2.1.6-2 年平均気温と標高 (2,000m以上)

2.2 降雨量

検討対象流域で行う流出解析に用いる降雨量の観測状況を把握するとともに、流出解析に必要な降雨データの収集および整理を行った。降雨量データは主として SENAMHI より収集した。自動観測は Chivay 降雨観測所で行われているが、それ以外は定時における手動観測で欠測期間が多い。今後、テレメータ式自動雨量計を導入し、降雨観測体制を整備する必要がある。なお、Chivay 降雨観測所では 2001 年にテレメータ式自動雨量計を導入しており、調査団は、2011 年 2 月および 2012 年 2 月の時間雨量データを収集した。

2.2.1 チラ川流域

(1) 降雨観測状況

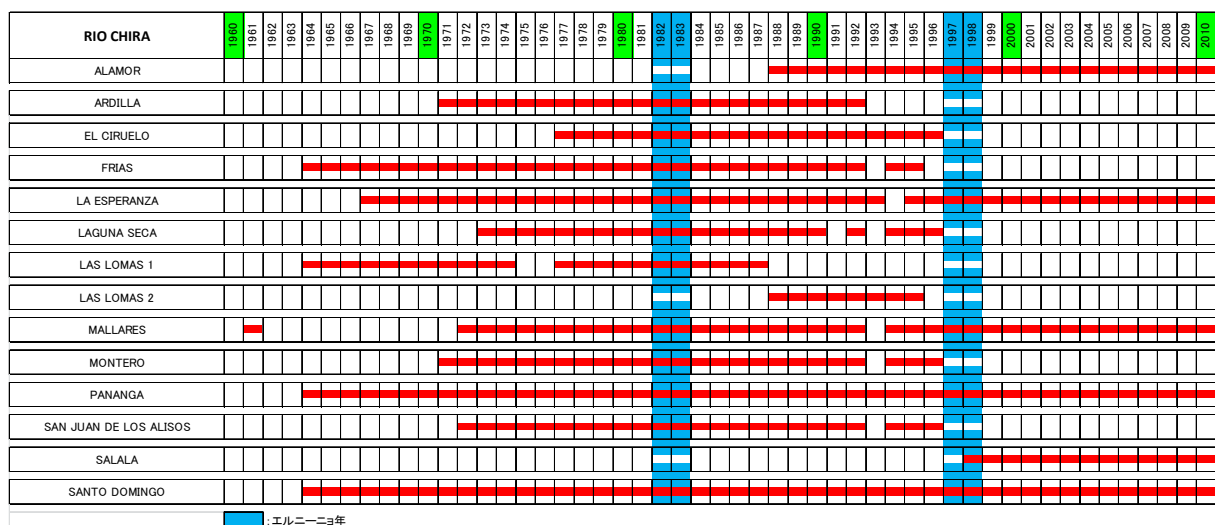
降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.1-1、表 2.2.1-2 および図 2.2.1-1～2 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、14箇所の観測所で雨量観測が行われており（現在観測中止地点含む以下同じ）、最長で1964年から2010年までの47年間観測が行われている。

表 2.2.1-1 雨量観測地点一覧（チラ川流域）

コード	観測地点	県	経度	緯度	担当機関
152202	ARDILLA (SOLANA BAJA)	PIURA	80° 26'1	04° 31'1	気象庁 SENAMHI
150003	EL CIRUELO	PIURA	80° 09'1	04° 18'1	
152108	FRIAS	PIURA	79° 51'1	04° 56'1	
230	LA ESPERANZA	PIURA	81° 04'4	04° 55'55	
152125	LAGUNA SECA	PIURA	79° 29'1	04° 53'1	
152104	LAS LOMAS 1	PIURA	80° 15'1	04° 38'1	
140	LAS LOMAS 2	PIURA	80° 15'1	04° 38'1	
208	MALLARES	PIURA	80° 44'44	04° 51'51	
152144	MONTERO	PIURA	79° 50'1	04° 38'1	
152101	PANANGA	PIURA	80° 53'53	04° 33'33	
152135	SAN JUAN DE LOS ALISOS	PIURA	79° 32'1	04° 58'1	
203	SALALA	PIURA	79° 27'27	05° 06'6	
152110	SANTO DOMINGO	PIURA	79° 53'1	05° 02'1	

表 2.2.1-2 雨量観測データ収集期間（チラ川流域）



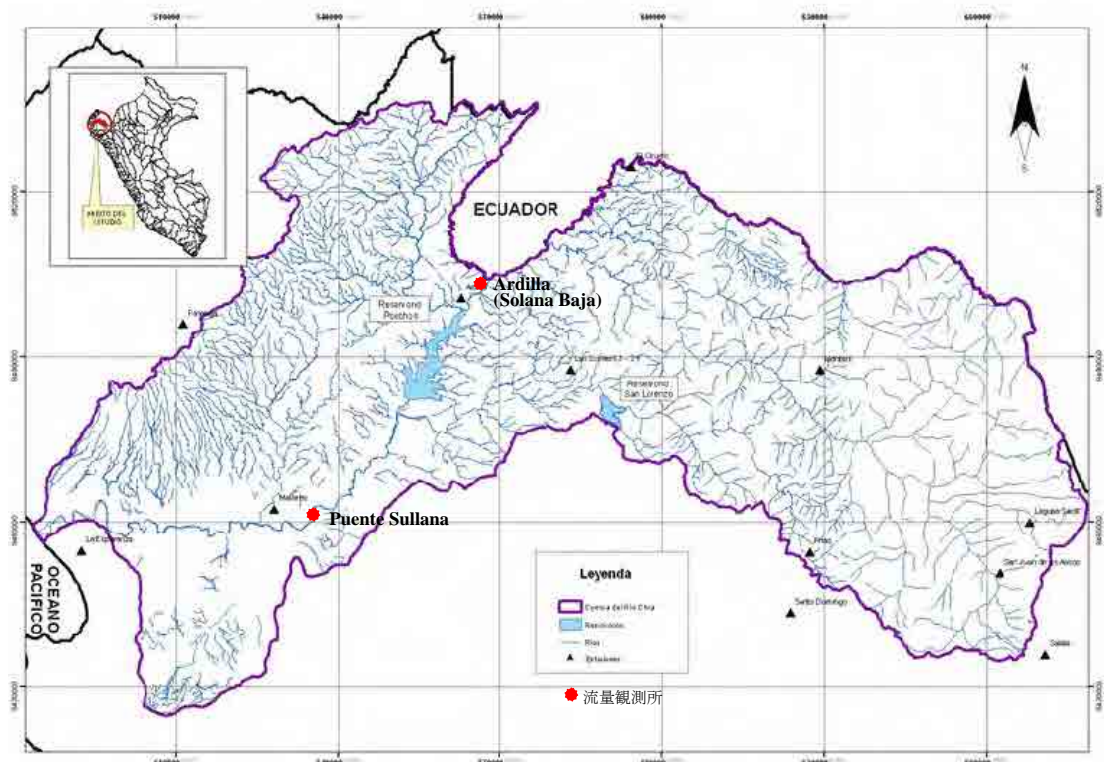


図 2.2.1-1 観測地点位置図 (チラ川流域)

(1) 月別降雨量

チラ川流域における雨量観測所の月平均雨量およびその分布を表 2.2.1-3 および図 2.2.1-2 に示す。

これ等の図および表より降雨量は10月から4月にかけて大きく、5月から9月にかけて非常に少なくなっている。さらに年間降雨量は La Esperanza 観測所の 100mm から Laguna Seca 観測所の 1,584mm まで変化している。

表 2.2.1-3 チラ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
ARDILLA	58.0	114.2	184.1	92.4	26.8	21.5	0.0	0.4	0.1	2.6	1.5	6.9	594.1
EL CIRUELO	102.2	161.0	231.1	141.0	22.1	8.1	1.3	0.2	0.6	2.6	4.4	30.3	680.3
FRIAS	180.3	251.8	308.4	155.7	54.1	12.6	4.0	5.3	10.3	19.2	19.2	74.1	1145.9
LA ESPERANZA	14.7	17.7	28.1	17.3	12.8	7.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	3.1	100.8
LAGUNA SECA	240.2	278.2	261.0	236.0	124.1	45.0	39.7	33.8	33.8	104.7	99.2	195.5	1584.1
LAS LOMAS 1	36.8	59.7	136.9	70.6	48.9	11.0	0.1	0.1	0.5	2.5	1.5	10.1	380.0
LAS LOMAS 2	8.3	86.9	123.0	53.0	5.7	0.6	0.1	0.1	0.0	0.2	2.2	5.9	287.6
MALLARES	30.2	46.3	69.6	37.5	15.0	0.4	0.2	0.2	0.3	1.0	0.9	8.2	221.5
MONTERO	123.7	181.2	296.1	191.1	79.9	29.3	5.5	5.8	7.8	17.6	15.1	45.7	987.4
PANANGA	39.3	59.9	95.2	43.8	14.3	3.9	0.1	0.0	0.2	0.8	0.9	11.4	272.5
SAN JUAN DE LOS ALISOS	186.7	222.7	229.5	184.7	68.9	33.9	18.3	18.8	22.1	67.2	72.7	145.4	1291.0
SALALA	104.4	138.9	128.0	114.7	82.4	58.4	51.4	27.1	33.3	81.1	84.0	104.0	1029.3
SANTO DOMINGO	169.0	263.7	370.6	217.4	74.5	12.7	2.8	4.3	10.7	16.6	28.6	76.7	1233.1

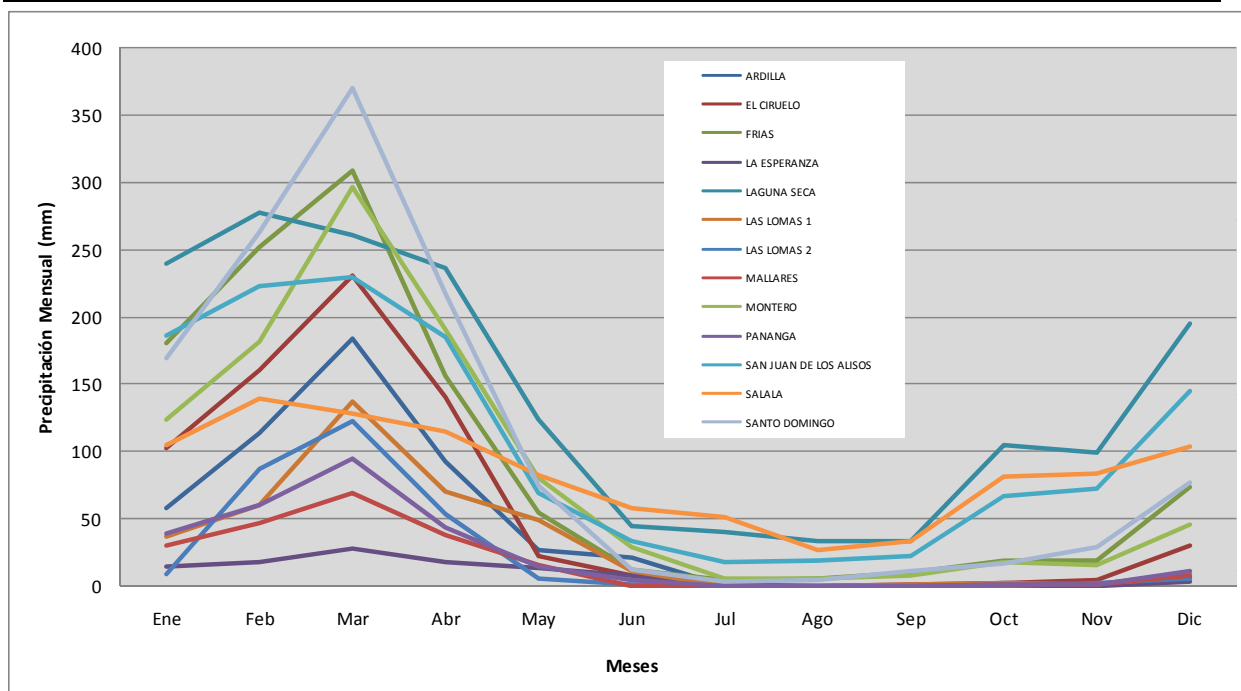


図 2.2.1-2 チラ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)

(2) 年最大 24 時間雨量

チラ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) は表 2.2.1-4 に示すとおりである。

表 2.2.1-4 チラ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)

Year	ARDILLA (SOLANA BAJA)	EL CIRUELO	FRIAS	LA ESPERAN ZA	LAGUNA SECA	LAS LOMAS 1	LAS LOMAS 2	MALLARE S	MONTER O	PANANGA	SAN JUAN DE LOS	SALALA	SANTO DOMINGO
1964						5.8				3.2			20.0
1965			13.8			102.0				154.0			65.6
1966			14.7			30.1				25.3			49.9
1967			12.2			59.3				11.6			64.6
1968			18.6	2.8		4.0				2.7			18.4
1969			75.2	20.0		40.0				40.0			58.4
1970				0.9		44.0				1.9			36.9
1971			69.0	0.0		57.2			93.7	21.5			82.6
1972	68.4		80.2			73.0		50.5	113.5	64.4			98.4
1973	95.8		90.7	22.0	162.3	56.0		31.0	48.4	34.6	79.2		91.2
1974	14.4			2.0	48.9	6.5		3.5	35.3	7.0	55.0		44.0
1975	47.5		53.4	18.9	90.0			10.9	57.8	62.0	64.5		51.5
1976			73.2					67.3	106.1	19.4	54.5		75.4
1977	107.1	135.9	88.4	13.9	106.0			10.8	69.1		91.4		85.9
1978		28.0	49.1	8.7	80.0	46.0		25.6	46.3	27.7	65.8		51.5
1979	24.1	30.0	88.5	2.0	50.0	12.2		2.7	43.3	4.5	55.4		41.9
1980	38.7	72.9	70.3	10.7	60.1	20.8			51.3	7.8	51.7		54.1
1981		93.2	66.7	3.2	65.0	84.9		9.6	55.5	14.0	63.8		90.9
1982		100.8	68.0	1.8	70.0	60.7		11.5	40.7	15.3	98.4		62.4
1983	151.9	209.1	120.6	134.8	77.0	165.0		148.1	74.0	85.5	65.8		119.5
1984	102.1	82.5	52.3	4.6	55.0	37.4		47.3	53.8	53.0	56.3		73.9
1985	35.1	49.7	66.6	11.3		8.5			25.9	10.0	43.2		42.3
1986	18.3	100.5	40.8	3.8	44.7	21.5		4.7	81.2	24.3	55.4		39.5
1987	152.4	152.3	78.4	32.8	41.3			64.0	80.4	82.2	90.0		55.1
1988	126.3	16.1	37.9	3.2	50.0		24.2	15.7	29.9	22.7	46.4		29.8
1989	152.5	91.0	66.8	9.3			117.3		55.5	37.8	79.1		68.0
1990		18.3	41.4	2.1			11.5	2.6	40.2	4.3			28.5
1991		105.3	164.0	1.5			21.8	15.4	36.9	11.4	60.1		60.3
1992							138.3			8.3			85.3
1993							51.3			67.2			60.4
1994		116.5	122.0		59.9		58.2	11.7	58.3	15.4	57.4		60.4
1995		85.0		8.8	65.7		37.0	1.8	59.0	23.7			76.4
1996				2.9						10.0			60.3
1997				24.7				85.8		71.4			59.8
1998				96.6				201.0		150.1		40.8	118.1
1999				22.8						55.0			71.1
2000				6.2				19.7		26.7		33.9	86.5
2001				14.5				62.5		60.2		34.2	49.0
2002				22.4				47.1		60.5		37.3	60.9
2003				8.6				12.9		41.8		34.4	46.2
2004				5.3				7.3		46.1		40.5	63.3
2005				1.5				6.1		28.3		29.5	80.8
2006				10.0				25.8		29.9			103.0
2007				3.7				8.4		36.4		44.2	61.1
2008				72.0				79.0		96.3		56.0	
2009				8.7						34.0		34.9	127.9
2010													

(3) 年平均等雨量線図

チラ川流域において観測された降雨データを基に SENAMHI により作成された年降雨量 (10 年平均値) の等雨量線図を図 2.2.1-3 に示す。

チラ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 50mm 程度以下、最大で 1000mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 50~200mm 程度とそれほど多くは無いが、今回検討を行っている 6 流域の中では、下流域の降雨量はもっとも多い流域である。

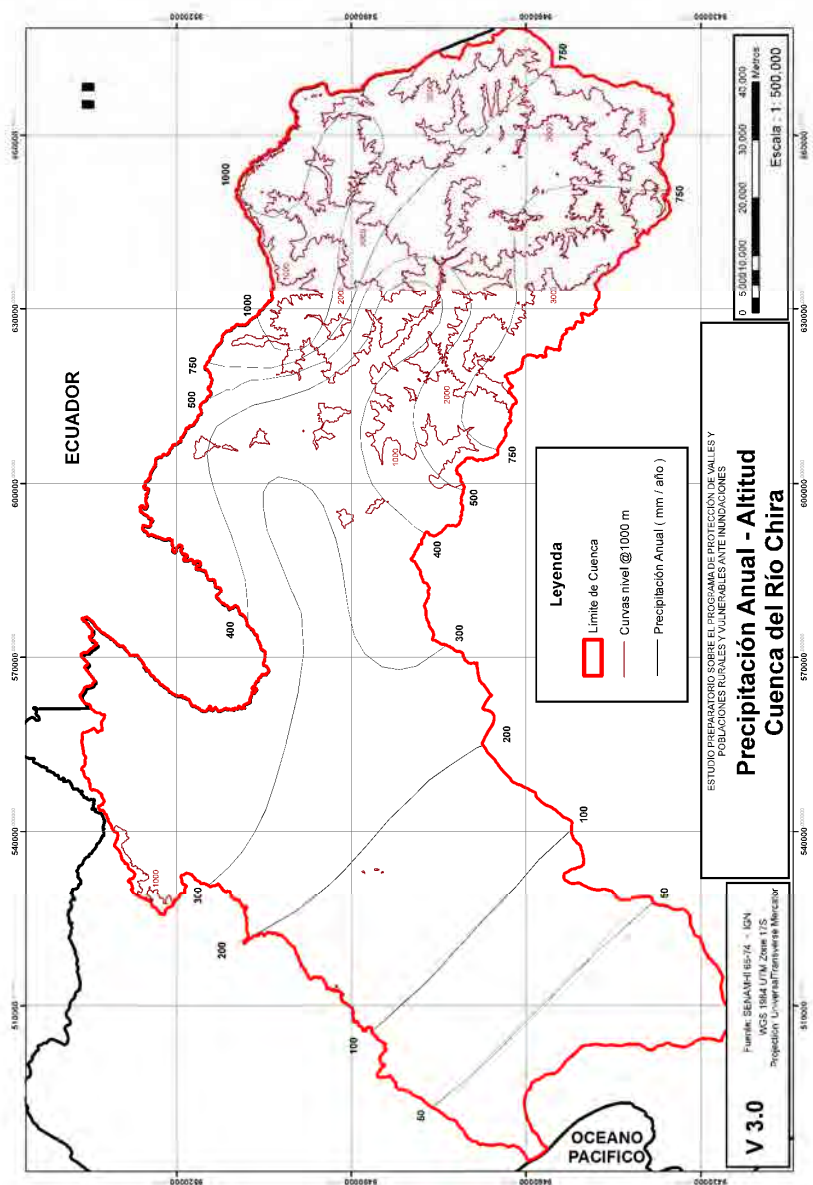


図 2.2.1-3 等雨量線図 (チラ川流域)

2.2.2 カニエテ川流域

(1) 降雨観測状況

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.2-1、表 2.2.2-2 および図 2.2.2-1 に示す。

カニエテ川流域ではこれまでに、13 箇所の観測所で雨量観測が行われており、最長で 1964 年から 2010 年までの 47 年間観測が行われている。

表 2.2.2-1 雨量観測地点一覧 (カニエテ川流域)

コード	観測地点	県	経度	緯度	担当機関
636	YAUYOS	LIMA	75° 54'38.2	12° 29'31.4	気象庁 SENAMHI
155450	YAURICOCHA	LIMA	75° 43'22.5	12° 19'0	
155169	TOMAS	LIMA	75° 45'1	12° 14'1	
156106	TANTA	LIMA	76° 01'1	12° 07'1	
6230	SOCSI CAÑETE	LIMA	76° 11'40	13° 01'42	
638	PACARAN	LIMA	76° 03'18.3	12° 51'43.4	
6641	NICOLAS FRANCO SILVERA	LIMA	76° 05'17	12° 53'57	
156112	HUANTAN	LIMA	75° 49'1	12° 27'1	
156110	HUANGASCAR	LIMA	75° 50'2.2	12° 53'55.8	
156107	COLONIA	LIMA	75° 53'1	12° 38'1	
156109	CARANIA	LIMA	75° 52'20.7	12° 20'40.8	
156104	AYAVIRI	LIMA	76° 08'1	12° 23'1	
489	COSMOS	JUNIN	75° 34'1	12° 09'1	

表 2.2.2-2 雨量観測データ収集期間 (カニエテ川流域)

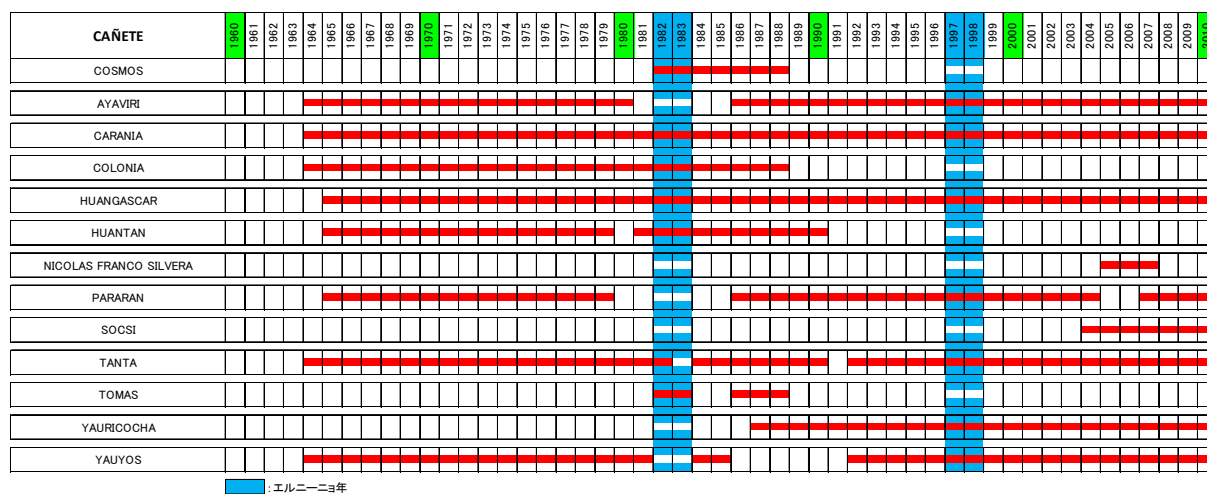




図 2.2.2-1 観測地点位置図 (カニエテ川流域)

(2) 月別降雨量

カニエテ川流域における雨量観測所の月平均雨量およびその分布を表 2.2.2-3 および図 2.2.2-2 に示す。

これ等の図および表より降雨量は 10 月から 4 月にかけて大きく、5 月から 9 月にかけて非常に少なくなっている。さらに年間降雨量は Socsi 観測所の 1.47 mm から Yauricocha 観測所の 1,016 mm まで変化している。

表 2.2.2-3 カニエテ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)

STATION	Month												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
YAUYOS	71.36	83.70	83.26	20.35	3.36	0.52	0.15	0.92	3.10	12.94	19.68	44.46	343.80
YAURICOCHA	178.17	168.19	169.94	92.76	20.76	9.40	10.52	20.85	37.28	88.02	81.24	138.64	1,015.78
TOMAS	128.45	119.02	100.86	67.50	21.93	17.36	11.13	14.36	35.34	44.19	55.36	86.90	702.39
TANTA	151.80	157.83	162.22	91.07	25.07	7.23	5.52	11.23	29.59	60.70	78.74	110.98	891.99
SOCSI CAÑETE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47
PACARAN	4.21	4.70	3.83	0.29	0.10	0.04	0.01	0.07	0.09	0.41	0.41	1.93	16.09
NICOLAS FRANCO SILVERA	1.80	4.57	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.33	11.50
HUANTAN	195.68	236.82	196.02	72.60	7.82	1.09	1.77	2.17	2.61	50.73	62.07	98.77	928.15
HUANGASCAR	59.94	72.77	85.06	9.93	0.63	0.20	0.03	0.25	0.43	2.23	6.45	24.95	262.87
COLONIA	84.62	109.69	127.22	27.47	3.15	0.35	0.79	0.56	3.81	15.23	21.41	64.96	459.25
CARANIA	118.12	118.97	126.34	43.37	12.69	3.80	3.19	4.98	11.01	27.60	32.47	79.56	582.10
AYAVIRI	119.80	137.90	151.32	46.06	5.25	0.02	0.28	0.83	1.93	10.36	17.37	56.67	547.80
COSMOS	110.38	99.85	110.09	53.48	24.93	4.10	7.03	13.01	32.87	49.44	52.59	95.53	653.29

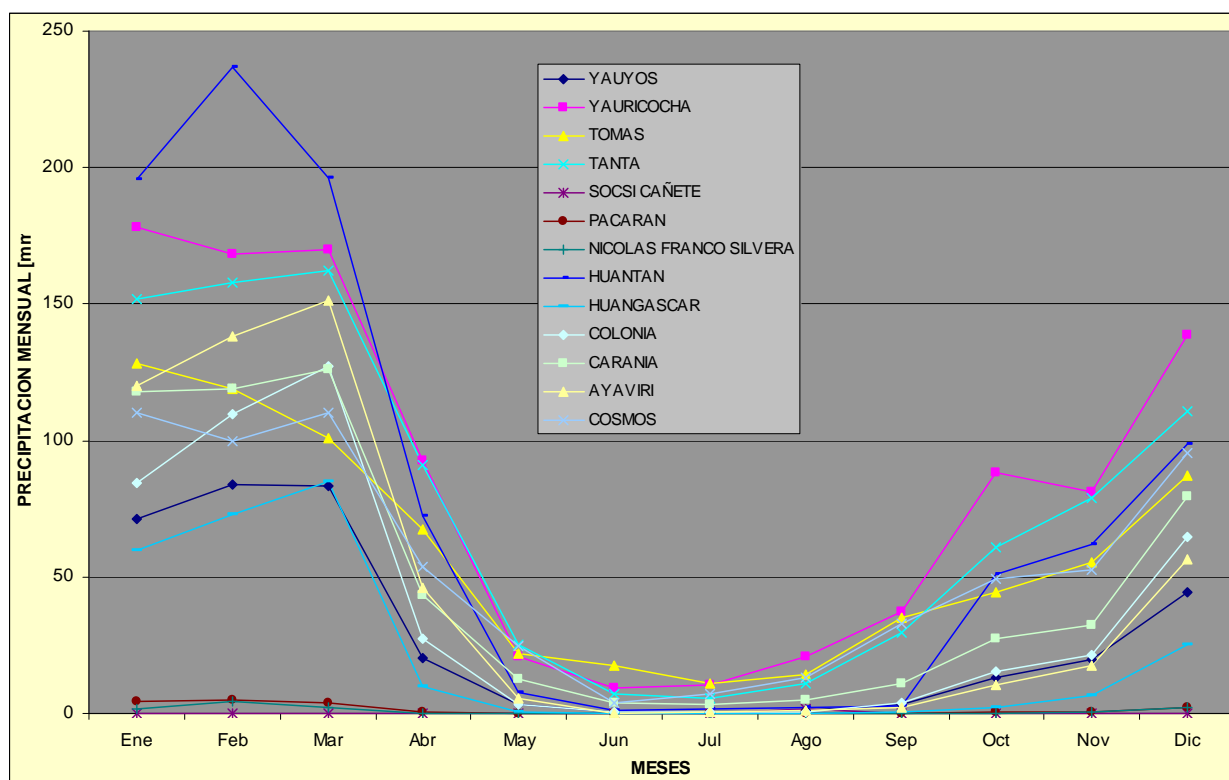


図 2.2.2-2 カニエテ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)

(3) 年最大 24 時間雨量

カニエテ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) は表 2.2.2-4 に示すとおりである。

表 2.2.2-4 カニエテ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)

Year	YAUYOS	YURICOO HA	TOMAS	TANTA	SOCASI CA NETE	PACARAN	NICOLAS FRANCO SILVERA	HUANTAN	HUANGAS CAR	COLONIA	CARANIA	AYAVIRI	COSMOS
1964	19.5			25.4						14.2	28.4	12.0	
1965	31.4			34.5		2.1		41.6	15.0	43.5	44.3	13.0	
1966	23.3			26.6		2.5		20.0	25.1	34.4	25.0	28.5	
1967	23.6			28.0		8.8			35.3	62.8	18.6		
1968				23.7				17.7	12.9	18.1		19.7	
1969	17.4			33.0					21.3	17.2	29.3	33.5	
1970	26.8			37.9		20.3		21.2	28.0	24.2	16.6	29.9	
1971	33.0			24.5		6.3		18.5	19.6	31.5	18.0	22.7	
1972				26.1		4.8		29.3	70.5	16.3	20.1	33.0	
1973	28.2			18.2		6.0		30.2	27.2	15.8	22.6	37.6	
1974	21.5			19.3		2.4		20.0	12.7	15.7	16.8	30.5	
1975	19.0			15.1		3.3		40.1	34.6	14.1	16.0	34.8	
1976	20.0			17.5		0.4		32.4		23.2	19.3	16.1	
1977	14.8			16.4		0.8			29.4	24.9	17.4	34.4	
1978	20.1			16.3		0.2		22.0	49.8	25.2	16.1	33.4	
1979	16.9			11.7					18.1		15.1	11.2	
1980	15.5			14.4					8.5			17.1	
1981	22.8			13.1					21.0	17.6	17.5		
1982			16.8	13.3				61.2	17.2		15.6		19.3
1983			9.8					33.6	9.7	21.5	16.6		15.5
1984	10.0			11.3				53.4	14.9		14.2		27.0
1985				12.4					13.8	8.0	12.9		
1986			17.5	18.0		3.5		36.2	19.0	26.5	20.0	32.7	33.7
1987		37.6	13.1	16.8		4.8		35.5	13.1	12.5	20.9	31.9	29.3
1988		28.8	13.6	13.8		3.3			20.4		33.1	23.8	
1989		26.1		13.9		6.0		27.7	20.0		24.4	39.4	
1990		30.8		15.8		1.2			20.0		26.0	25.6	
1991		24.0		11.5		1.5			19.0		12.4	27.4	
1992	6.3	21.5		16.0		1.2			5.0		15.1	29.9	
1993	17.3	40.5		41.6		3.0			20.0		16.0	29.7	
1994	31.5	21.8		26.4		9.0			24.0		14.1	30.2	
1995	12.2	20.2		27.0		6.2			30.0		13.5	30.2	
1996	24.3	16.6		31.7		2.6			23.0		16.1	24.6	
1997	18.8	28.2		27.4		3.6			25.3		14.6	46.2	
1998	14.7	27.6		41.8		5.5			33.8		14.1	32.4	
1999	19.9	24.4		24.5		11.2			24.3		15.6	23.1	
2000	12.9	58.6		28.9		3.8			30.6		27.0	35.4	
2001	13.3	20.6		22.7		5.6			12.8		14.9	24.0	
2002	11.6	25.8		28.2					24.8		17.7	28.7	
2003	14.4	60.4		28.0		4.4			15.0		18.9	18.2	
2004	14.2	41.3		32.9					17.7		21.4	29.2	
2005	13.6	30.4		22.0	0.0		6.4		13.0		20.5	21.0	
2006	20.6	26.2		29.5	0.0		3.0		25.1		30.1	26.5	
2007	19.8	29.0		33.6	0.0	2.3			14.6		23.4	34.2	
2008	19.9	15.4			0.0	2.6			24.0		21.9	30.4	
2009	15.1	26.9		69.2	8.0	6.0			14.8		20.5	27.3	
2010													

(4) 年平均等雨量線図

カニエテ川流域の等雨量線図を図 2.2.2-3 に示す。

チラ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

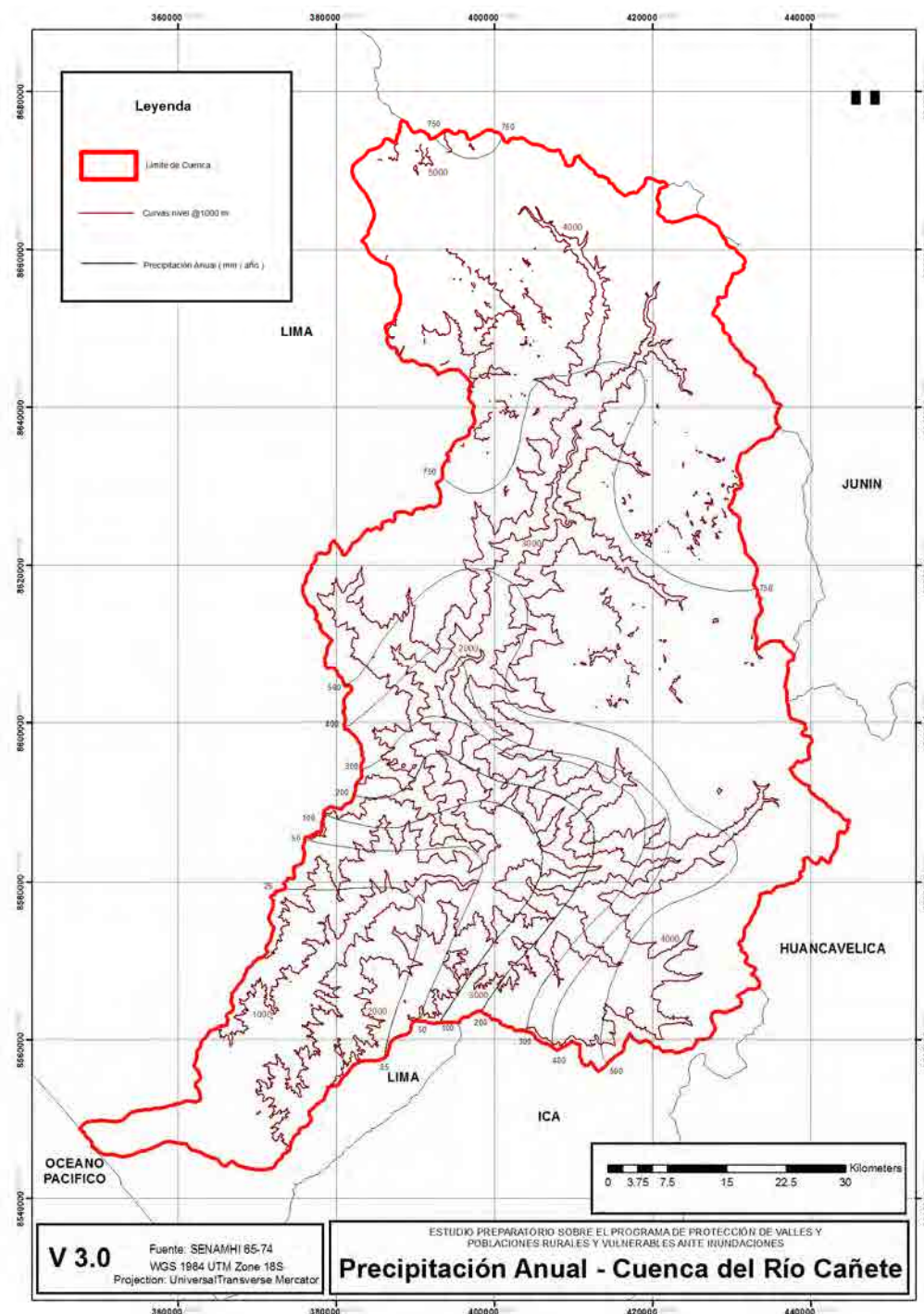


図 2.2.2-3 等雨量線図 (カニエテ川流域)

2.2.3 チンチャ川流域

(1) 降雨観測状況

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.3-1、表 2.2.3-2 および図 2.2.3-1 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、14 箇所の観測所で雨量観測が行われており、最長で 1980 年から 2010 年までの 31 年間観測が行われている。

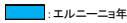
表 2.2.3-1 雨量観測地点一覧 (チンチャ川流域)

観測地点	コード	流域	分類	観測開始 年度	観測 年数	行政区			地理的立地			担当機関	稼働 状況
						県	郡	町	緯度	経度	標高		
CONTA	203501	San Juan	H-Im	1922	80	Ica	Chincha	Chincha Alta	13°27'	75°58'	320	水利組合	稼働中
FONAGRO	130791	San Juan	MAP	1966	17	Ica	Chincha	Chincha Baja	13°28'	76°08'	50	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	156114	San Juan	PLU	1966	37	Huancavelica	Castrovirreyna	San Juan	13°12'	75°38'	2150	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN JUAN DE YANAC	156113	San Juan	PLU	1964	37	Ica	Chincha	Chavin	13°13'	75°47'	2400	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
HUACHOS	151503	San Juan	PLU	1960	23	Huancavelica	Castrovirreyna	Huachos	13°14'	75°32'	2680	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
VILLA DE ARMAS	110641	San Juan	CO	1964	27	Huancavelica	Castrovirreyna	Arma	13°08'	75°22'	3600	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN PEDRO DE HUACARPANA	156115	San Juan	CO	1964	34	Ica	Chincha	S.P.Huacarpa	13°03'	75°39'	3680	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
LAGUNA HUICHIN	156129	San Juan	PLU	1960	18	Huancavelica	Castrovirreyna	Aurahua	13°02'	75°34'	3480	気象庁 (SENAMHI)	停止中
TANTARA	110633	San Juan	PLU	1960	18	Huancavelica	Castrovirreyna	Tantara	13°14'	75°37'		気象庁 (SENAMHI)	停止中
CHUNCHO	110631	Mantaro	PLU	1945	23	Lima	Yauyos	Tupe	12°45'	75°57'	4695	San Juan灌漑システ	停止中
BERNALES	110650	Pisco	CO	1964	39	Ica	Pisco	Humay	13°45'	75°57'	250	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
HUANCANO	110639	Pisco	CO	1964	39	Ica	Pisco	Huancano	13°36'	76°37'	1006	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
TICRAPO	110643	Pisco	PLU	1964	39	Huancavelica	Castrovirreyna	Ticrapo	13°23'	75°26'	2174	気象庁 (SENAMHI)	停止中
TOTORA	110644	Pisco	PLU	1964	39	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13°08'	75°19'	3900	気象庁 (SENAMHI)	停止中

H-Im:自動水量計測 MAP:農業用気象観測
 PLU:雨量観測 CO:気候観測

表 2.2.3-2 雨量観測データ収集期間 (チンチャ川流域)

	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010							
CHINCHA																																																										
HUACHOS																																																										
VILLA DE ARMAS																																																										
CONTA																																																										
FONAGRO (CHINCHA)																																																										
SAN JUAN DE YANAC																																																										
SAN PEDRO DE HUACARPANA																																																										
SAN PEDRO DE HUACARPANA 2																																																										
TOTORA																																																										
TICRAPO																																																										
COCAS																																																										

 : エルニーニョ年

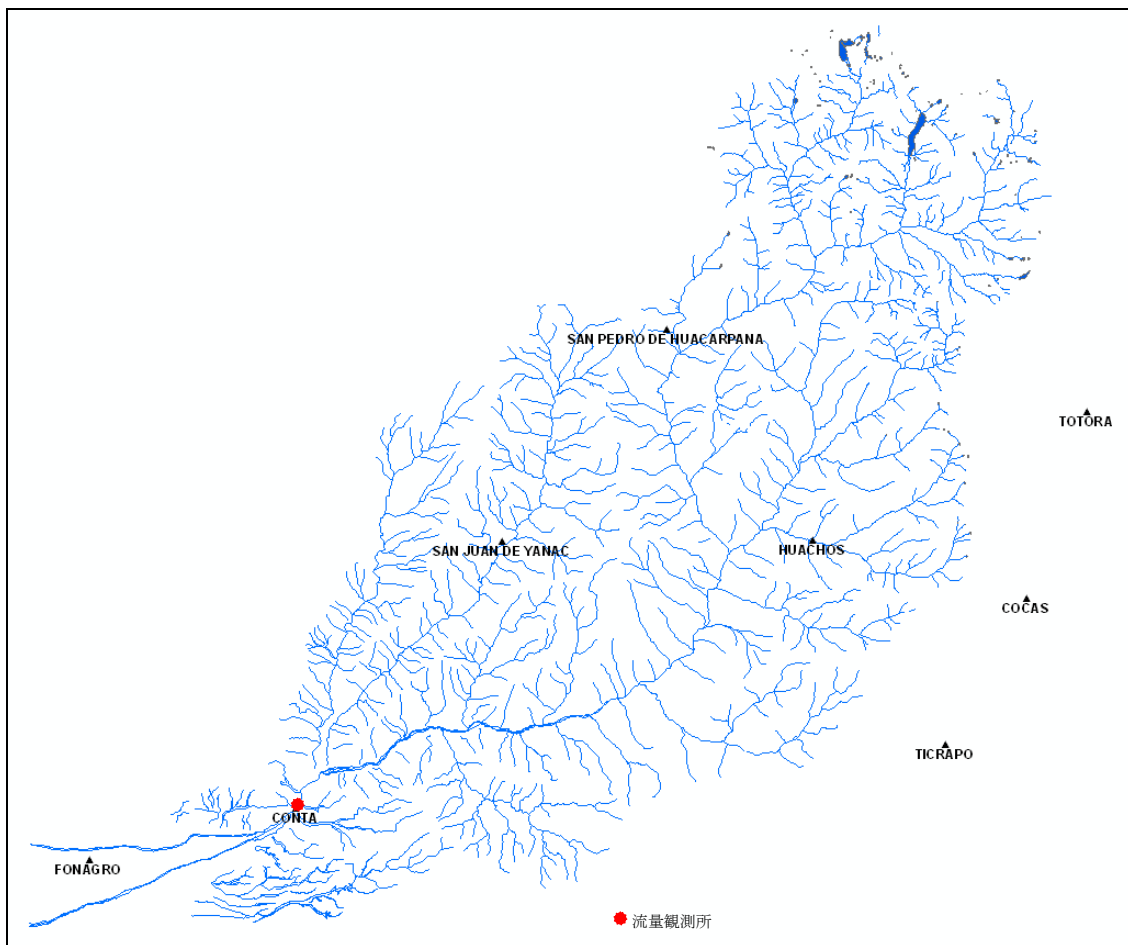


図 2.2.3-1 観測地点位置図 (チンチャ川流域)

(2) 月別降雨量

チンチャ川流域における雨量観測所の月平均雨量およびその分布を

表 2.2.3-3 および図 2.2.3-2 に示す。

これ等の図および表より降雨量は 10 月から 4 月にかけて大きく、5 月から 9 月にかけて非常に少なくなっている。さらに年間降雨量は Conta 観測所の 6.95 mm から Tatora 観測所の 625.95mm まで変化している。

表 2.2.3-3 チンチャ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
TOTORA	125.39	133.76	104.56	46.33	18.20	4.07	4.90	7.76	24.24	32.59	41.47	81.67	624.95
TICRAPO	54.24	75.45	73.35	14.10	0.44	0.20	0.03	0.45	0.98	3.99	5.05	24.32	252.60
COCAS	94.93	111.50	138.93	29.87	5.31	0.26	0.36	1.54	6.70	11.83	16.61	40.73	458.57
SAN PEDRO DE HUACARPANA 2	114.93	137.80	161.96	50.64	5.30	0.38	0.23	2.25	5.51	17.68	30.93	58.94	586.56
SAN PEDRO DE HUACARPANA	121.19	136.68	139.80	34.99	2.64	0.00	0.04	2.53	7.24	12.94	27.45	64.52	550.02
CHINCHA DE YANAC	27.03	37.28	39.98	6.97	0.27	0.00	0.10	0.02	0.76	2.81	2.11	14.08	131.41
FONAGRO (CHINCHA)	0.42	1.08	0.34	0.07	0.48	1.23	1.34	0.83	0.68	0.38	0.21	0.56	7.60
CONTA	1.84	3.24	0.81	0.31	0.01	0.03	0.06	0.04	0.05	0.18	0.14	0.24	6.95
VILLA DE ARMAS	133.69	136.26	148.26	39.55	2.82	0.00	0.01	1.57	8.52	10.84	22.17	59.92	563.61
HUACHOS	98.45	120.27	119.57	29.42	1.90	0.23	0.25	1.01	1.73	6.74	15.33	57.08	451.98

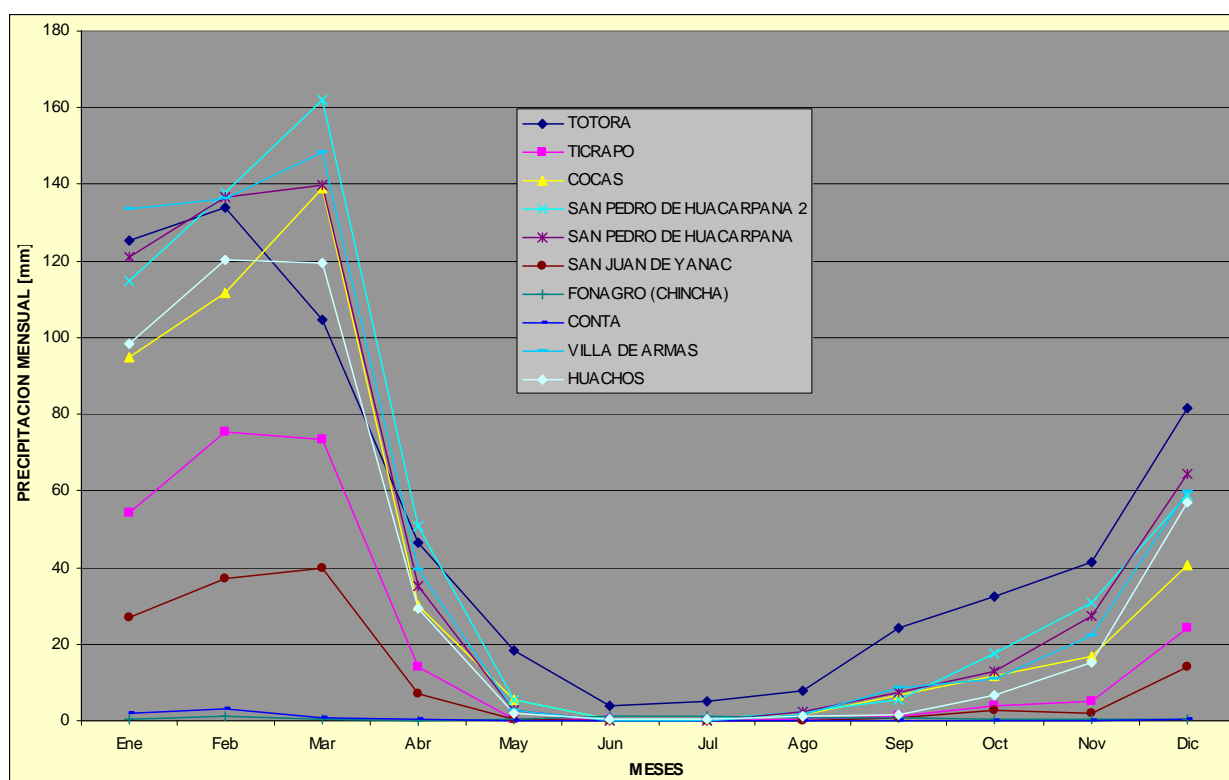


図 2.2.3-2 チンチャ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)

(3) 年最大 24 時間雨量

チンチャ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) は表 2.2.3-4 に示すとおりである。

表 2.2.3-4 チンチャ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)

Year	TOTORA	TICRAPO	COCAS	SAN PEDRO DE HUACARP ANA 2	SAN PEDRO DE HUACARP ANA	SAN JUAN DE YANAC	FONAGRO (CHINCHA)	CONTA	VILLA DE ARMAS	HUACHOS
1964		21.5	19.8							
1965	24.0	20.7	21.6	15.0						
1966	15.0	12.6	20.2	5.2						
1967	24.0	24.4	36.0	31.0					59.6	
1968	20.0	10.0		16.0						
1969	22.0	35.8		24.5						
1970	23.0	40.2	22.1	24.5					24.9	
1971	21.0	28.4	29.4	20.0					31.0	
1972	27.0	32.0	30.8	26.0		12.8			29.6	
1973	25.0	44.3	36.8	21.1					42.4	
1974	22.0	14.0	20.6	14.5		8.2			36.0	
1975	19.0	19.5	22.4	22.5		10.3			35.8	
1976	20.0	25.5	21.4	17.0					38.0	
1977	25.0	24.0	20.6	15.0					36.2	
1978	20.0	5.4	14.4	26.0					61.8	
1979	25.0	18.0	27.4	32.0					27.4	
1980	35.0	24.1		19.5					43.0	33.2
1981	29.0	33.0	0.0	32.0					35.2	20.8
1982	29.0	10.9		18.0					30.0	25.8
1983	24.0	30.0							11.8	19.9
1984	37.0	20.8							11.8	29.2
1985	30.0	18.0							20.8	25.5
1986	27.0	26.8		24.0			0.3		20.0	28.5
1987	13.0						0.2		19.0	20.1
1988	25.0			32.0			0.7		20.0	33.5
1989				27.0		6.8	3.0		10.8	19.8
1990				24.0		5.5	2.0		20.0	23.2
1991				33.0					28.0	24.3
1992										
1993				23.0					26.0	
1994				30.0					21.4	26.1
1995				25.0		10.3	2.3		28.4	23.1
1996						0.4	0.9		48.6	25.4
1997					23.6	2.5	0.8		30.4	16.2
1998					25.0	11.3	1.5			38.5
1999					28.0	15.9	6.0			41.6
2000					24.2	14.0	1.5			20.5
2001					24.2	9.7	1.1			23.8
2002					30.0	14.6	1.1			37.0
2003					20.6	9.5	0.5	0.6		15.2
2004					28.7	7.2	1.2	0.4		44.2
2005					16.0	16.5	0.9	1.0		28.6
2006					27.8	37.4	3.2	6.0		25.6
2007					16.0	14.2	1.0	4.0		20.5
2008					22.6	14.7	1.9	0.8		23.8
2009					16.4	15.9	2.2	0.3		
2010						23.8				

(4) 年平均等雨量線図

チンチャ川流域の等雨量線図を図 2.2.3-3 に示す。

チンチャ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 900mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25mm 程度とほとんど降雨量はない。

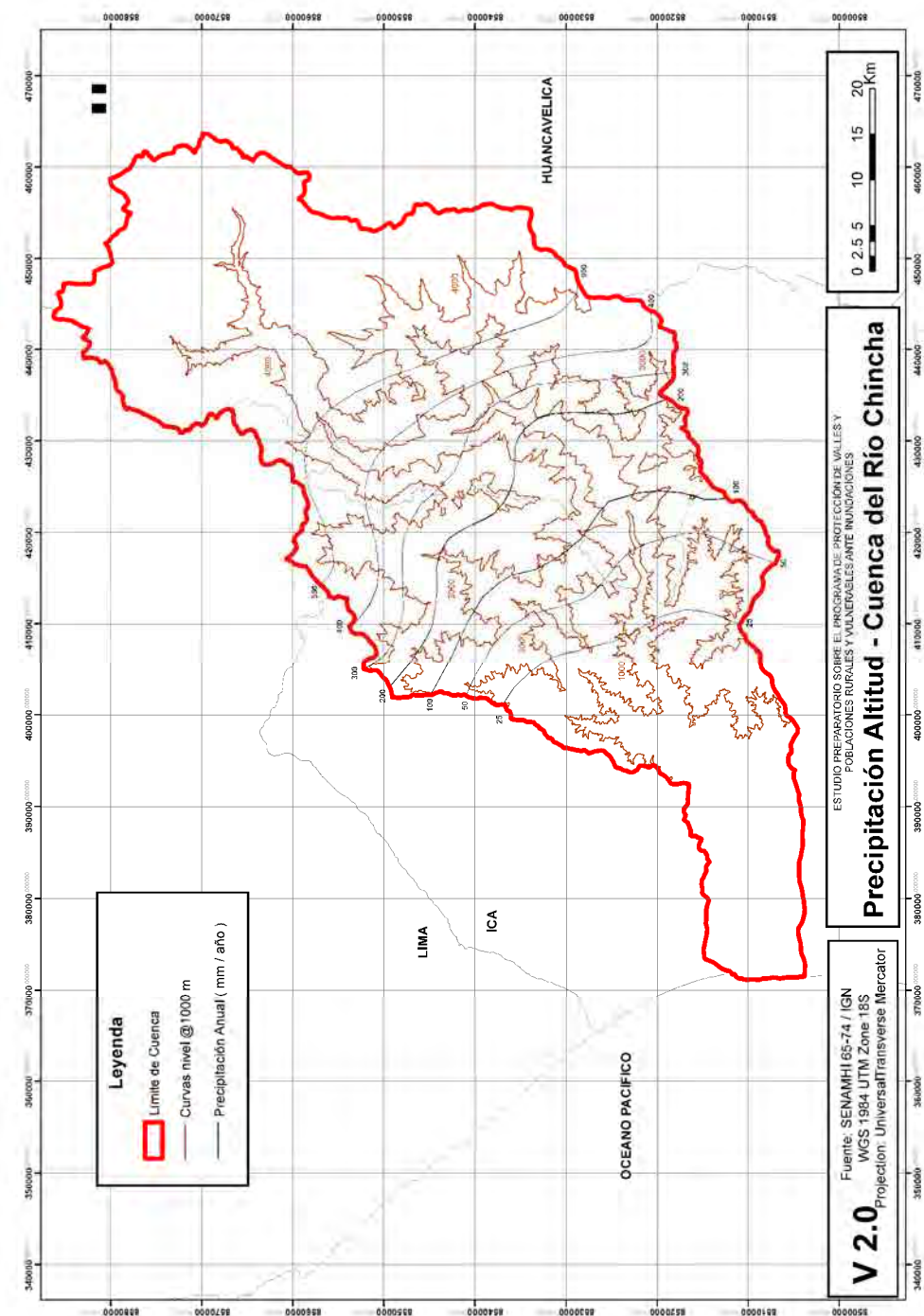


図 2.2.3-3 等雨量線図 (チンチャ川流域)

2.2.4 ピスコ川流域

(1) 降雨観測状況

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.4-1、表 2.2.4-2 および図 2.2.4-1 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、20 箇所の観測所で雨量観測が行われており、最長で 1964 年から 2002 年までの 39 年間観測が行われている。



図 2.2.4-1 観測地点位置図（ピスコ川流域）

(2) 月別降雨量

ピスコ川流域における雨量観測所の月平均雨量およびその分布を表 2.2.4-3 および図 2.2.4-2 に示す。

これ等の図および表より降雨量は10月から4月にかけて大きく、5月から9月にかけて非常に少なくなっている。さらに年間降雨量は Hacienda Bernales 観測所の 2.93 mm から Choclococha 観測所の 884mm まで変化している。

表 2.2.4-3 ピスコ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
ACNOCOCHA	139.08	145.04	129.35	56.57	17.74	8.18	5.65	13.73	21.69	40.59	52.30	83.59	713.51
CHOCLOCOCHA	147.66	161.73	156.09	80.13	26.52	14.25	8.03	22.18	35.24	59.48	68.69	103.97	883.97
COCAS	94.93	111.50	138.93	29.87	5.31	0.26	0.36	1.54	6.70	11.83	15.36	40.73	457.31
CUSICANCHA	74.40	88.26	104.57	33.77	1.74	0.00	0.01	0.71	3.48	4.85	12.38	36.37	360.55
PARIONA	161.82	155.42	174.45	68.15	13.61	3.06	3.12	4.02	16.39	32.52	54.23	90.91	777.70
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	49.69	54.27	46.95	8.78	0.96	0.09	0.17	0.67	0.95	3.50	7.06	19.24	192.34
TAMBO	82.19	120.28	130.42	32.03	3.95	0.00	0.12	0.51	0.88	9.53	11.48	40.40	431.78
TICRAPO	54.24	75.45	73.35	14.10	0.44	0.20	0.03	0.45	0.98	3.99	5.05	24.32	252.60
TOTORA	125.39	133.76	104.56	46.33	18.20	4.07	4.90	7.76	24.24	32.59	41.47	81.67	624.95
TUNEL CERO	163.61	162.53	150.68	72.29	20.96	7.59	6.98	14.51	29.20	56.12	72.29	121.55	878.32
HACIENDA BERNALES	0.84	1.50	0.05	0.03	0.07	0.14	0.08	0.08	0.02	0.01	0.03	0.09	2.93
HUAMANI	3.08	3.75	3.45	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.17	10.60

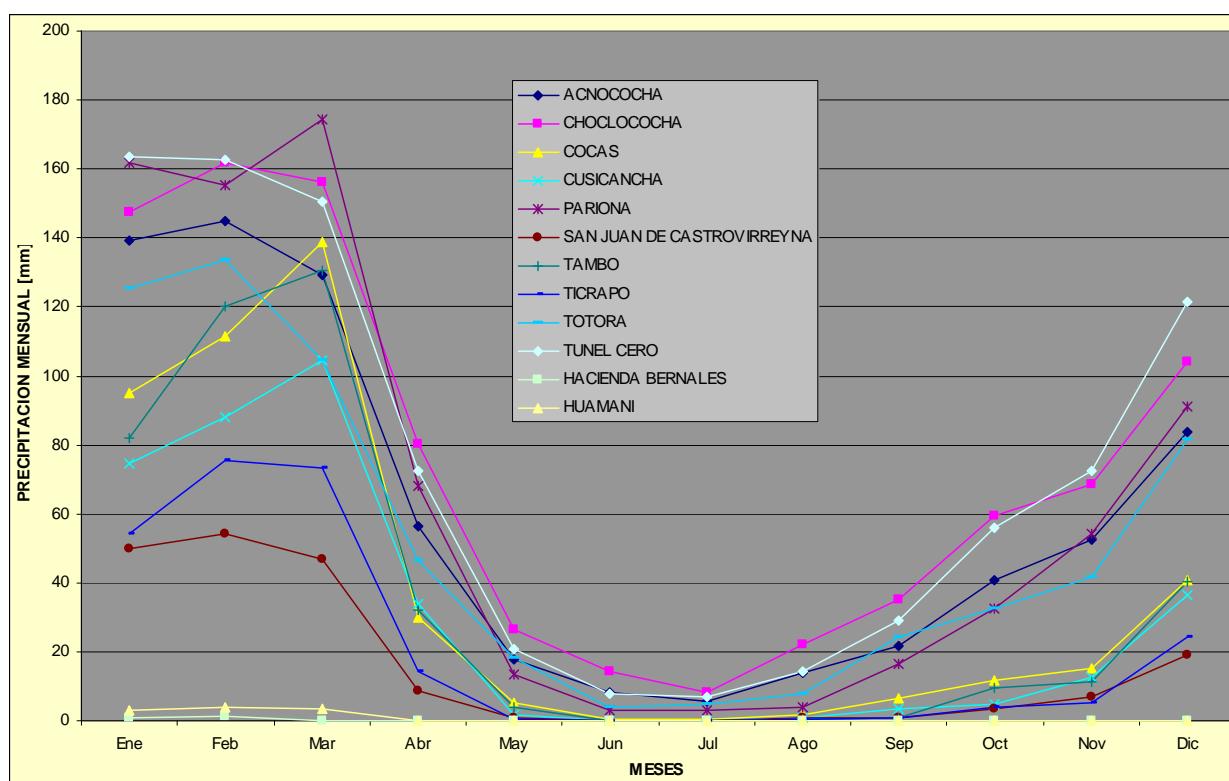


図 2.2.4-2 ピスコ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)

(3) 年最大 24 時間雨量

ピスコ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) は表 2.2.4-4 に示すとおりである。

表 2.2.4-4 ピスコ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量（日雨量）

Year	ACNOCOC HA	CHOCLOC OCHA	COCAS	CUSICANC HA	PARIONA	SAN JUAN DE CASTROVI RREYNA	TAMBO	TICRAPO	TOTORA	TUNEL CERO	HACIENDA BERNALES	HUAMANI
1964			19.8					21.5				
1965			21.6				35.0	20.7				
1966			20.2	18.7				12.6	15.0			
1967			36.0	23.5		20.1		24.4	24.0			25.5
1968				12.3			24.0	10.0	20.0			0.0
1969				23.0				35.8	22.0			1.6
1970			22.1	25.3		33.3	13.3	40.2	23.0			33.5
1971	32.3		29.4	28.6		13.7	18.2	28.4	21.0	30.7		1.7
1972	29.2		30.8	26.9	40.0	28.0	30.7	32.0	27.0	28.2	29.5	18.8
1973	24.6		36.8	13.1	37.8	23.0			25.0	34.6	1.6	2.1
1974	31.1		20.6	9.7	36.9	12.1	21.0	14.0	22.0	24.2	0.0	4.1
1975	24.1	27.4	22.4	6.6	39.1	17.0	42.4	19.5	19.0	29.2	0.0	23.0
1976	26.4	36.1	21.4	6.6	34.4	17.2	40.0		20.0	22.8	20.8	12.5
1977	26.9		20.6	24.2	29.7	15.5	20.5	24.0	25.0	31.3	0.0	0.0
1978	28.1	22.9	14.4	20.0	20.6	7.8	32.0	5.4	20.0	19.5	0.6	0.0
1979	22.3	15.4	27.4		25.4	21.6	20.4	18.0	25.0	33.2	0.0	0.2
1980	23.0	14.8		19.0	44.4	40.0	21.2		35.0	27.3	0.0	0.3
1981	22.6	13.5	0.0	20.0	28.5		25.6	33.0	29.0	35.9		0.0
1982	32.1			10.1		17.1	15.7	10.9	29.0	52.2		0.0
1983	30.1	26.5		5.0		28.0	35.0	30.0	24.0		0.0	0.0
1984	28.7			20.0		24.0	40.0	20.8	37.0	38.3	0.0	0.4
1985	26.5	19.0		11.0	26.5	11.5	30.0	18.0	30.0	22.7	0.0	7.5
1986	29.2	36.0				14.7	30.0		27.0	35.3	0.0	
1987	22.4	24.4			14.8	12.3	20.0		13.0	23.1	0.0	0.0
1988	26.9	39.1			28.0	13.5	17.0			27.8	0.0	
1989	20.3					31.8	36.7			31.9	0.0	0.0
1990		39.5				13.1	29.0			54.5	0.0	
1991						11.0	40.0				0.0	0.0
1992												
1993		39.3				13.7				36.5	0.0	
1994		37.3				12.3	22.0			30.5	0.0	
1995		28.1				12.0	43.2			26.2	0.0	
1996		35.9				19.2	42.0			27.3	0.0	
1997		67.5				10.5	30.0			21.6	0.0	
1998		55.5				37.9	40.0			25.1	0.0	
1999		34.4				25.0	23.0			26.1	0.5	
2000		38.0				18.8	26.0				0.3	2.5
2001		29.3				23.2	16.0			29.6	1.3	2.2
2002		30.7				19.5				23.7	0.5	3.1
2003		57.7				10.5	22.0			27.4	0.0	2.7
2004		45.0				10.3	16.0			28.7	0.4	0.0
2005		36.1				16.1	27.0			47.8	4.6	13.0
2006		36.7				21.4	38.0			25.0	3.2	4.2
2007						18.4	16.5			35.8		0.0
2008		24.6				14.5	26.0			28.6	5.1	6.2
2009		58.4				17.2	38.0			36.2	1.3	8.3
2010												

(4) 年平均等雨量線図

ピスコ川流域の等雨量線図を図 2.2.4-3 に示す。

ピスコ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

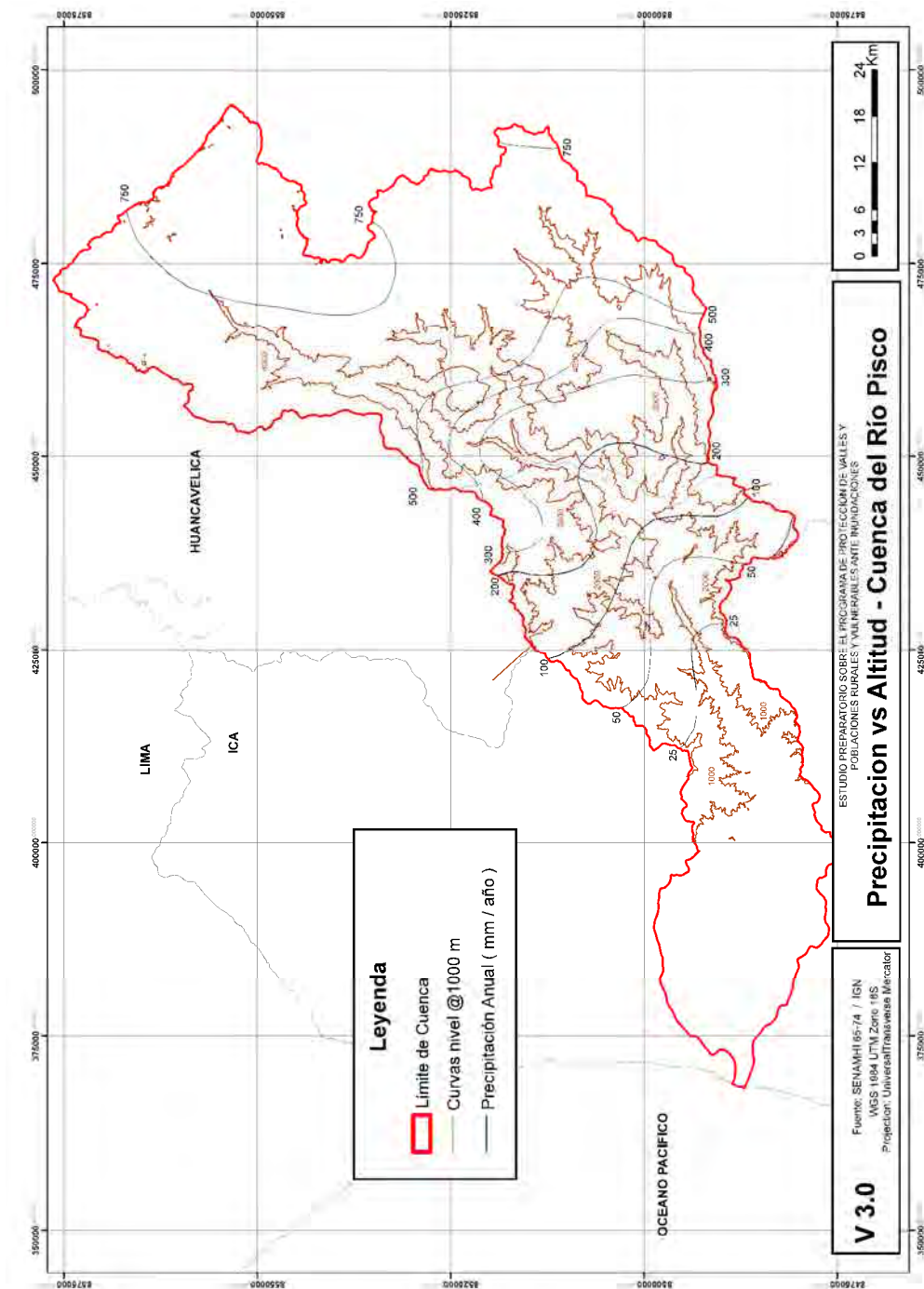


図 2.2.4-3 等雨量線図 (ピスコ川流域)

2.2.5 ヤウカ川流域

(1) 降雨観測状況

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.5-1、表 2.2.5-2 および図 2.2.5-1 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、7箇所の観測所で雨量観測が行われており、最長で1964年から2010年までの47年間観測が行われている。

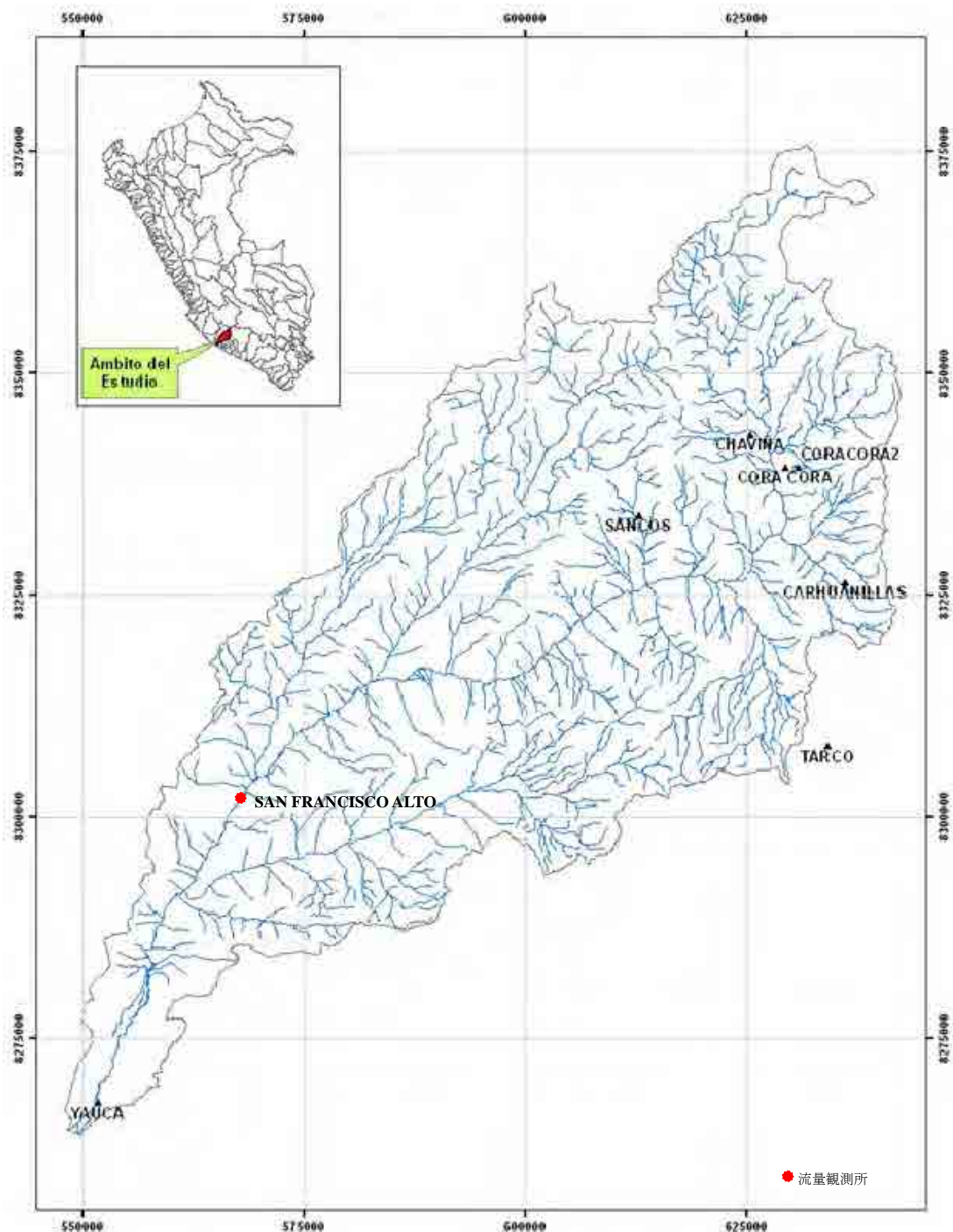


図 2.2.5-1 観測地点位置図 (ヤウカ川流域)

(2) 月別降雨量

ヤウカ川流域における雨量観測所の月平均雨量およびその分布を表 2.2.5-3 および図 2.2.5-2 に示す。Coracora 観測所のデータは近傍の観測所の値と著しく異なるのでこの観測所のデータは棄却する。

これ等の図および表より降雨量は 11 月から 4 月にかけて大きく、5 月から 9 月にかけて非常に少なくなっている。さらに年間降雨量は Yauca 観測所の 0.00 mm から Chaviña 観測所の

540.54mm まで変化している。

表 2.2.5-3 ヤウカ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量 (mm)

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
TARCO	116.76	85.09	121.13	26.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	7.07	15.80	29.27	403.13
SANCOS	131.88	133.65	105.28	4.96	0.39	0.00	0.41	0.00	0.63	2.38	1.72	10.46	391.75
CORACORA2	102.06	118.34	104.25	19.40	2.08	1.09	1.76	2.54	6.13	7.09	10.78	34.86	410.36
CORA CORA	176.24	163.85	301.90	155.00	216.45	234.55	137.45	68.05	127.76	199.38	274.25	188.46	2,243.33
CHAVIÑA	115.10	142.42	161.44	32.21	5.12	0.87	0.93	3.86	10.45	11.79	10.76	45.59	540.54
CARHUANILLAS	116.28	150.78	145.02	37.01	1.26	0.00	0.64	2.03	3.57	9.73	13.91	32.15	512.38
YAUCA	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

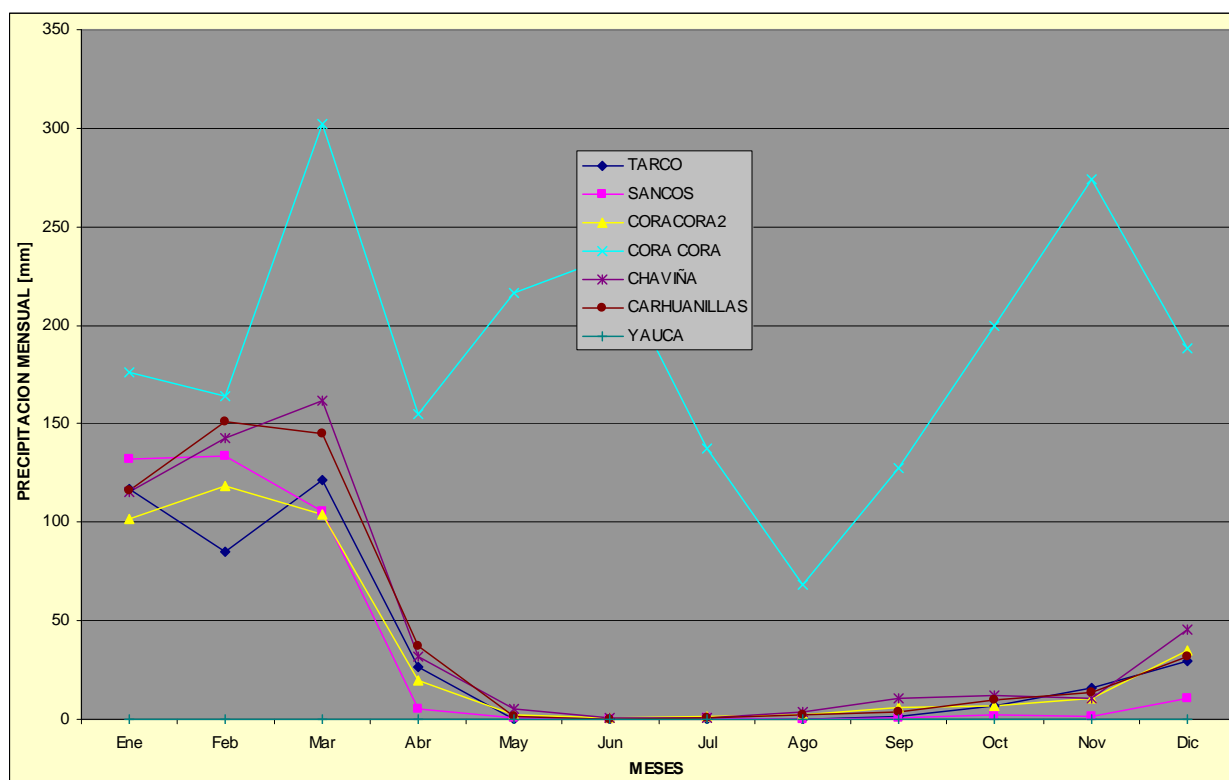


図 2.2.5-2 ヤウカ川流域およびその近傍の流域における月平均降雨量の分布 (mm)

(3) 年最大 24 時間雨量

ヤウカ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) は表 2.2.5-4 に示すとおりである。

表 2.2.5-4 ヤウカ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量)

Year	TARCO	SANCOS	CORACOR A2	CORA CORA	CHAVIÑA	CARHUANI LLAS	YAUCA
1964		25.0			24.5		0.0
1965		25.2			26.5		0.0
1966			21.0		30.6		0.0
1967		53.4	35.7			45.0	0.0
1968	30.0	49.3	31.0			35.5	
1969	25.0	32.0	24.0		32.9		0.0
1970		40.1	28.5		29.7		0.0
1971	15.6	20.5	30.0		41.4	49.5	0.0
1972	10.9	57.5	27.0		57.3	32.0	0.0
1973		38.0	32.0		46.4	20.0	0.0
1974		28.0	30.0		34.0	30.0	
1975		61.9	28.0		30.9	53.0	0.0
1976		44.8			44.4	37.0	0.0
1977		45.2	36.5		20.0	32.0	
1978		33.0	15.4			79.5	
1979		13.8	20.8		22.8	13.1	0.0
1980			21.7		29.7	23.0	
1981			27.4		34.0	30.5	0.0
1982			25.4			12.1	
1983			13.5				
1984							
1985						15.1	
1986						19.1	
1987			34.8				
1988							
1989							
1990							
1991			30.2				
1992							
1993			30.4				
1994			30.0				
1995			28.0				
1996							
1997			30.7				
1998							
1999							
2000			28.0				
2001			31.6				
2002			29.1				
2003			29.0				
2004							
2005				157.8			
2006			59.5				
2007							
2008							
2009							
2010							

(4) 年平均等雨量線図

ヤウカ川流域の等雨量線図を図 2.2.5-3 に示す。

ヤウカ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

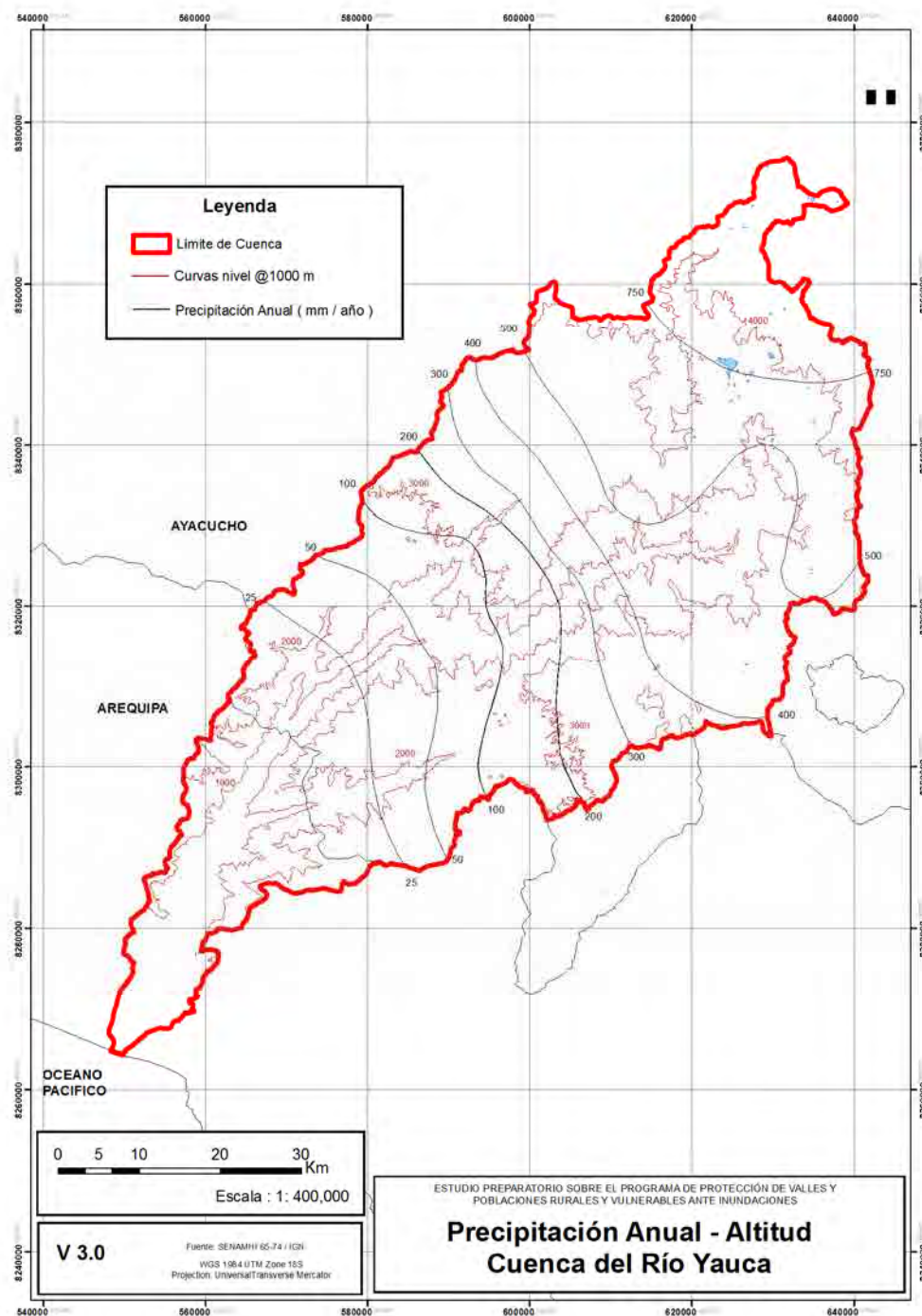


図 2.2.5-3 等雨量線図 (ヤウカ川流域)

2.2.6 マヘス - カマナ川流域

(1) 降雨観測状況

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表 2.2.6-1、表 2.2.6-2 および図 2.2.6-1 に示す。

マヘス - カマナ川流域周辺ではこれまでに、48 箇所の観測所で雨量観測が行われている。観測は 1964 年から行われている。なお、観測所によっては欠測期間が長いなど、データの収集精度が劣る地点があった。そこで、流出解析はデータの収集精度が比較的良好な表-2.1-11 に示す 38 地点のデータを用いて行った。また、流域中部の Chivay 降雨観測所では、2001 年からテレメーター式自記雨量計による観測が行われており、2011 年 2 月および 2012 年 2 月（雨季）の時間雨量データを入手した。

表 2.2.6-1 雨量観測地点一覧（マヘス - カマナ川流域）

観測所	軽度	緯度	標高	担当機関
ANDAHUA	15° 29'37	72° 20'57	3538	SENAMHI
APLAO	16° 04'10	72° 29'26	625	SENAMHI
AYO	15° 40'45	72° 16'13	1950	SENAMHI
CABANACONDE	15° 37'7	71° 58'7	3369	SENAMHI
CAMANÁ	16° 36'24	72° 41'49	29	SENAMHI
CARAVELÍ	15° 46'17	73° 21'42	1757	SENAMHI
CHACHAS	15° 29'56	72° 16'2	3130	SENAMHI
CHICHAS	15° 32'41	72° 54'59.7	2120	SENAMHI
CHIGUATA	16° 24'1	71° 24'1	2945	SENAMHI
CHINCHAYLLAPA	14° 55'1	72° 44'1	4514	SENAMHI
CHIVAY	15° 38'17	71° 35'49	3663	SENAMHI
CHOCO	15° 34'1	72° 07'1	3160	SENAMHI
CHUQUIBAMBA	15° 50'17	72° 38'55	2839	SENAMHI
COTAHUASI	15° 22'29	72° 53'28	5086	SENAMHI
CRUCERO ALTO	15° 46'1	70° 55'1	4486	SENAMHI
EL FRAYLE	16° 05'5	71° 11'14	4110	SENAMHI
HUAMBO	15° 44'1	72° 06'1	3500	SENAMHI
IMATA	15° 50'12	71° 05'16	4451	SENAMHI
LA ANGOSTURA	15° 10'47	71° 38'58	4260	SENAMHI
LA JOYA	16°35'33	71°55'9	1279	SENAMHI
LA PAMPILLA	16° 24'12.2	71° 31'6	2388	SENAMHI
LAGUNILLAS	15° 46'46	70° 39'38	4385	SENAMHI
LAS SALINAS	16° 19'5	71° 08'54	3369	SENAMHI
MACHAHUAY	15° 38'43	72° 30'8	3000	SENAMHI
MADRIGAL	15° 36'59.7	71° 48'42	3238	SENAMHI
ORCOPAMPA	15° 15'39	72° 20'20	3805	SENAMHI
PAMPA DE ARRIEROS	16° 03'48	71° 35'21	3720	SENAMHI
PAMPA DE MAJES	16° 19'40	72° 12'39	1442	SENAMHI
PAMPACOLCA	15° 42'51	72° 34'3	2895	SENAMHI
PAMPAHUTA	15° 29'1	70° 40'33.3	4317	SENAMHI
PILLONES	15° 58'44	71° 12'49	4428	SENAMHI
PORPERA	15° 21'1	71° 19'1	4142	SENAMHI
PULLHUAY	15° 09'1	72° 46'1	3098	SENAMHI
SALAMANCA	15° 30'1	72° 50'1	3153	SENAMHI
SIBAYO	15° 29'8	71° 27'11	3839	SENAMHI
SUMBAY	15° 59'1	71° 22'1	4300	SENAMHI
TISCO	15° 21'1	71° 27'1	4198	SENAMHI
YANAQUIHUA	15° 46'59.8	72° 52'57	2834	SENAMHI

表 2.2.6-2 雨量観測データ収集期間 (マヘス - カマナ川流域)

Cuenca Majes-Camana	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Codroma																													
Caraveli																													
Cotahuasi																													
Chuqibamba																													
Pampacolca																													
Santo Tomás																													
Caylloma																													
La Angostura																													
Sibayo																													
Yauni																													
Chivay																													
Pampahuta																													
Lagunilla																													
Imata																													
Cabanaconde																													
Salamanca																													
Crucero Alto																													
La Joya																													
Pampa de Majes																													
Camaná																													
Aplao																													
La Pampilla																													
El Frayle																													
Yanaquihua																													
Machahuay																													
Huanca																													
Chinchas																													
Chinchayllapa																													
Puica																													
Pullhuay																													
Andahua																													
Orcopampa																													
Chachas																													
Ayo																													
Choco																													
Huambo																													
Madrigal																													
Yanacancha																													
Yanque																													
Tisco																													
La Pulpera																													
Sumbay																													
Porpera																													
Pampa de Arterios																													
Socabaya																													
Chiguata																													
Piliones																													
Las Salinas																													

■: エルニーニョ年

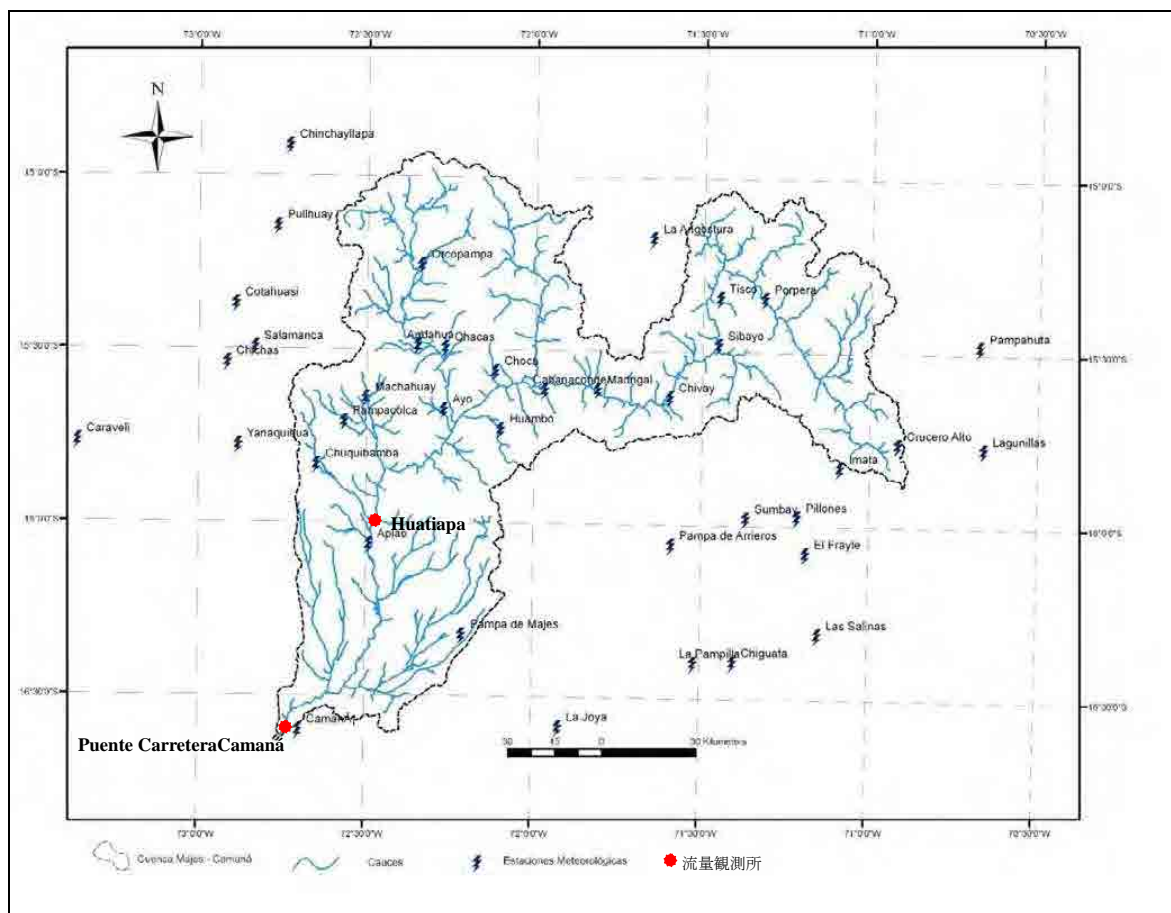


図 2.2.6-1 観測地点位置図 (マヘス - カマナ川流域)

(2) 月別降雨量

マヘス - カマナ流域および近傍における雨量観測所 48 ヶ所のうち観測期間が短い(20 年未満)、直近 10 年の観測データが無い、位置が流域から非常に遠いなどの理由で 10 ヶ所の観測データを棄却し、38 ヶ所の観測所データを用いる事とする。

38 ヶ所の観測所のうち一例として比較的データの整備されている TISCO 観測所の月別降雨量データを表 2.2.6-3 に示す。

表 2.2.6-3 TISCO 観測所の月降雨量

TOTAL MONTHLY PRECIPITATION (mm)													
BASIN Camaña - Majes	GAGE TISCO	DEPARTMENT AREQUIPA	LONGITUDE 71° 27'1	LATITUDE 15° 21'1									
Year	Month												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1963											41.1	131.8	
1964	86.1	72.9	114.4	42.9	22.0	0.0	0.0	6.1	4.4	17.9	59.7	57.6	484.0
1965	75.0	161.1	85.9	42.5	0.3	0.0	9.2	0.0	24.0	22.0	10.4	151.7	582.1
1966	110.3	184.9	64.6	10.6	45.1	0.0	0.0	4.5	0.0	43.3	79.7	55.0	598.0
1967	103.8	161.0	220.2	64.5	13.1	0.6	8.2	9.4	41.8	23.6	12.7	90.5	749.4
1968	266.0	119.6	179.4	31.6	4.0	5.1	5.5	5.8	20.0	52.9	84.6	31.7	806.3
1969	150.1	113.0	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	60.8	97.7	478.0
1970	139.6	150.5	138.5	22.4	9.5	0.0	1.0	1.1	35.6	5.1	4.7	146.8	654.9
1971	140.0	183.5	101.2	30.1	2.6	0.9	0.0	0.0	0.0	5.0	2.2	132.7	598.2
1972	362.1	188.7	235.5	32.7	0.1	0.0	2.3	0.1	55.1	32.9	32.1	90.1	1031.7
1973	297.8	190.2	159.2	81.1	15.9	0.0	8.2	10.2	31.1	7.6	60.6	53.9	915.7
1974	290.2	172.9	44.7	80.7	1.5	14.5	0.0	111.1	9.3	4.3	7.5	50.2	786.8
1975	146.6	246.7	122.4	30.2	20.8	3.2	0.0	1.0	8.0	48.3	1.4	131.4	760.1
1976	153.0	107.7	166.8	41.6	9.3	7.5	4.6	2.3	58.9	0.5	0.6	71.9	624.7
1977	67.0	239.2	118.8	7.1	4.1	0.0	2.3	0.0	11.7	16.3	110.2	49.8	626.6
1978	317.6	24.1	78.7	68.9	0.0	4.0	0.0	1.0	2.3	26.9	78.6	60.0	662.2
1979	127.4	88.0	123.3	16.5	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	59.2	71.2	93.7	584.4
1980	72.5	43.1	183.6	2.2	0.0	0.0	13.5	25.9	28.1	94.1	2.1	30.2	495.3
1981	205.2		52.0	73.0	2.0	0.0	0.0	46.8	9.0	24.8	52.3	110.6	
1982	161.0	45.9	122.8	34.9	0.0	0.5	0.0	0.0	80.9	105.5	150.5	70.0	772.0
1983	46.7	93.7	81.0	47.9	12.0	0.5	0.5	0.0	35.2	18.0	2.5	32.4	370.5
1984	178.4	256.0	284.8	11.1	10.5	3.0	0.0	28.4	0.0	46.3	135.5	125.6	1079.6
1985	32.9	263.0	134.4	49.7	10.0	14.8	0.0	0.0	15.4	0.0	70.0	142.4	732.6
1986	105.9	162.7	178.9	98.4	12.5	0.0	2.8	52.2	18.1	11.0	11.0	149.6	803.1
1987	212.5	42.9	26.2	23.6	3.4	2.1	27.0	4.5	2.0	23.3	24.6	29.0	421.1
1988	216.9	72.5	97.0	63.5	8.5	0.0	0.0	4.0	6.8	0.0	4.0	30.2	503.4
1989	123.9	93.0	159.5	50.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	12.0	4.0	446.1
1990	118.4	27.6	58.5	25.6	12.5	39.5	0.0	13.0	5.0	52.5	0.0		
1991	150.6	72.7	162.3	10.7	3.5	30.7	3.0	1.6	3.5	29.2	48.6	0.0	516.4
1992	51.6	73.8	32.9	4.8	0.0	2.7	2.8	40.0	1.0	25.2	24.7	85.6	345.1
1993	230.9	82.4	133.9	49.9	6.2	1.3	0.3	25.1	15.5	34.2	63.7	106.1	749.5
1994	241.6	218.1	74.3	45.6	10.1	2.8	1.5	1.7	0.0	1.0	25.2	72.7	694.6
1995	121.5	135.0	215.7	27.8	3.7	0.1	0.0	2.8	8.6	13.1	22.3	122.0	672.7
1996	187.3	156.8	83.0	61.6	12.0	0.0	0.3	14.1	11.7	10.6	41.3	146.6	725.4
1997	175.0	201.8	86.5	31.7	18.1	0.0	0.0	33.1	64.8	14.0	60.1	102.2	787.3
1998	271.1	114.9	96.6	15.9	0.5	3.0	0.0	0.8	0.5	9.6	48.5	75.9	637.4
1999	199.2	273.9	198.2	30.5	6.0	0.1	1.2	0.6	23.5	75.3	10.7	90.3	909.5
2000	194.3	242.5	157.2	21.5	28.7	7.8	0.4	11.4	1.6	70.9	22.1	97.9	856.4
2001	240.3	239.0	144.2	108.9	31.3	5.4	16.5	12.0	8.4	18.7	8.6	35.9	869.0
2002	123.6	241.6	186.8	134.9	17.4	8.0	31.8	0.6	19.1	44.7	82.2	113.3	1004.1
2003	83.5		193.1	29.2	11.8	1.5	3.6	4.1	13.2	14.8		114.6	
2004	208.7	176.4	138.0	39.4	2.4	0.5	20.3	14.9	15.4	3.2	7.0	72.7	698.8
2005	124.4	207.0	127.5	56.9	0.5	0.0	0.1	0.7	23.2	11.6	18.8	103.4	674.1
2006	202.0	200.4	195.5	62.4	6.1	4.1	0.0	7.7	25.6	29.3	61.6	78.8	873.4
2007	187.0	179.7	180.4	38.4	9.1	0.1	9.7	0.8	16.1	13.7	22.9	96.2	753.8
2008	257.8	123.5	70.0	5.5	3.2	2.7	0.1	0.6	1.7	17.1	5.0	95.6	582.7
2009	104.6	203.6	133.3	65.6	2.8	0.0	11.1	2.4	23.9	9.9	47.9	64.6	669.7
2010	179.1	164.6	73.0	69.3	6.4	2.1	2.2	1.0	6.2	21.2	13.4	142.9	681.4
2011		233.8	96.9	104.8									
Pp Maxima	362.1	273.9	284.8	134.9	45.1	39.5	31.8	111.1	80.9	105.5	150.5	151.7	1079.6
Pp Media	166.8	153.2	128.4	43.7	8.5	3.6	4.1	10.8	16.7	25.8	38.7	85.9	687.9
Pp Minima	32.9	24.1	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	345.1

(3) 年最大 24 時間雨量

マヘス - カマナ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量（日雨量）は表 2.2.6-4 に示すとおりである。

表 2.2.6-4 (1) マヘス - カマナ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) (1/2)

Year	Andahua	Aplao	Ayo	Cabanacon de	Camaná	Caravelí	Chachas	Chichas	Chiguata	Chinchaylla pa	Chivay	Choco	Chuquibamba	Cotahuasi	Crucero Alto	El Frayle	Huambo
1963													20.0				
1964		7.2						13.0					10.5	11.8	21.5		28.8
1965		2.2				10.0	18.2	24.0	7.5	20.0	14.2	8.0	0.9	16.3	38.1		23.3
1966		2.2			6.0	0.0	15.8	23.0	9.3	7.0	24.0	8.4	13.3	17.2	31.5		17.7
1967		7.3			2.5	14.0	16.7	3.8	17.1	18.9		8.2	29.5	18.8	34.7		28.4
1968		0.6			2.5	29.0	22.0	19.7	16.3	30.0		9.8	23.3	30.1	38.5		22.5
1969		1.5			13.0	7.0	27.0	30.2	9.0	19.3		11.1	37.4	18.2	26.8		17.8
1970	18.0	7.5	11.5	24.8	0.4	19.6	30.5	25.6	8.2	25.2		14.3	35.3	14.2	21.9		23.7
1971	22.0	4.7	13.5	31.1	5.2	4.5	34.5	22.0	16.0	50.0	21.5	31.5	28.5	17.1	18.5	24.1	25.1
1972	30.1	2.8	12.0	26.9	5.4	19.3	23.6	10.0	39.0	28.9	21.5	18.2	32.5	59.4	27.2	19.7	40.3
1973	21.9	6.3	9.1	25.0	16.4	7.3	21.7	15.0	19.5	20.0	24.0	16.6	32.8	30.0	32.8	21.7	20.7
1974	23.4	1.4	7.1	22.0		4.3	18.5	8.3	30.9	21.5	30.0	15.5	18.4	16.0	27.9	25.4	31.2
1975	71.0	1.2	9.0	29.2	8.0	4.0	33.3	23.6	23.3	18.8	49.0	24.0	20.5	26.4	28.5	21.8	26.4
1976	27.5	5.4	13.4	33.4	10.3	30.0	36.7	10.1	42.9	20.0	24.5	20.2	36.6	22.5	15.0	15.8	22.7
1977	19.2	1.8	7.3	28.9	2.1	5.7	27.0	14.0	34.6	23.0	38.0	15.0	30.7	20.8	28.4	32.4	14.0
1978	19.8	0.3	10.5	26.0	1.3	0.5	22.4	7.0	12.8	16.7	17.0	33.3	19.2	19.2	14.9	31.5	28.7
1979	16.4	0.0	8.6	16.9	0.5	10.1	17.4	5.8	24.8	25.8	20.6	15.0	12.2	20.1	31.0	16.5	21.1
1980	18.7	0.3	10.0	17.1	0.0	5.3	21.6	9.8	12.4	15.5	28.3	7.7	15.8	26.7	24.7	21.7	16.7
1981	20.6	2.3	11.4	26.5	0.3	23.0	24.5	15.0	28.9	20.0	20.6	18.6	25.8	40.7	21.5	30.4	23.2
1982	20.1	0.0	4.1	31.0	6.5	2.5	13.9	6.8	9.2	17.0	29.8	19.0		13.2	38.9	27.7	16.4
1983	5.4	0.0	0.1	21.1	4.0	2.8	7.3	6.0	3.8	14.3	9.0	10.0			20.0	32.5	17.4
1984	28.6	13.0	18.9	33.5		22.7	29.0	13.8	21.0	34.1	36.2	22.1		24.3	29.3	17.8	33.9
1985	17.9	0.0	12.2	29.1		2.0	19.0	22.9	20.3	20.7	25.5	15.0		18.9	22.9	21.2	24.6
1986	22.4	6.0	12.8	71.5		11.3	21.3	23.5	37.9	18.8	27.5	18.0		30.0	19.2	18.4	34.4
1987	30.7	0.8	10.3	92.8		2.2	36.0	21.0	39.4	18.7	17.4	10.0	27.2	17.3	14.4	12.6	42.8
1988	30.7	0.4	9.9	40.0		8.4	22.8	22.2	22.7	18.4	31.3	7.2	26.9	18.8	20.0	30.4	
1989	32.8	0.5	5.3	24.5		12.5	19.0	27.5	32.2	19.1	13.0	11.7	33.0		19.2	18.6	17.0
1990	20.6	1.6	4.5	23.0		6.5	35.6	12.9	18.9	18.5	34.7	13.3	23.0		18.0	58.5	36.0
1991	33.2	0.9	3.4	6.9		0.0	20.0	12.0	13.5	20.8	36.8	16.7	3.2		19.5	23.5	15.8
1992	12.4	2.8	1.8	17.0			10.5	2.3	5.2	14.8	8.0	10.4			13.9	18.2	6.3
1993	17.8	0.3	1.7	20.0		2.0	16.1	12.5	21.8	14.3	16.4	6.5	8.0		22.6	24.7	16.8
1994	31.4	1.2	8.6	23.2		11.0	23.0	26.1	35.3	21.6	16.0	16.7	36.8	0.0	32.1	39.0	16.9
1995	21.6	2.1	14.8	32.8	0.0	15.2	18.6	22.2	48.8	30.6	30.1	24.0	29.6	14.7	31.8	32.5	17.9
1996	22.4	1.3	15.6	22.2	0.9	1.9	21.1	19.5	10.2	25.0	39.7	11.8	10.0	29.8	27.6	21.4	16.9
1997	28.9	3.7	18.3	51.0	2.2	33.0	35.4	14.2	44.0	29.4	30.3	21.3	19.6	26.7	27.4	21.6	32.9
1998	33.5	1.2	16.9	38.3	3.6	18.5	25.9	29.6	12.6	34.9	23.4	24.5	82.0	26.2	23.6	20.9	25.3
1999	26.6	1.4	14.5	32.9	2.3	7.1	35.3	23.0	25.0	24.0	29.2	19.2	26.0	33.0	32.7	25.7	26.6
2000	24.9	1.0	8.6	24.6	2.9	15.6	15.8	19.8	36.2	45.1	24.4	18.4	28.0	26.6	21.9	15.9	18.7
2001	30.6	2.0	15.4	48.6	1.4	11.5	19.0	17.4	20.9	31.5	29.8	19.8	70.4	22.8	25.9	13.4	17.0
2002	27.3	4.8	16.6	30.6	4.4	13.7	22.5	22.6	24.3	28.8	28.1	20.9	47.7	27.5	30.6	17.8	27.9
2003	17.5	0.0	8.7	19.3	0.4	0.0	17.8	8.7	9.2	31.6	14.7	13.7	14.5	18.0	15.7	11.7	25.5
2004	23.0	9.0	35.6	22.9	0.5	1.5	21.4	18.9	18.7	25.8	24.8	24.6	16.6	25.7	28.2	28.4	30.4
2005	21.1	1.7	12.1	24.4	0.8	16.5	12.8	10.7	13.0	39.1	27.8	13.6	14.6	11.0	35.3	20.1	18.3
2006	25.0	0.9	9.4	25.3	0.6	4.2	19.6	18.3	14.4	30.9	26.5	17.7	18.2	13.5	23.4	28.3	31.8
2007	21.6	2.7	14.0	27.4	3.0	2.6	28.6	10.6	23.4	30.2	24.7	40.0	10.9	25.4	32.5	21.2	21.0
2008	23.3	6.4	23.5	24.0	9.8	5.0	18.0	25.7	20.7	30.8	35.7	23.8	15.4	17.4	15.4	28.2	29.2
2009	19.7	0.0	10.2	16.8	3.2	9.1	17.1	23.0	9.9	28.6	30.6	20.6	15.7	11.8	32.7	43.6	16.8
2010	27.2	0.9	7.8	23.9	4.5	1.3	18.7	9.3	9.7	25.6	26.9	11.9	17.0	17.7	33.8		23.3
2011	21.2	2.0	13.3	26.6		7.2	31.2	15.1	19.2		27.7	19.8	17.0	21.7	27.9		32.9

表 2.2.6-5 (1) マヘス - カマナ川流域の各降雨観測所における年最大 24 時間雨量 (日雨量) (2/2)

Year	Imata	La Angostura	La Joya	La Pampilla	Lagunillas	Las Salinas	Machaguay	Madrigal	Orcopampa	Pampa de Arrieros	Pampa de Maies	Pampacolla	Pampahuta	Pillones	Porpera	Pullhuay	Salamanca	Sibayo	Sumbay	Tisco	Yanaquihua	
1963																						20.5
1964						21.5				15.3		12.7										28.2
1965						18.0				20.0		17.7										47.8
1966			0.0			19.9		18.4		11.6		8.2			60.7	32.7	12.2	10.5		12.5		33.5
1967			1.0			19.2	20.3	20.1		34.0		29.3			23.1	26.7	22.5	22.6		22.3		45.6
1968			3.0			17.2	23.5	28.1		15.0		21.2			33.7	36.7	21.6	18.5		30.7		30.9
1969			0.0			20.0	16.1	20.7		17.3		43.8			21.5	45.8		21.5		67.5		50.0
1970	21.5	34.6	5.1		34.2	11.0	22.9	18.9	83.1	16.3	1.9	22.1	33.3	23.2	40.5	26.3	24.6	35.9	18.6	36.0		42.6
1971	32.2	40.5	0.7		24.9	23.1	16.6	22.5	17.0	20.9	7.1	18.7	33.6	31.4	38.5	54.3	26.9	26.0	39.5	24.9		10.1
1972	33.4	38.0	1.7	21.3	24.3	13.6	40.2	33.3	27.3	41.8	1.0	27.5	35.4	22.3	36.0	40.0	30.7	51.3	36.7	44.7		55.0
1973	35.2	27.7	0.6	22.1	41.3	13.2	24.1	16.2	57.0	18.0	21.5	23.5	31.4	15.6	21.2	41.1	24.2	29.8	22.5	25.7		20.9
1974	34.7	43.7	4.0	16.0	43.6	12.4	13.5	31.6	36.7	17.2	1.8	19.5	33.1	9.4	27.5	29.2	17.5	40.0	44.0	37.4		17.2
1975	23.7	56.5	3.0	46.7	39.4	10.4	23.2	24.8	29.2	19.8	1.2	18.8	26.2	18.3	21.0	44.1	32.4	26.1	27.2	37.7		15.9
1976	24.1	44.0	4.3	24.0	23.7	15.0	23.1	24.9	23.7	30.7	2.2	25.2	35.2	17.6	13.5	35.3	22.3	31.4	23.8	38.5		18.7
1977	24.2	52.2	0.0	6.8	25.8	16.9	9.6	20.1	21.9	27.3	1.8	31.6	27.0	28.3	21.5	25.5	20.2	30.5	18.3	38.5		34.5
1978	35.1	36.2	0.0	8.0	27.7	12.3	9.2	25.1	26.5	20.0	0.0	27.4	34.0	38.5	22.4	21.8	15.3	31.3	36.8	33.2		9.3
1979	30.6	22.2	0.0	10.9	32.5	13.9	17.0	15.8	25.7	9.5	0.0	27.6	31.8	19.4	17.5	22.3	17.7	40.8	22.0	49.0		15.1
1980	21.2	38.7	3.0	6.2	26.2	24.8	29.0	19.5	18.9	29.8	0.8	15.7	36.5	17.4	21.2	19.5	10.8	23.6	16.8	42.5		13.5
1981	36.3	37.9	0.0	5.4	36.4	18.6	14.0	33.8	21.8	26.4	0.3	19.6	45.3	28.1	19.2	33.1	34.2	31.2	24.5	52.0		21.6
1982	20.7	31.0	0.0	3.9	25.6	17.1	9.2	18.8	19.1	20.9	0.0	18.5	22.9	16.1	15.0	15.5	14.8	35.8	18.9	37.0		12.1
1983	15.4	38.2	0.0	1.5	33.0	10.0		10.0	15.3	0.1	15.0	30.4	23.8	16.0	13.8	12.9	21.5		30.0		38.0	
1984	29.3	89.9	3.0	14.7	32.0	13.4	24.0	24.6	32.2	50.6	0.9	26.6	43.6	28.0	14.7	33.9	49.0	40.1	25.7	33.0		41.0
1985	34.9	5																				

(4) 年平均等雨量線図

マヘス - カマナ川流域の等雨量線図を図 2.2.6-2 に示す。

マヘス - カマナ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 50mm 程度、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。太平洋に近く標高が低い下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 50~200mm 程度と降雨量は多くない。

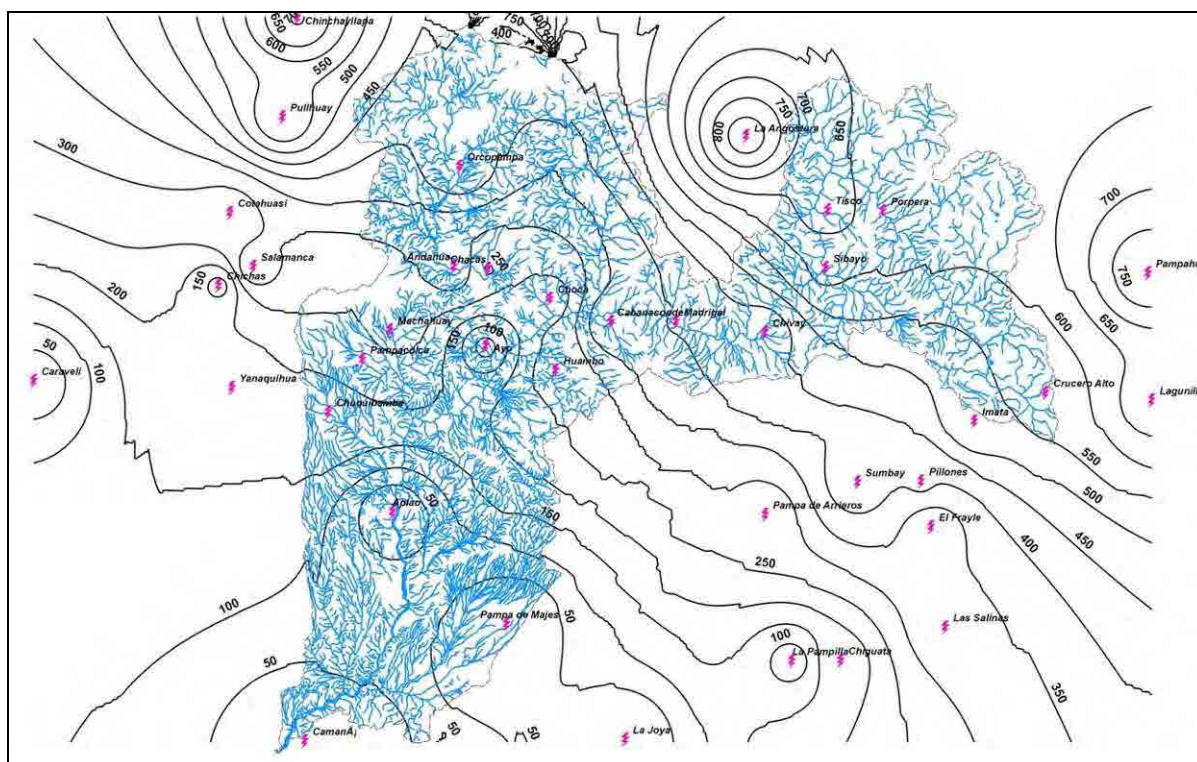


図 2.2.6-2 等雨量線図 (マヘス - カマナ川流域)

(5) 降雨継続時間

流域中上流部の Chivay 降雨観測所の時間雨量データのうち 2011 年 2 月および 2012 年 2 月の時間雨量データを入力し、3 洪水の降雨強度継続時間解析 (Depth-Duration Analysis) を行った。この結果、図 2.2.6-3 に示すとおり、主要 3 洪水のうち最も降雨継続時間が長い 2012 年 2 月の洪水 ($Q_p=1,400\text{m}^3/\text{s}$) の降雨継続時間は 17 時間であった。従って、流出解析における降雨継続時間は 24 時間とした。

なお、SENAMHI および大学関係者等へのヒアリングの結果においても、ペルー海岸域の降雨継続時間は 6~12 時間程度とのことであり、ペルー沿岸部の他河川の流出解析¹においても通常、降雨継続時間は 24 時間として計算している。

¹ Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Zona Centro de la Vertiente del Pacífico, Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua, Ing. Mg Sc. Ricardo Apaella Nalvarte, 2010.

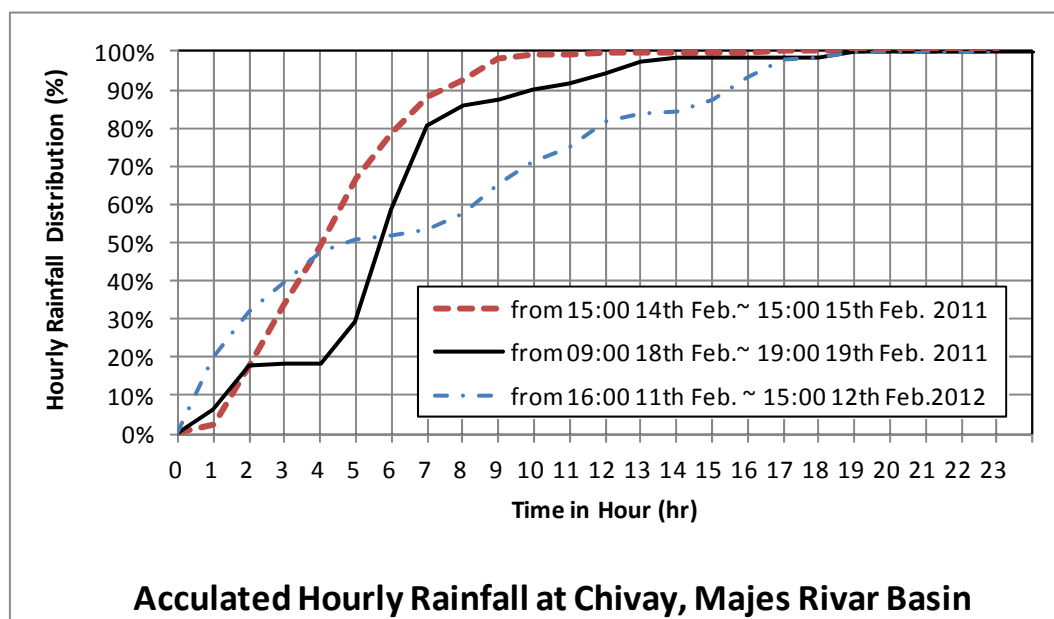


図 2.2.6-3 降雨継続時間 (2011年2月および2012年2月洪水) (マヘス - カマナ川流域)

2.3 流量

調査対象地域における流量観測所は、通常、自動観測は行われておらず、1日1回(7a.m.)ないし1日2回(7a.m.および7p.m.)手動による観測が行われている。従って観測データには時間流量はなく、日流量(24時間流量)のみである。

水位の観測は量水標により行われており、あらかじめ河川横断測量と流量の実測により作成された観測地点の水位 - 流量の関係式により流量に換算している。

ただし、マヘス-カマナ川の Huatiapa 水位・流量観測所では、SENAHI (気象・水文局) による水位観測が、通常時は1日4回(7:00, 10:00, 14:00, 18:00)の量水標による水位観測とフロート式自記水位計(2006年以降)の記録用紙に記録された水位確認を行っている。さらに洪水時は1時間毎に水位を観測している。

河川はアンデス山脈につながる高地から扇状地に出て海岸に至るが、観測所は海岸地帯の扇状地部中・下流に設置されており(雨量観測所位置図参照)、海岸地帯における降雨が殆どないことから観測地点下流の残留域からの流入は殆どなく、観測データが即ち対象流域の流出量を示していると思われる。したがってこれらのうち最下流の流量観測地点を流出解析の基準点とすることが望ましい。

なお、対象流域ではマヘス-カマナ川の Huatiapa 水位・流量観測所でのみフロート式自記水位計が設置されているが、これらの時間水位データはコンピューターに入力・整理されておらず、自記紙が保存されているのみである。従って、今後は、各流域の水位観測所にテレメーター式自記水位計を設置し、リアルタイムに水位・流量を把握する観測網システムの構築が必要である。

表 2.2.6-1 各流域の水位・流量観測所の位置および観測期間

No.	Station Name	Category	Catchment	Department	Province	District	Longitude	Latitude	Elevation	Condition	Working Period	
											Start	End
203301	TOMAIMPERIAL	HLM	CANETE	LIMA	CANETE	LUNAHUANA	76° 13'1	13° 00'1	918	Closed	1926-01	1971-02
203302	SOCSE	HLM	CANETE	LIMA	CANETE	LUNAHUANA	76° 11'41.3	13° 01'42.9	312	Operational	1965-01	1994-08
203303	PACARAN	HLM	CANETE	LIMA	CANETE	PACARAN	76° 03'17	12° 51'58	694	Operational		
203305	CATAPALLA	HLG	CANETE	LIMA	CANETE	LUNAHUANA	76° 06'34.7	12° 55'27.3	575	Closed		
203501	CONTA	HLM	SAN JUAN	ICA	CHINCHA	ALTO LARAN	75° 59'59	13° 27'27	280	Operational	1922-09	2010-12
203602	LETAYOC	HLM	PISCO	ICA	PISCO	HUANCANO	75° 43'43	13° 39'39	1304	Operational	1922-01	2010-12
47220300	LETAYOC	EHA	PISCO	ICA	PISCO	HUMAY	75° 45'1	13° 40'1	1020	Operational	2000-12	2009-05
203604	RESERVORIO LAGUNA ACNOCOCCHA	HLG	PISCO	HUANCANELICA	CASTROVIRREYNA	SANTA ANA	75° 11'1	13° 06'1	4734	Paralyzed		
203608	RESERVORIO LAGUNA PALCOCOCCHA	HLG	PISCO	HUANCANELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	75° 18'1	13° 13'1	4533	Paralyzed		
230701	DIQUE ORCOCOCHA	HLG	PISCO	HUANCANELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	75° 12'1	13° 16'1	4552	Closed	1968-09	1975-11
204002	PUNTE JAQUI	HLG	YAUCA	AREQUIPA	CARAVELI	JAQUI	74° 27'1	15° 29'1	247	Closed	1951-09	1986-09
213801	LAPALMA	HLG	YAUCA	AYACUCHO	LUCANAS	SANCOS	74° 19'0	15° 18'0	618	Paralyzed		
204601	MARIA PEREZ	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 01'1	15° 17'1	4540	Closed	1968-09	1979-03
204602	CALERAMOLLOCO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 00'1	15° 17'1	4524	Closed		
204603	OSCOLLO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 29'41	15° 27'1	4439	Closed	1950-02	1974-08
204604	PUNTE COLGANT E-SIBAYO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 27'1	15° 28'1	4316	Operational	1950-06	1993-03
204605	PALCAHUARURO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	TAPAY	72° 00'1	15° 35'1	2393	Operational	1968-09	1978-01
204606	BAMPUTANE	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	71° 07'1	15° 34'1	4495	Paralyzed	1967-09	1974-08
204607	NEGROPAMPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANA CONDE	72° 00'1	15° 36'1	2200	Operational	1968-09	1978-01
204608	BLANQUILLO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 04'1	15° 39'1	4444	Closed		
204609	LAGUNAMAMACOCHA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	ANO	72° 15'1	15° 41'1	1783	Closed		
204610	AVO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 14'1	15° 42'1	1950	Closed		
204611	ANTASALLA	HLM	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 04'1	15° 44'1	4439	Closed	1969-01	1973-12
204612	DIQUE LOS ESPAÑOLES	HLM	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 02'1	15° 46'1	4410	Paralyzed	1968-09	1989-12
204614	CHARACTA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	MAJES	72° 31'1	16° 32'1	977	Closed		
204615	PUNTE CARRETERA CAMANA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER	72° 44'1	16° 36'1	25	Paralyzed	1960-01	1986-10
204616	TINTO COLCA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA	72° 17'1	15° 26'1	4527	Closed		
204617	CALLALLI	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	71° 28'1	15° 30'1	3807	Closed	1977-10	1988-12
204618	HUATIPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	APLAO	72° 28'14	15° 59'42	699	Operational	1944-09	2011-09
204619	CONDOROMA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	71° 15'1	15° 15'1	4686	Closed	1977-09	2009-11
204620	PUNTE CARRETERA COLCA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 27'1	15° 29'1	3910	Closed	1950-02	1964-10
204621	REPRESA CONDOROMA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	71° 16'1	15° 23'1	4239	Operational	1993-09	1995-02
204622	HACIENDA PAMPATA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA	72° 41'58	16° 32'22	75	Operational	2002-11	2011-09
204807	ICHUPAMPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANA CONDE	71° 55'1	15° 40'1	4513	Paralyzed	1983-11	1987-07
200302	SOLANA BAJA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 25'1	04° 31'1	112	Closed	1969-01	1975-12
200303	ZAMBA	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	PAMAS	79° 54'1	04° 40'1	761	Closed		
200304	LAGARTERA	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	SAPILICA	80° 04'1	04° 44'1	472	Closed		
200305	PUNTE SULLANA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	SALITRAL	80° 41'1	04° 53'1	25	Paralyzed	1938-09	1984-12
200306	PARDO DE ZELA	HLM	CHIRA	PIURA	PIURA	LAS LOMAS	80° 14'1	04° 40'1	233	Closed	1966-01	1975-02
200307	ROSITA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 30'1	04° 36'1	102	Closed		
200308	CANAL MIGUEL CHECA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	SULLANA	80° 31'1	04° 41'1	68	Paralyzed	1991-03	1995-07
200309	ENTRADA ARDILLAR POECHOS	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 26'1	04° 31'1	120	Paralyzed	1991-03	1997-08
200310	PUNTE INTERNACIONAL MACARA	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	SUYO	79° 57'1	04° 24'1	415	Paralyzed	1991-03	1997-08
200311	CANAL CHIPILICO	HLM	CHIRA	PIURA	PIURA	LAS LOMAS	80° 10'1	04° 44'1	300	Closed	1969-09	2009-11
200312	PARAJE GRANDE QUIROZ	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	MONTERO	79° 54'1	04° 37'1	1060	Paralyzed	1935-08	1995-07
200313	EL CIRUELO	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	SUYO	80° 09'1	04° 18'1	300	Paralyzed	1992-04	1992-04
200314	LOS ENCUNENTROS	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 17'1	04° 26'1	150	Closed	1975-11	2009-12
200316	CANAL PELADOS	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	SULLANA	80° 30'1	04° 41'1	100	Closed		
200318	SOLANA BAJA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 25'1	04° 31'1	112	Paralyzed		
200319	PUNTE SULLANA	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	SALITRAL	80° 41'1	04° 53'1	25	Paralyzed	1991-03	1998-01
200320	LAGARTERA	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	SAPILICA	80° 04'1	04° 44'1	472	Paralyzed		
200321	AYABACA	HLM	CHIRA	PIURA	AYABACA	AYABACA	79° 45'1	04° 40'1	2663	Paralyzed		
200322	RESERV POECHOS(VOL)	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	80° 41'1	04° 31'1	333	Paralyzed		
200323	RESERVORIO SAN LORENZO	HLM	CHIRA	PIURA	PIURA	LAS LOMAS	80° 12'1	04° 40'1	230	Paralyzed		
200324	ALAMOR	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	80° 23'56.9	04° 28'48.41	133	Operational	1997-09	2005-01
200418	CANAL YUSCAY	HLM	CHIRA	PIURA	PIURA	LAS LOMAS	80° 12'1	04° 40'1	230	Paralyzed		
200424	SALIDA RESERVORIO POECHOS	HLM	CHIRA	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	80° 41'1	04° 31'1	333	Paralyzed	1991-03	1997-08
47248080	EL CIRUELO	EHA	CHIRA	PIURA	AYABACA	SUYO	80° 09'1	04° 18'1	300	Operational	2001-01	2012-06
660perating	AYABACA	EMA	CHIRA	PIURA	AYABACA	AYABACA	79° 43'1	04° 38'1	2757	Operational	2000-12	2011-12

CATEGORY

HLM - Hydrometric Station with staff gauge. It records water level manually (at 06:00, 10:00, 14:00 and 18:00 hours) to calculate daily discharges.

HLG - Hydrometric Station with staff gauge and Limnigraph (float type). It records water level manually (at 06:00, 10:00, 14:00 and 18:00 hours) to calculate daily discharges. Also it records continuously (hourly) water level data graphed in a recording paper.

EHA - Automatic Hydrometric Station (hourly data of water level using sensors).

2.3.1 チラ川流域

(1) 流量観測所

チラ川流域の流量観測所のうちポエチヨスタム貯水池の直上流に位置する Ardilla およびダム下流から海岸に至る河川の間中に位置する Puente Sullana を対象とする。これらの位置諸元は表 2.3.1-1 に示すとおりである。

表 2.3.1-1 チラ川流域の流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (m.a.s.l.)
Ardilla (Solana Baja)	4° 31'	80° 26'	150
Puente Sullana	4° 53'	80° 41'	32

(2) 年最大日流量

上記観測所における各年における最大流量を表 2.3.1-2 に示す。

表 2.3.1-2 年最大日流量(m³/s)

Año	Puente Sullana	Ardilla
1976		2,242.00
1977	848.33	1,647.90
1978	56.12	281.10
1979	177.69	348.00
1980	57.07	438.00
1981	455.55	830.30
1982	288.18	589.10
1983	3,227.08	2,469.30
1984	1,043.00	1,663.00
1985	88.40	243.80
1986	40.00	355.60
1987	551.80	1,180.30
1988	37.70	379.50
1989	558.00	936.00
1990	45.20	253.40
1991	121.00	668.60
1992	2,355.00	3,133.50
1993	1,400.00	1,654.00
1994	1,100.00	1,044.00
1995	58.00	276.10
1996	140.00	439.40
1997	925.00	1,275.80
1998	3,005.00	3,620.80
1999	1,195.20	1,927.00
2000	1,111.00	1,303.20
2001	2,252.90	2,264.80
2002	2,517.00	2,825.20
2003	169.00	371.90
2004	231.00	293.80
2005	480.00	629.00
2006	815.00	1,089.90
2007		431.10
2008		3,141.97
2009		2,387.93

2.3.2 カニエテ川流域

(1) 流量観測所

カニエテ川流域における流量観測所を表 2.3.2-1 に示す。観測は SENAMI および水利組合により行われている。

表 2.3.2-1 カニエテ川における流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (m.a.s.l.)
SOCSI CAÑETE	13° 01'42	76° 11'40	330

(2) 年最大日流量

上記観測所における年最大流量は表 2.3.2-2 に示す通りである。

表 2.3.2-2 カニエテ川流域 SOCSI CAÑETE 観測所における年最大流量

年	年最大流量 (m3/sec)	
	SENAMHI	水利組合
1926	-	455.00
1927	-	120.00
1928	-	198.00
1929	-	342.00
1930	-	263.00
1931	-	148.60
1932	-	850.00
1933	-	176.00
1934	-	305.00
1935	-	386.00
1936	-	265.00
1937	-	283.76
1938	-	401.99
1939	-	308.53
1940	-	141.28
1941	-	301.13
1942	-	319.22
1943	-	324.13
1944	-	396.65
1945	-	350.00
1946	-	354.00
1947	-	353.00
1948	-	279.00
1949	-	198.00
1950	-	244.74
1951	-	485.00
1952	-	360.00
1953	-	555.00
1954	-	657.00
1955	-	700.00

1956	-	470.00
1957	-	228.32
1958	-	270.40
1959	-	700.00
1960	-	488.75
1961	-	597.62
1962	-	566.24
1963	-	242.37
1964	-	153.06
1965	214.70	214.70
1966	207.00	201.00
1967	343.00	343.00
1968	154.00	154.00
1969	316.00	316.00
1970	408.00	408.00
1971	430.00	430.00
1972	900.00	900.00
1973	484.20	450.10
1974	-	326.00
1975	-	298.00
1976	294.92	332.00
1977	-	249.00
1978	-	216.00
1979	-	182.80
1980	-	100.10
1981	-	257.10
1982	-	120.00
1983	-	228.00
1984	-	425.50
1985	-	165.60
1986	-	370.50
1987	-	487.30
1988	206.00	420.30
1989	-	377.00
1990	-	189.00
1991	-	372.00
1992	-	164.30
1993	-	390.00
1994	-	550.00
1995	-	500.00
1996	-	310.00
1997	-	350.00
1998	-	348.00
1999	-	420.00
2000	-	350.00
2001	-	255.00
2002	-	204.00
2003	-	215.00
2004	-	196.00

2005	-	167.00
2006	-	250.00

2.3.3 チンチャ川流域

(1) 流量観測所

チンチャ川流域における流量観測所を表 2.3.3-1 に示す。観測は SENAMI および水利組合により行われている。

表 2.3.3-1 チンチャ川における流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (m.a.s.l.)
CONTA	13° 27'	75° 58'	320

(2) 年最大日流量

上記観測所における年最大流量は表 2.3.3-2 に示すとおりである。チンチャ川はチョコ川とマタヘンテ川に分派しているため、チンチャ川の流量は両河川の合計となる。

表 2.3.3-2 チンチャ川流域 CONTA 観測所の年最大流量 (m3/sec)

年	SENAMHI	水利組合			採択流量
	Total	Rio Chico	Rio Matagente	Total	
1950	155.43	-	-	-	155.43
1951	395.75	-	-	-	395.75
1952	354.00	-	-	-	354.00
1953	1,268.80	-	-	-	1,268.80
1954	664.40	-	-	-	664.40
1955	241.45	-	-	-	241.45
1956	227.83	-	-	-	227.83
1957	226.53	-	-	-	226.53
1958	88.36	35.34	53.02	88.36	88.36
1959	301.42	120.57	180.85	301.42	301.42
1960	245.17	98.07	147.10	245.17	245.17
1961	492.83	197.13	295.69	492.82	492.82
1962	395.06	158.02	237.03	395.05	395.05
1963	337.84	135.14	202.70	337.84	337.84
1964	66.95	26.78	40.17	66.95	66.95
1965	154.12	61.65	92.47	154.12	154.12
1966	139.13	55.65	83.48	139.13	139.13

1967	1,202.58	481.03	721.55	1,202.58	1,202.58
1968	43.92	17.57	26.35	43.92	43.92
1969	72.14	28.86	43.28	72.14	72.14
1970	271.57	108.63	162.94	271.57	271.57
1971	497.84	199.13	298.71	497.84	497.84
1972	784.16	313.66	470.50	784.16	784.16
1973	137.53	55.01	82.52	137.53	137.53
1974	215.66	86.26	129.40	215.66	215.66
1975	246.87	98.75	148.12	246.87	246.87
1976	311.13	124.45	186.68	311.13	311.13
1977	97.10	38.84	58.26	97.10	97.10
1978	33.00	13.20	19.80	33.00	33.00
1979	51.90	20.76	31.14	51.90	51.90
1980	33.70	13.48	20.22	33.70	33.70
1981	83.95	33.58	50.37	83.95	83.95
1982	183.60	73.44	110.16	183.60	183.60
1983	81.20	32.48	48.72	81.20	81.20
1984	292.87	117.15	175.72	292.87	292.87
1985	71.42	51.88	77.82	129.70	129.70
1986	106.26	46.00	69.00	115.00	115.00
1987	-	42.00	63.00	105.00	105.00
1988	-	28.51	42.76	71.27	71.27
1989	-	71.38	107.07	178.45	178.45
1990	24.34	9.74	14.60	24.34	24.34
1991	-	41.00	61.49	102.49	102.49
1992	-	5.95	8.92	14.87	14.87
1993	-	51.73	77.59	129.32	129.32
1994	-	75.61	113.41	189.02	189.02
1995	-	121.47	182.21	303.68	303.68
1996	-	49.85	74.77	124.62	124.62
1997	-	10.60	15.89	26.49	26.49
1998	-	112.00	168.00	280.00	280.00
1999	-	165.74	248.61	414.35	414.35
2000	-	114.93	172.39	287.32	287.32
2001	-	81.72	122.59	204.31	204.31
2002	-	47.65	71.48	119.13	119.13
2003	-	52.38	78.57	130.95	130.95
2004	-	63.73	95.60	159.33	159.33

2005	-	14.24	21.36	35.60	35.60
2006	-	62.48	93.72	156.20	156.20

2.3.4 ピスコ川流域

(1) 流量観測所

ピスコ川流域における流量観測所を表 2.3.4-1 に示す。

表 2.3.4-1 ピスコ川における流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (m.a.s.l.)
LETRAYOC	13° 40'	75° 45'	640

(2) 年最大日流量

上記観測所における年最大流量は表 2.3.4-2 に示すとおりである。

表 2.3.4-2 ピスコ川流域 LETRAYOC 観測所の年最大流量 (m3/sec)

年	年最大流量 (m3/s)	年	年最大流量 (m3/s)
1933	227.50	1971	194.45
1934	264.50	1972	509.87
1935	311.00	1973	293.62
1936	360.50	1974	194.68
1937	956.03	1975	141.88
1938	253.70	1976	237.62
1939	328.67	1977	231.26
1940	155.34	1978	80.33
1941	212.25	1979	213.13
1942	326.79	1980	91.23
1943	301.93	1981	252.00
1944	295.05	1982	274.00
1945	250.01	1983	273.00
1946	528.14	1984	485.65
1947	144.09	1985	200.50
1948	765.10	1986	355.00
1949	148.26	1987	146.20
1950	156.33	1988	369.50
1951	289.09	1989	272.50
1952	208.05	1990	49.38
1953	427.20	1991	325.00

1954	536.64	1992	47.75
1955	403.42	1993	118.00
1956	330.99	1994	312.50
1957	256.19	1995	354.37
1958	169.35	1996	190.00
1959	378.26	1997	150.00
1960	312.85	1998	800.00
1961	272.04	1999	355.00
1962	423.06	2000	215.00
1963	255.85	2001	240.00
1964	238.45	2002	300.00
1965	162.44	2003	176.25
1966	710.02	2004	215.00
1967	521.91	2005	137.50
1968	189.11	2006	350.00
1969	314.07	2007	250.00
1970	454.31	2008	300.00

2.3.5 ヤウカ川流域

(1) 流量観測所

ヤウカ川流域における流量観測所を表 2.3.5-1 に示す。

表 2.3.5-1 ヤウカ川における流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (m.a.s.l.)
SAN FRANCISCO ALTO	15° 41′	74° 32′	48.00

(2) 年最大日流量

上記観測所における年最大流量は表 2.3.5-2 に示すとおりである。

表 2.3.5-2 ヤウカ川流域 SAN FRANCISCO ALTO 観測所の年最大流量 (m³/sec)

年	年最大流量
1961	109.82
1962	58.93
1963	54.11
1964	15.77
1965	36.54
1966	26.49

1967	211.06
1968	68.51
1969	64.97
1970	36.65
1971	20.70
1972	151.38
1973	123.13
1974	31.96
1975	137.20
1976	41.82
1977	69.11
1978	4.51
1979	20.10
1980	15.72
1981	23.56
1982	26.72
1983	12.60
1984	52.20
1985	17.65
1986	30.54
1987	24.06
1988	32.30
1989	198.39
1990	11.12
1991	42.60
1992	0.67
1993	19.57
1994	60.41
1995	20.93
1996	17.50
1997	13.09
1998	45.65
1999	195.03
2000	62.64
2001	118.06
2002	39.77
2003	45.81
2004	33.46

2005	6.61
2006	78.54
2007	50.14
2008	42.28

2.3.6 マヘス - カマナ川流域

(1) 流量観測所

マヘス - カマナ川流域における流量観測所を表 2.3.6-1 に示す。

表 2.3.6-1 マヘス - カマナ川における流量観測所

観測所名	緯度	経度	標高 (M.a.s.l.)
Huatiapa	15°59'41.0" S	72°28'13.0" W	700
Puente Carretera Camaná	16°36'00.0" S	72°44'00.0" W	122

(2) 年最大日流量

上記観測所における年最大流量は表 2.3.6-2 に示すとおりである。

表 2.3.6-2 マヘス - カマナ川流域観測所の年最大流量 (m³/sec)

Huatiapa		Puente Carretera Camaná	
年	年最大流量 (m ³ /s)	年	年最大流量 (m ³ /s)
1945	620.00	1961	301.10
1946	619.00	1962	399.87
1947	580.79	1963	340.16
1948	506.50	1971	340.72
1949	1012.80	1972	800.42
1950	458.33	1973	750.19
1951	687.32	1974	950.00
1952	592.50	1975	890.00
1953	980.00	1977	1200.00
1954	980.00	1978	2000.00
1955	2400.00	1979	150.70
1956	445.30	1980	89.00
1957	316.00	1981	530.00
1958	985.50	1982	300.00
1959	1400.00	1983	40.00
1960	600.00	1984	1300.00
1965	171.94	1986	600.00
1966	237.00		
1967	420.00		
1968	442.55		
1969	308.60		
1970	362.00		
1971	356.00		
1972	633.00		
1973	1040.00		
1974	902.00		
1975	748.00		
1976	514.00		
1977	592.00		
1978	1600.00		
1979	410.00		
1980	415.00		
1981	1000.00		
1982	345.00		
1983	23.20		
1984	1025.00		
1986	750.00		
2006	590.87		
2007	366.33		
2008	418.50		
2009	400.22		

第3章 流出解析

3.1 実測流量に基づく確率規模別洪水流量

各流域における流出解析の基準点（流量観測所）を選定し、これら観測所における年最大日流量の観測値を統計処理して生起確率規模 2 年～100 年の洪水流量を計算した。計算の結果は表 2.3.6-1 に示すとおりである。

水文統計計算には下記の確率分布モデルを用い、適応性が最も高いと思われるモデルの値を採用した。なお詳細については巻末の Appendix を参照のこと。

- Distribution Normal or Gaussian
- 対数正規分布 3 母数(Log - Normal 3 parameters)
- 対数正規分布 2 母数(Log - Normal 2 parameters)
- ガンマー分布(Gamma 2 or 3 parameters)
- 対数ピアソンⅢ型分布(the log - Pearson III)
- ガンベル分布(Gumbel)
- 一般化極値分布(Generalized Extreme Values)

表 2.3.6-1 基準地点確率規模流量

	(m ³ /s)					
河川名/基準点	確率 2年	確率 5年	確率 10年	確率 25年	確率 50年	確率 100年
チラ川 Puente Sullana	888	1,726	2,281	2,983	3,503	4,019
カニエテ川 Socsi	313	454	547	665	753	840
チンチャ川 Conta	179	378	536	763	951	1,156
ピスコ川 Letrayoc	267	398	500	648	774	914
ヤウカ川 San Francisco Alto	41	81	116	171	219	273
マヘス/カマナ川 Huatiapa	560	901	1,169	1,565	1,906	2,292

カニエテ川の Socsi 観測所における実測流量の最大値は 1972 年の 900m³/sec となっており、上表もこの値を含む年最大流量に基づき計算されている。後述するように (3.3.2 参照) この観測所における実測可能最大流量は 900m³/sec 前後と推定されるので、上表の確率洪水規模流量は実態よりかなり小さくなっている可能性が高い。

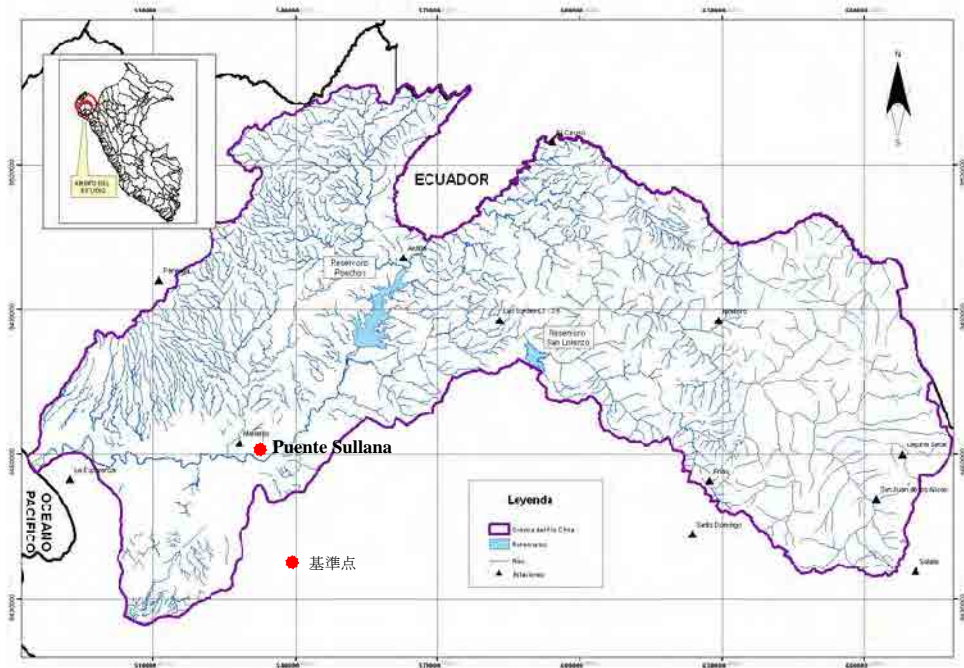


図 2.3.6-1 チラ川流域基準点位置



図 2.3.6-2 カニエテ川流域基準点位置

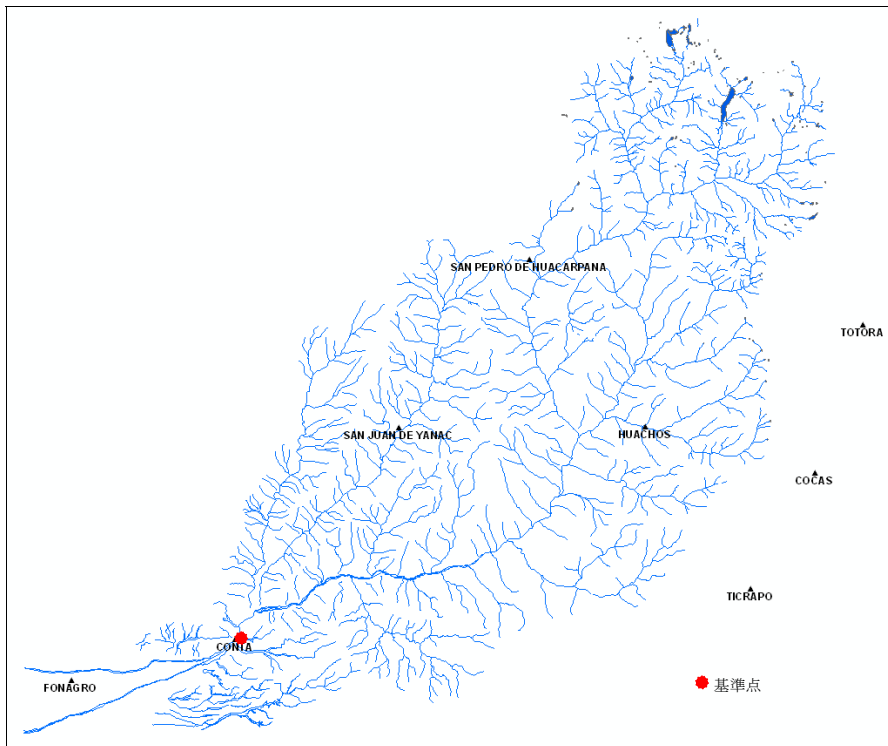


図 2.3.6-3 チンチャ川流域基準点位置

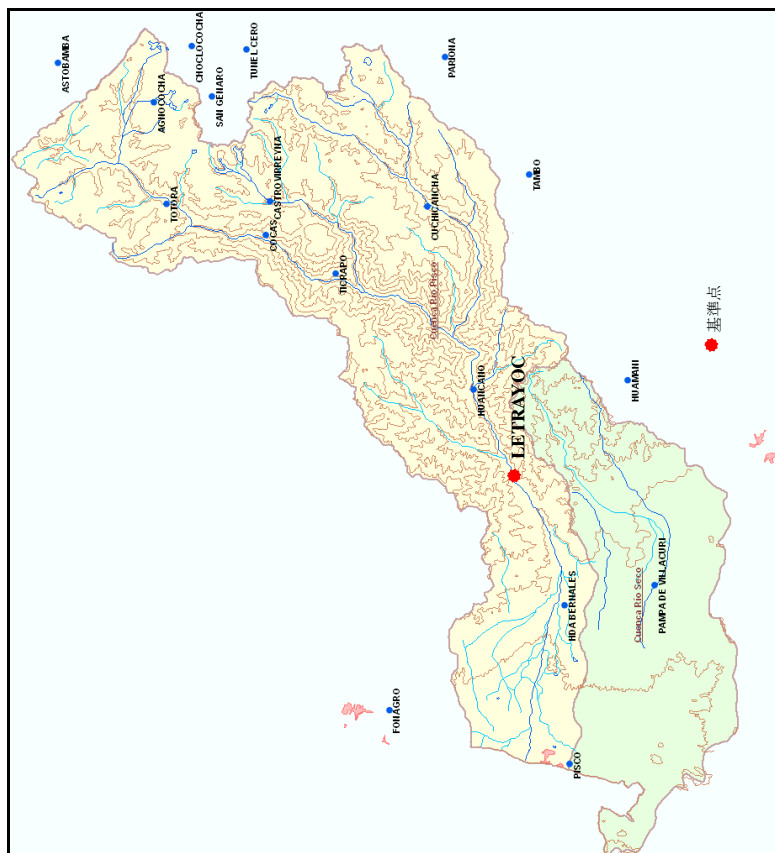


図 2.3.6-4 ピスコ川流域基準点位置

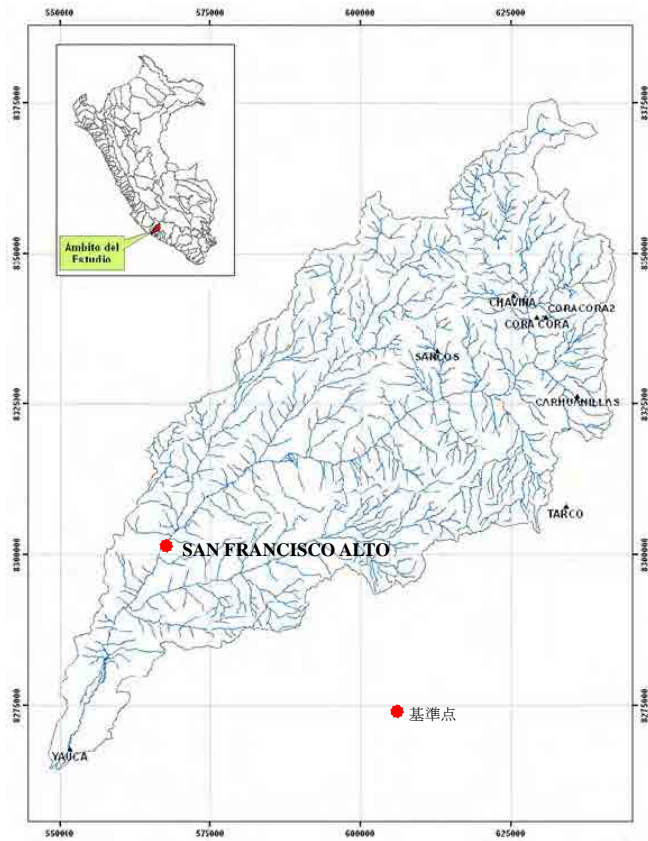


図 2.3.6-5 ヤウカ川流域基準点位置

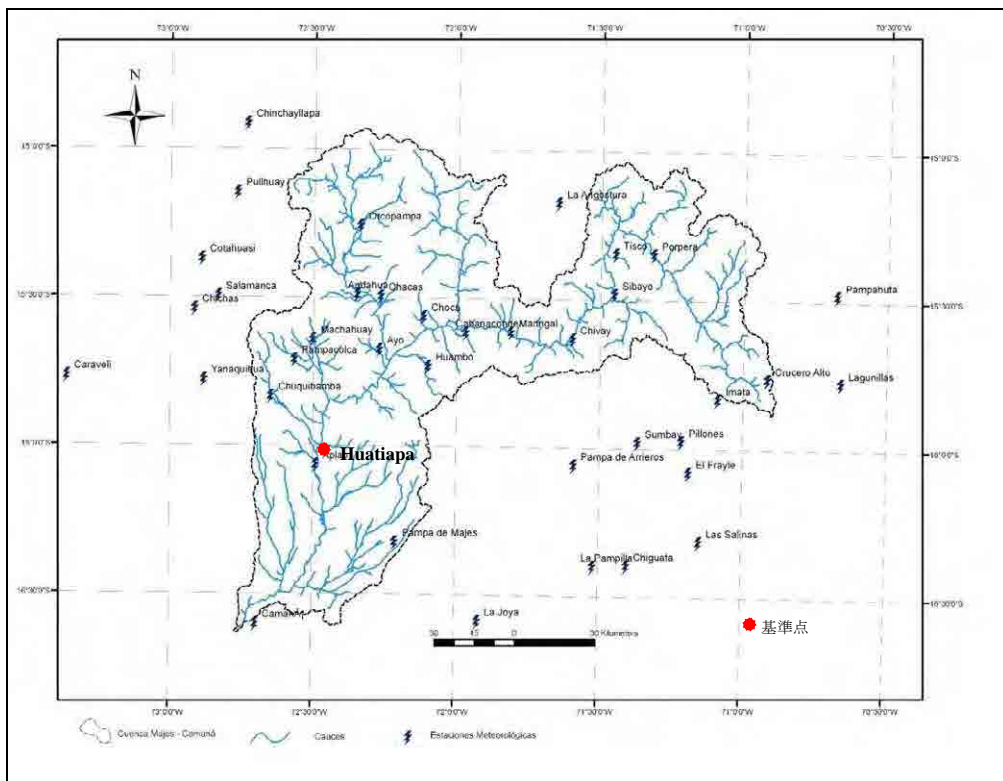


図 2.3.6-6 マヘス - カマナ川流域基準点位置

3.2 降雨量に基づく流出解析 (HEC-HMS システム)

調査対象地域における流量観測は日流量についてのみであって、前節で求めた確率洪水規模流量はピーク流量である。後述する氾濫解析を行うためには洪水の時間的分布（洪水波形）が必要となる。ここでは降雨観測データに基づく流出解析を行う。

流出解析に用いる方法はアメリカ工兵隊(US Army Corps of Engineer)が開発した HEC-HMS システム (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System) とする。このシステムは北米をはじめ世界各地で用いられている流出解析の汎用プログラムで、ペルー国においても最もポピュラーなプログラムの一つである。

3.2.1 HEC-HMS システムの概要

HEC-HMS システムは多数の小流域からなる流域システムにおける降雨と流出の関係をシミュレーションするようにデザインされている。流域モデルは多数の小流域、河道、合流点、分流点、貯水池などから構成する事が可能である。

浸透損失についても SCS curve number, Initial Constant, Exponential, Green Ampt 法などの適用が可能である。

有効雨量を流出量に変換する方法についても Clark, Snyder, SCS を含む単位図 (Unit Hydrograph) 法の適用が可能である。河道の流出についてはマスキングム法やキネマティックウェーブ法などを含む各種の方法が適用可能である。その他にも基底流量の流出計算についても各種の方法が適用可能となっている。

降雨量解析については 6 種類の降雨データ解析法や降雨データの合成法が含まれている。ティーセン法を含む 4 種類の雨量配分法が無制限の数の降雨観測所について適用可能である。

洪水頻度法 (Frequency storm method) により特定の超過確率を有する洪水を計算することが可能である。また SCS hypothetical storm 法により NRCS 規準 (Natural Resources Conservation Service Criteria) を用いて降雨量の時間的配分を計算することが可能である。小流域や河道に含まれる殆どのパラメーターは最適化トライアルを用いて自動的に推定される。異なる目的を持つ 6 種類の機能が計算流量の実測流量に対する最適化に利用可能である。

本調査において上記のシステムを適用する手順は次のとおりである。この手順に従ってマヘス - カマナ流域を例として流出解析の概要について以下に述べる。各流域の流出解析の詳細については巻末の Appendix を参照のこと。

- (1) 流域モデルの作成
- (2) 降雨量解析
 - 1) 各降雨観測所の確率規模 24 時間降雨量の計算
 - 2) 各構成流域における 24 時間雨量の算定
 - 3) 24 時間雨量曲線の選定
- (3) SSC 法による浸透損失計算

- 1) 各構成流域のカーブナンバー初期値の選定
- 2) 同上最終カーブナンバーの決定
- 3) モデルの検証
- (4) 確率規模洪水流量および洪水波形の計算

3.2.2 流域モデルの作成

(1) 流域の分割

マヘス - カマナ流域を水理特性の類似した4の小流域に分割した。流域の特性としては地形、支川の分布形状、地形、植生、土質条件などを考慮した。流域の分割を図 3.2.2-1 に示す。



図 3.2.2-1 マヘス - カマナ流域の流域分割

(2) 流域モデルの作成

HEC-HMS においては流域を構成する小流域 (Sub Basin)、河道(Reach)、合流点(Junction)などを模式的に表現する。これに基づき流域全体のモデルを作成すると図 3.2.2-2 に示す通りとなる。

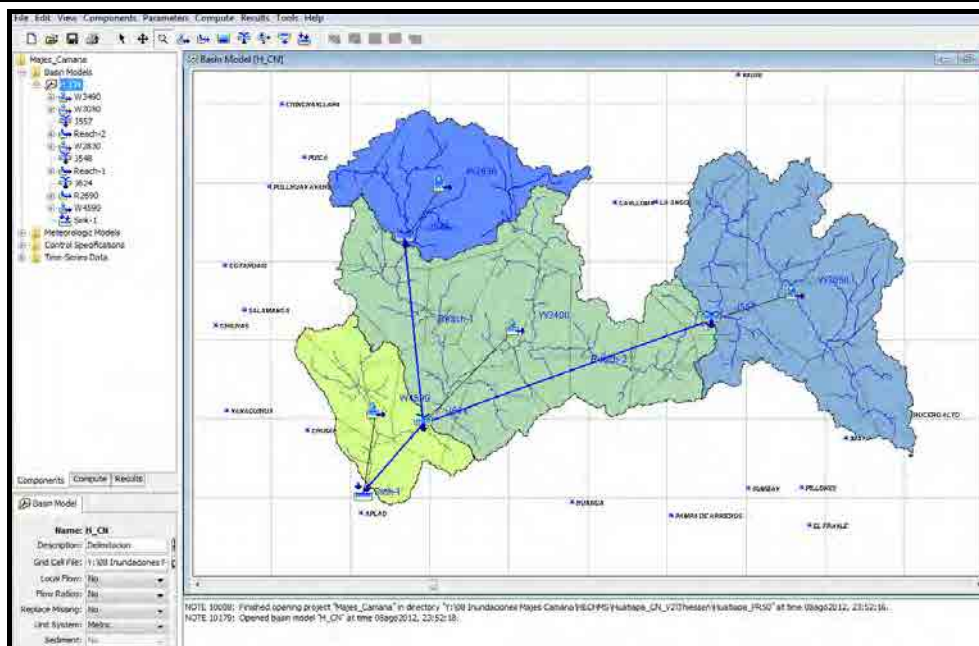


図 3.2.2-2 マヘス - カマナ流域の HEC-HMS モデル

3.2.3 降雨量解析

(1) 各降雨観測所の確率 24 時間降雨量の計算

各年最大 24 時間降雨量の観測値を統計処理して各降雨観測所における確率規模 24 時間雨量を計算すると表 3.2.3-1 に示す通りとなる。

この表より確率 50 年規模の 24 時間雨量の等雨量線図は図 3.2.3-1 に示す通りとなる。

表 3.2.3-1 各降雨観測所における確率 24 時間降雨量 (マヘス - カマナ川流域)

Station	Coordinates			Precipitation for T (years)						
	Latitude	Longitude	Altitude (masl)	2	5	10	25	50	100	200
Andahua	15° 29'37	72° 20'57	3538	24.30	31.33	34.83	38.29	40.33	42.02	43.43
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	625	1.71	5.03	7.26	9.51	10.71	11.56	12.14
Ayo	15° 40'45	72° 16'13	1950	10.28	16.43	20.51	25.66	29.48	33.27	37.05
Cabanaconde	15° 37'7	71° 58'7	3369	26.58	37.88	45.89	56.58	64.95	73.67	82.79
Camana	16° 36'24	72° 41'49	29	3.18	7.16	9.79	13.11	15.58	18.03	20.46
Caravelí	15° 46'17	73° 21'42	1757	7.67	16.07	22.60	31.46	38.30	45.21	52.15
Chachas	15° 29'56	72° 16'2	3130	22.21	28.60	32.08	35.83	38.24	40.37	42.30
Chichas	15° 32'41	72° 54'59.7	2120	16.28	23.47	27.01	30.37	32.23	33.67	34.80
Chiguata	16° 24'1	71° 24'1	2945	18.88	29.98	37.33	46.40	52.94	59.27	65.42
Chinchavillapa	14° 55'1	72° 44'1	4514	23.12	31.21	36.57	43.34	48.37	53.35	58.32
Chivay	15° 38'17	71° 35'49	3663	24.50	32.74	38.20	45.09	50.21	55.29	60.35
Choco	15° 34'1	72° 07'1	3160	16.10	22.92	27.45	33.16	37.39	41.60	45.79
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2839	21.65	36.96	47.09	59.89	69.39	78.82	88.21
Cotahuasi	15° 22'29	72° 53'28	5086	21.20	29.97	35.78	43.12	48.56	53.96	59.35
Crucero Alto	15° 46'1	70° 55'1	4486	25.33	31.66	35.20	39.10	41.67	44.02	46.17
El Frayle	16° 05'5	71° 11'14	4110	22.33	29.95	35.43	42.89	48.83	55.12	61.82
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500	22.87	30.14	34.96	41.05	45.57	50.05	54.52
Imata	15° 50'12	71° 05'16	4451	28.35	37.09	42.87	50.18	55.80	60.98	66.34
La Angostura	15° 10'47	71° 38'58	4260	35.90	45.89	53.22	63.31	71.46	80.18	89.57
La Joya	16° 35'33	71° 55'9	1279	1.22	4.74	7.89	11.93	14.65	16.98	18.92
La Pampilla	16° 24'12.2	71° 31'6	2388	12.65	21.64	27.66	35.01	40.23	45.20	49.94
Lagunillas	15° 46'46	70° 39'38	4385	28.55	34.30	37.75	41.81	44.67	47.40	50.05
Las Salinas	16° 19'5	71° 08'54	3369	18.05	25.72	30.80	37.22	41.98	46.70	51.41
Machahuay	15° 38'43	72° 30'8	3000	21.06	29.80	34.71	40.03	43.45	46.46	49.14
Madrigal	15° 36'59.7	71° 48'42	3238	23.63	30.07	33.66	37.59	40.17	42.50	44.63
Orcopampa	15° 15'39	72° 20'20	3805	21.51	29.58	36.83	48.66	59.81	73.37	89.32
Pampa de Arrieros	16° 03'48	71° 35'21	3720	18.86	32.08	40.82	51.88	60.07	68.21	76.32
Pampa de Majes	16° 19'40	72° 12'39	1442	2.07	6.68	10.56	15.55	18.98	22.04	24.69
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2895	21.13	29.11	34.40	41.08	46.04	50.95	55.86
Pampahuta	15° 29'1	70° 40'33.3	4317	34.18	39.66	42.87	46.58	49.14	51.57	53.89
Pillones	15° 58'44	71° 12'49	4428	24.00	32.95	38.88	46.36	51.92	57.43	62.92
Porpera	15° 21'1	71° 19'1	4142	27.40	40.61	49.37	60.42	68.63	76.77	84.88
Pullhuay	15° 09'1	72° 46'1	3098	24.47	32.43	37.63	44.15	48.97	53.77	58.60
Salamanca	15° 30'1	72° 50'1	3153	19.86	26.64	31.13	36.81	41.02	45.20	49.36
Sibayo	15° 29'8	71° 27'11	3839	31.25	38.61	42.98	48.06	51.59	54.93	58.13
Sumbay	15° 59'1	71° 22'1	4300	25.43	35.57	43.10	53.56	62.08	71.26	81.17
Tisco	15° 21'1	71° 27'1	4198	33.41	42.74	51.24	65.12	78.15	93.95	113.15
Yanaquihua	15° 46'59.8	72° 52'57	2834	20.70	35.78	45.76	58.38	67.74	77.03	86.29

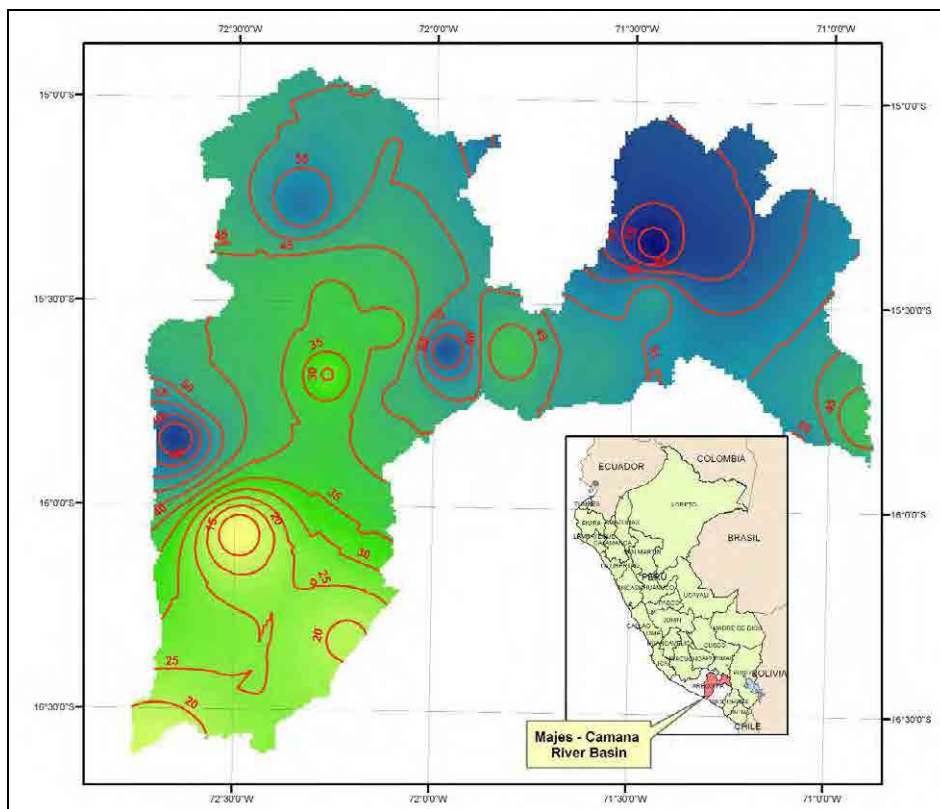


図 3.2.3-1 確率 50 年 24 時間降雨量の等雨量線図 (マヘス - カマナ川)

(2) 各構成流域における 24 時間雨量の算定

各観測所の確率 24 時間降雨量からティーセン法によりマヘス - カマナ川を構成する小流域の降雨量を算定した。ティーセン分割図を図 3.2.3-2 に示す。

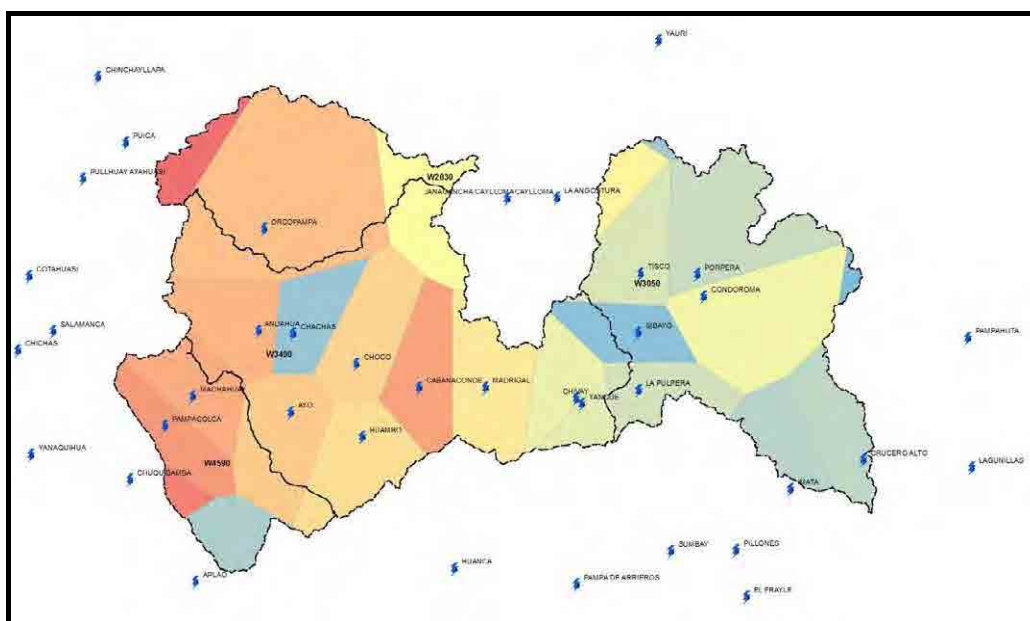


図 3.2.3-2 雨量観測所とティーセン分割 (マヘス - カマナ川)

一般的には各構成流域の流域平均雨量から各年最大値を求め、確率雨量を算定する必要がある。しかし、対象流域の降水量データの欠測が多く流域平均雨量の算定が困難であるため、止むを得ず各観測所の確率雨量から各構成流域の確率雨量を推定した。算定結果を表 3.2.3-2 に示す。なお、他河川においても同手法を用いている。

表 3.2.3-2 マヘス - カマナ川流域の構成流域における確率 24 時間降雨量

Sub basin	Mean areal rainfall (mm.)				
	T5	T10	T25	T50	T100
W2830	29.60	36.80	48.68	59.96	73.45
W3050	38.20	46.10	55.14	62.47	70.23
W3490	29.25	34.14	40.63	45.15	50.03
W4590	23.05	27.70	33.23	36.98	40.77

(3) 24 時間雨量曲線の選定

流域内の降雨観測所には時間雨量データはほとんど無いので、24 時間雨量より時間雨量曲線を推定せざるを得ない。

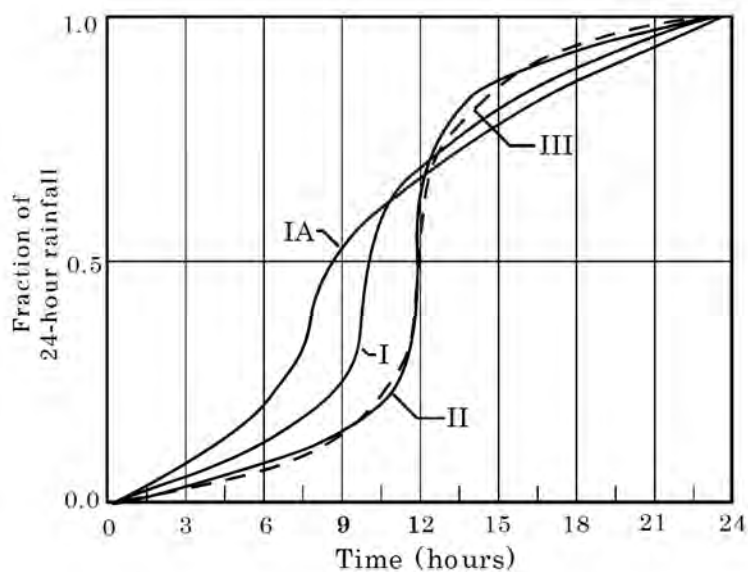
24 時間雨量曲線は HEC-HMS において一般的に用いられている SCS(Soil Conservation Service) hypothetical storm を用いる。この方法は USA における降雨データの解析結果から導き出されたもので 24 時間降雨量を無次元化して表 3.2.3-3 および図 3.2.3-3 に示す 4 タイプの降雨時間曲線により表している。24 時間雨量の配分は各タイプの累加雨量曲線より時間間隔を定めて図 3.2.3-4 に示す通りとする。なお USA におけるそれぞれの降雨タイプの適用範囲は図 3.2.3-5 に示すとおりであり、USA の大部分においてタイプ II を適用する事が推奨されている。HEC-HMS においては殆どの流域で 24 時間の継続時間で十分としている。

本調査対象流域においては時間雨量の資料がほとんどなく 24 時間雨量曲線のタイプを判定することは困難であるが、ペルーにおいては既存の数少ない調査結果に基づきタイプを選定しているのが実態である。

Miplo Mining Company はペルー国の西側斜面(カニェテ川流域とピスコ川流域のチンチャ高地)に設置した Chavin 観測所のデータを解析してこの地域の 24 時間降雨量の分布がタイプ II に類似しているとした。この降雨パターンはペルー海岸地帯の中央部および南部の降雨パターンを示しているとされている。また北部の El Tigre 観測所においてエルニーニョ発生時における雨量を解析してこの地域における降雨分布はタイプ I およびタイプ IA に類似しているとしている。これらの結果に基づき本調査ではカニェテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域についてはタイプ II をチラ川流域についてはタイプ I を、マヘス-カマナ川流域については Chivay 降雨観測所の時間雨量データの波形から Modified タイプ I を採用した。

表 3.2.3-3 SCS Hypothetical Storm における 24 時間降雨量累加曲線

Time (hr)	t/24	24 hr precipitation temporal distribution			
		Type I	Type IA	Type II	Type III
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.00	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.00	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.00	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.00	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8.00	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.50	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.00	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.50	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.00	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.50	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.00	0.458	0.624	0.624	0.235	0.250
11.50	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.75	0.490	0.669	0.655	0.357	0.339
12.00	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500
12.50	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.00	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.50	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.00	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.00	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.00	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000



Source :Urban water hydrology for small watersheds(TR-55) Appendix B

図 3.2.3-3 24 時間雨量の降雨量分布

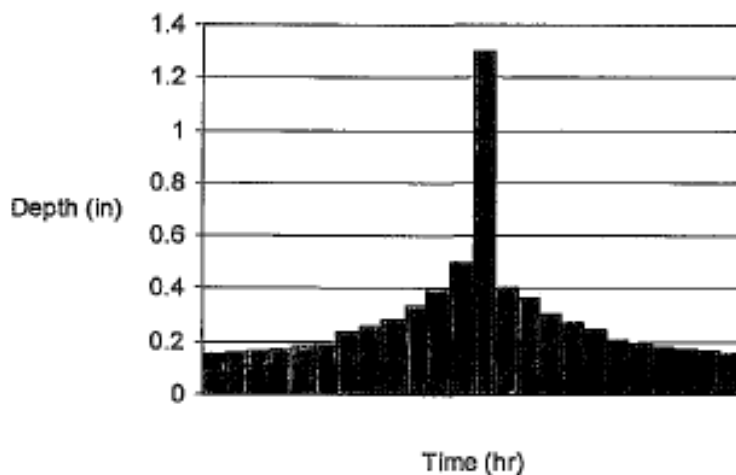
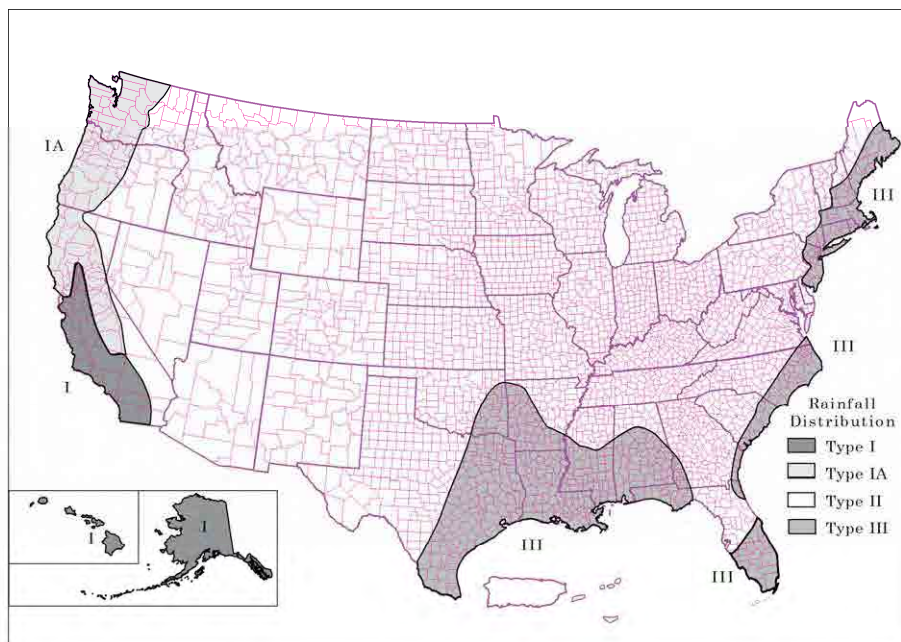


図 3.2.3-4 24 時間雨量の配分



Source :Urban water hydrology for small watersheds(TR-55) Appendix B

図 3.2.3-5 24 時間降雨量曲線のタイプと適用地域

3.2.4 SSC 法による有効雨量の計算

(1) 基本式

SSC Curve Number (CN) Loss Model は累加雨量、流域の土質、土地利用、初期損失などの関数として有効雨量を次式により推定する方法である。

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

ここに P_e :時刻 t における有効雨量 ; P : 時刻 t における累加雨量 ; I_a :初期損失 ; S : 可能
 最大貯留量

$I_a = 0.2 S$ と仮定すると

$$P_e = \frac{(P_e - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

S と流域の特性を表す CN の関係は次の通りとなる。

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN を仮定して P_e と P の関係を計算すると図-3.2.4-1 に示すとおりとなる。

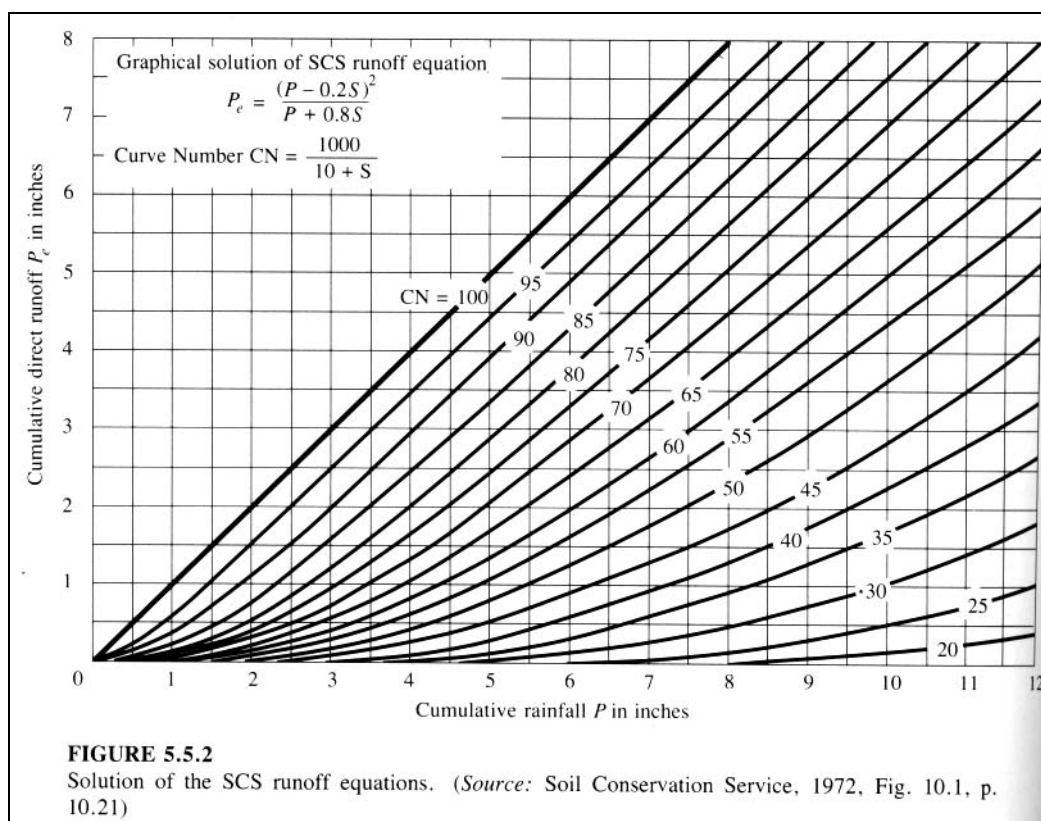


図 3.2.4-1 カーブナンバー (CN) ,累加雨量 P および有効雨量 P_e の関係

(2) 各構成流域のカーブナンバーの選定

流域を構成する小流域毎の土地利用や土質条件、さらには近傍河川の採用値等からマヘス - カマナ川流域における CN 値を図 3.2.4-2 及び表 3.2.4-1 に設定した。

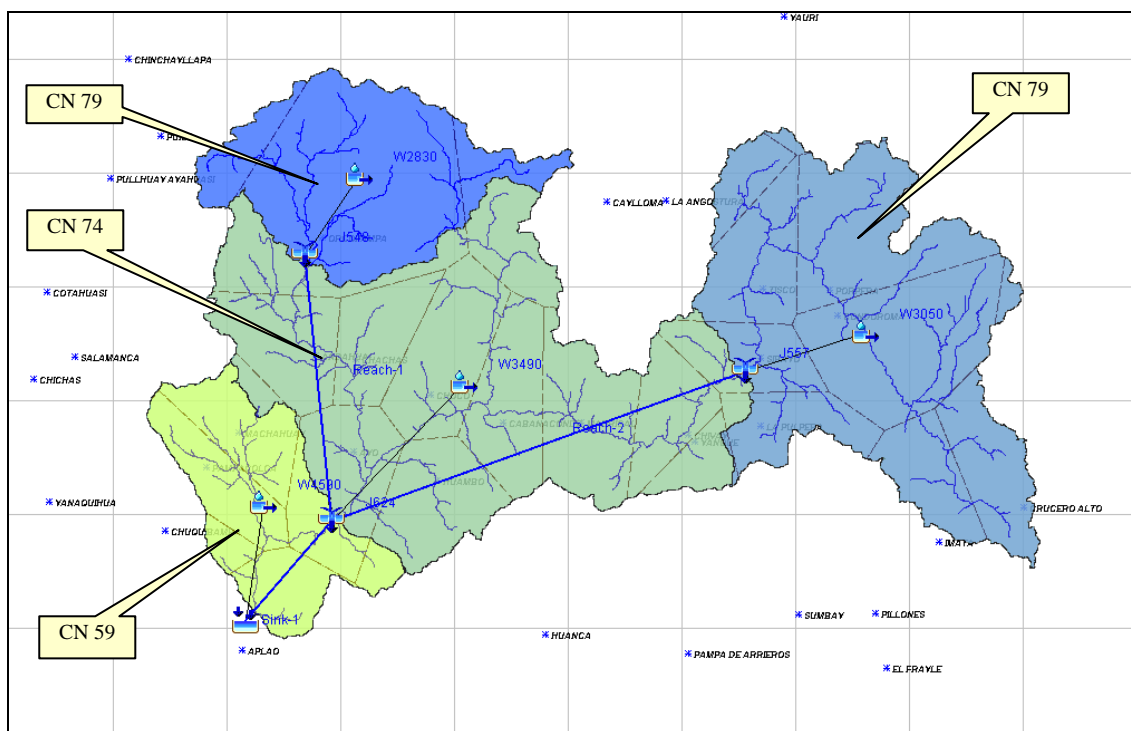


図 3.2.4-2 マヘス - カマナ川流域における CN 採用値

表 3.2.4-1 CN の採用値

流域	流域の状況	CN 採用値
Upper Basin – Colca(W3050)	Barren area with scarce vegetation.	79
Middle Basin – Colca(W3490)	Pastures, shrub, small trees.	74
Upper Basin – Andahua(W2830)	Barren area with scarce vegetation.	79
Lower Basin – Majes(W4590)	Desert, hyper arid area	59

表 3.2.4-2(1) 土地利用および土質性状に基づく CN (1/3)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land ¹ : without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover ²	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential ³ :				
Average lot size Average % impervious ⁴				
1/8 acre or less 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. ⁵	98	98	98	98
Streets and roads:				
paved with curbs and storm sewers ⁵	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89

¹For a more detailed description of agricultural land use curve numbers, refer to Soil Conservation Service, 1972, Chap. 9

²Good cover is protected from grazing and litter and brush cover soil.

³Curve numbers are computed assuming the runoff from the house and driveway is directed towards the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur.

⁴The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers.

⁵In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.

表 3.2.4-3 (2) 土地利用および土質性状に基づく CN (2/3)

TABLE 5.5.1 SCS Runoff Curve Numbers (Continued)					
c. Other agricultural areas					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing*	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element†	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm)‡	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods§	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots	—	59	74	82	86

* Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch.
Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.
Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.
† Poor: < 50% ground cover.
Fair: 50 to 75% ground cover.
Good: > 75% ground cover.
‡ CNs shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CNs for woods and pasture.
§ Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.
Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.
Source: Ref. 105.

d. Arid and semiarid range areas					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition*	A†	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Piñon-juniper—piñon, juniper, or both: grass understory	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55

表 3.2.4-4 (3) 土地利用および土質性状に基づく CN (3/3)

d. Arid and semiarid range areas					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition*	A†	B	C	D
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

* *Poor*: <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).
Fair: 30 to 70% ground cover.
Good: >70% ground cover.
† Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.
Source: Ref. 105.

Source: Maidment (1993).

Note: Hydrological Soil Group

Group Asoils have low runoff potential and high infiltration rates even when thoroughly wetted. They consist chiefly of deep, well to excessively drained sand or gravel and have a high rate of water transmission (greater than 0.30 in/hr).

Group Bsoils have moderate infiltration rates when thoroughly wetted and consist chiefly of moderately deep to deep, moderately well to well drained soils with moderately fine to moderately coarse textures. These soils have a moderate rate of water transmission (0.15-0.30 in/hr).

Group Csoils have low infiltration rates when thoroughly wetted and consist chiefly of soils with a layer that impedes downward movement of water and soils with moderately fine to fine texture. These soils have a low rate of water transmission (0.05-0.15 in/hr).

Group Dsoils have high runoff potential. They have very low infiltration rates when thoroughly wetted and consist chiefly of clay soils with a high swelling potential, soils with a permanent high water table, soils with a claypan or clay layer at or near the surface, and shallow soils over nearly impervious material. These soils have a very low rate of water transmission (0-0.05 in/hr).

【既往調査の HEC-HMS モデルを用いたペルー海岸域の解析事例と CN 値】



MINISTERIO DE AGRICULTURA

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y PLANEAMIENTO
DE RECURSOS HIDRICOS

ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LAS CUENCAS DE LA ZONA CENTRO
DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO
INFORME FINAL



Ing. Mg.Sc. Ricardo Apaclla Nalvarte

Lima, Diciembre del 2010

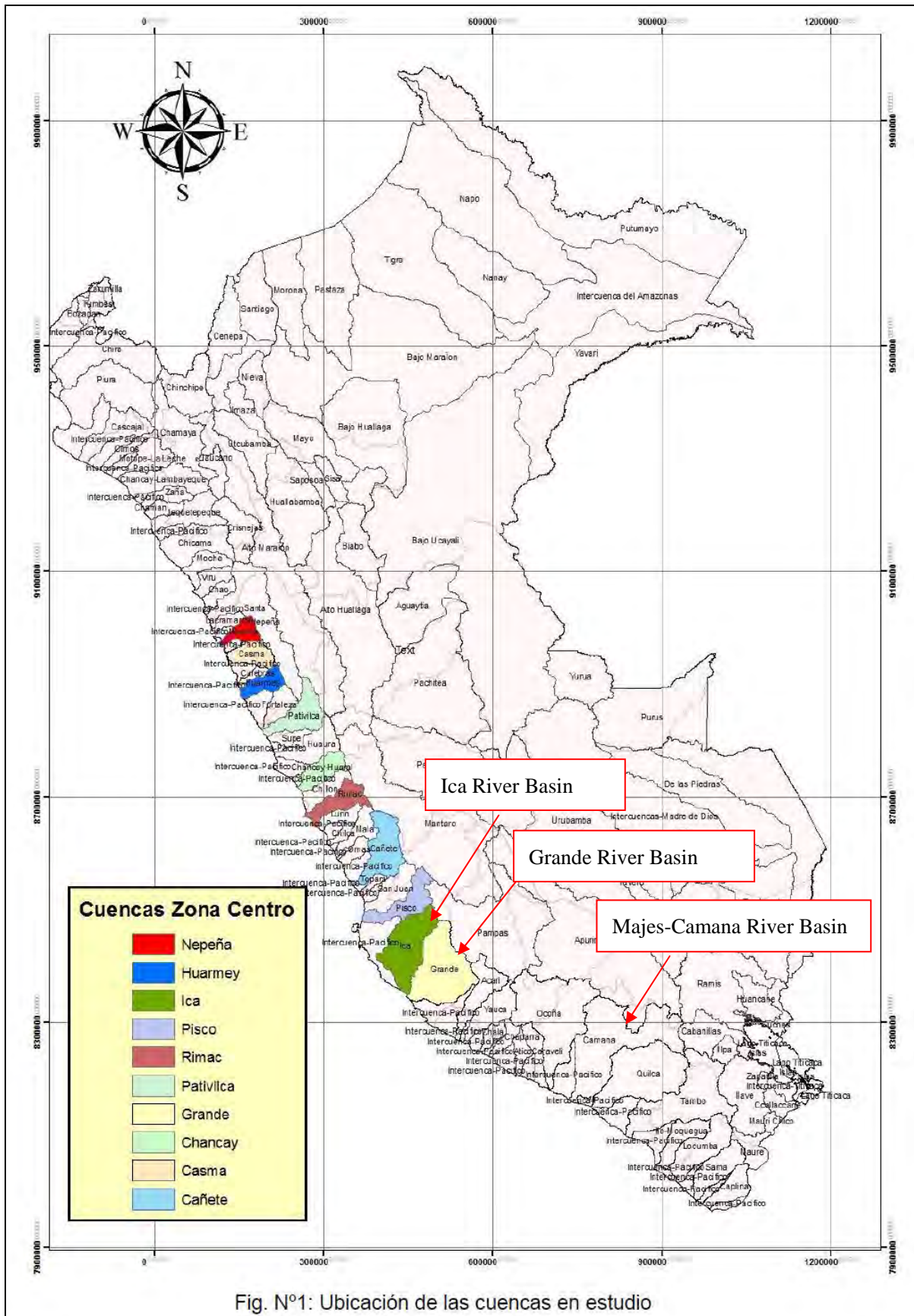


図 3.2.4-3 近傍河川の位置

表 3.2.4-5 Ica 川流域の CN 値

Cuadro N°35: Características de las subcuencas.-Río Ica						
Dren	Nombre	Río	Area (Km2)	RivLen (m)	River S (m/m)	CN
112	W1120	R40	474,88	35171,64	0,044382	85
113	W1130	R20	842,51	2583,67	0,043736	85
124	W1240	R260	908,17	7498,26	0,067749	78
134	W1340	R440	1018,90	28218,07	0,042845	72
177	W1770	R560	750,36	8107,34	0,008881	74
178	W1780	R710	965,16	6776,21	0,009445	76
179	W1790	R970	595,95	12454,52	0,002168	79
220	W2200	R670	1697,10	10137,58	0,064611	76
190	W1900	R750	459,60	5833,19	0,010629	75
198	W1980	R980	119,35	15376,46	0,011511	73
201	W2010	R1030	289,45	5874,87	0,032511	79

表 3.2.4-6 Grande 川流域の CN 値

Cuadro N°36: Características de las subcuencas.-Río Grande						
Dren	Nombre	Río	Area (Km2)	RivLen (m)	River S (m/m)	CN
149	W1490	R20	927,91	5747,12	0,031668	80
170	W1700	R530	948,76	1241,53	0,109542	76
179	W1790	R320	947,40	2232,24	0,147833	80
187	W1870	R250	566,49	9459,92	0,098098	77
197	W1970	R550	855,11	6760,31	0,086978	78
204	W2040	R620	1051,50	5935,73	0,061324	80
210	W2100	R690	145,92	3653,87	0,024631	80
213	W2130	R740	810,28	3536,00	0,071267	79
215	W2150	R720	660,50	5948,33	0,018156	80
216	W2160	R760	73,08	8468,42	0,005314	78
220	W2200	R770	29,61	4812,62	0,004571	79
225	W2250	R830	378,12	14997,89	0,014002	75
226	W2260	R780	1158,10	774,97	0,006452	81
247	W2470	R1090	707,13	10774,12	0,080749	78
248	W2480	R910	777,04	13762,14	0,023398	75
268	W2680	R1320	455,98	1577,07	0,019023	79
277	W2770	R1260	617,04	7087,90	0,012133	77

3.2.5 確率規模別洪水流量および洪水波形の計算

前述の検討結果に基づき各流域について確率規模別洪水流量および洪水波形を HEC-HMS により計算した。なお河道の流出についてはキネマティックウエーブ法を適用した。

計算の結果は表 3.2.5-1、表 3.2.5-2 および図 3.2.5-1～図 3.2.5-6 に示すとおりである。既往最大流量と流出解析による確率 50 年流量の比較を表 3.2.5-3 に示すが、カニエテ川以外は両者は概ね一致している。なお、カニエテ川は後述 (3.3.2) するとおり観測流量の精度に問題がある。

本調査における流下能力の検討、氾濫解析、洪水対策施設の検討には流出解析結果を用いた。

表 3.2.5-1 確率規模別洪水流量

河川名/基準点	(m ³ /s)					
	確率 2 年	確率 5 年	確率 10 年	確率 25 年	確率 50 年	確率 100 年
チラ川 Puente Sullana	890	1,727	2,276	2,995	3,540	4,058
カニエテ川 Socsi	331	408	822	1,496	2,175	2,751
チンチャ川 Conta	203	472	580	807	917	1,171
ピスコ川 Letrayoc	213	287	451	688	855	962
ヤウカ川 San Francisco Alto	24	37	90	167	263	400
マヘス/カマナ川 Huatiapa	306	638	1,007	1,566	2,084	2,703

表 3.2.5-2 確率規模別洪水比流量

河川名/基準点	(m ³ /s/km ²)						流域面積 Km ²
	確率 2 年	確率 5 年	確率 10 年	確率 25 年	確率 50 年	確率 100 年	
チラ川 Puente Sullana	0.066	0.129	0.170	0.224	0.264	0.303	13,390
カニエテ川 Socsi	0.058	0.072	0.145	0.264	0.383	0.485	5,676
チンチャ川 Conta	0.068	0.158	0.195	0.271	0.308	0.393	2,981
ピスコ川 Letrayoc	0.069	0.093	0.147	0.224	0.279	0.313	3,070
ヤウカ川 San Francisco Alto	0.008	0.012	0.028	0.052	0.082	0.125	3,198
マヘス/カマナ川 Huatiapa	0.024	0.050	0.078	0.122	0.162	0.210	12,854

*流域面積は基準点より上流域の面積

*チラ川は上流域のエクアドル国部分も含む

表 3.2.5-3 既往最大流量と確率 50 年流量の比較

(m³/s)

河川名/基準点	既往最大流量	観測期間	流出解析による 確率 50 年流量
チラ川 Puente Sullana	3,228	34	3,540
カニェテ川 Socsi	900	81	2,175
チンチャ川 Conta	1,203	57	917
ピスコ川 Letrayoc	957	76	855
ヤウカ川 San Francisco Alto	212	48	263
マヘス/カマナ川 Huatiapa	2,400	41	2,084

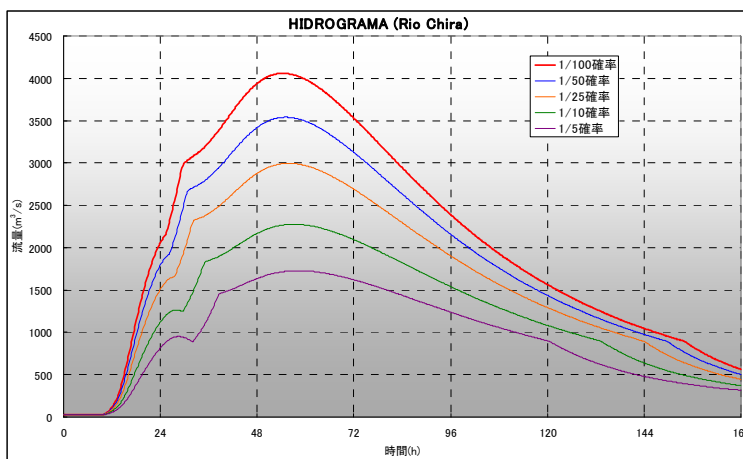


図 3.2.5-1 チラ川の洪水ハイドログラフ

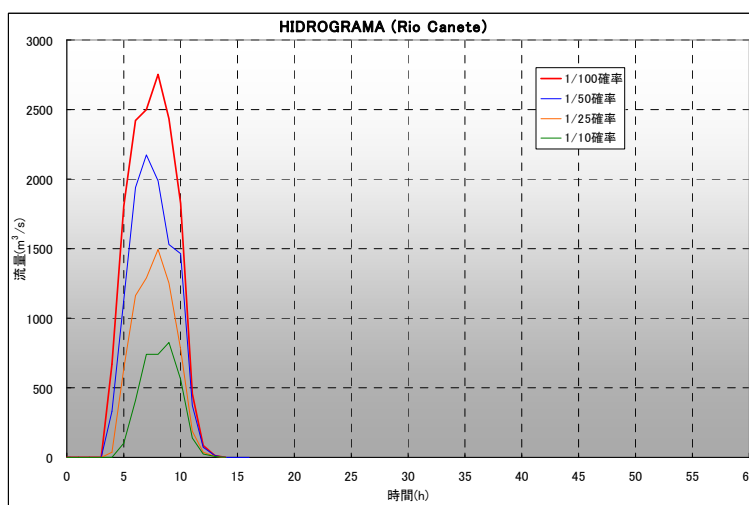


図 3.2.5-2 カニェテ川の洪水ハイドログラフ

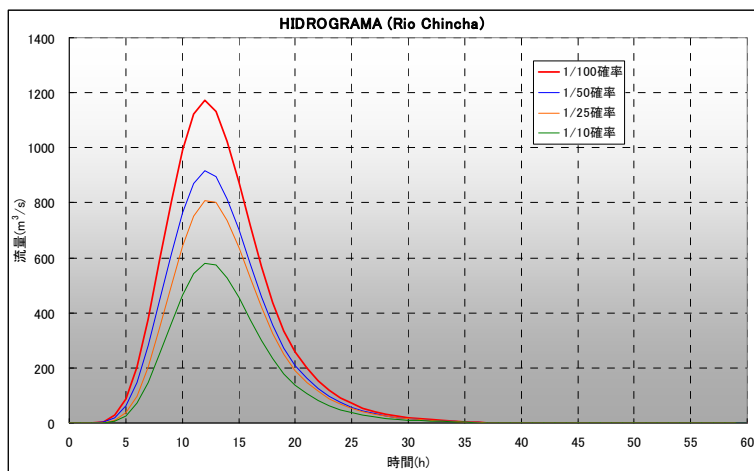


図 3.2.5-3 チンチャ川の洪水ハイドログラフ

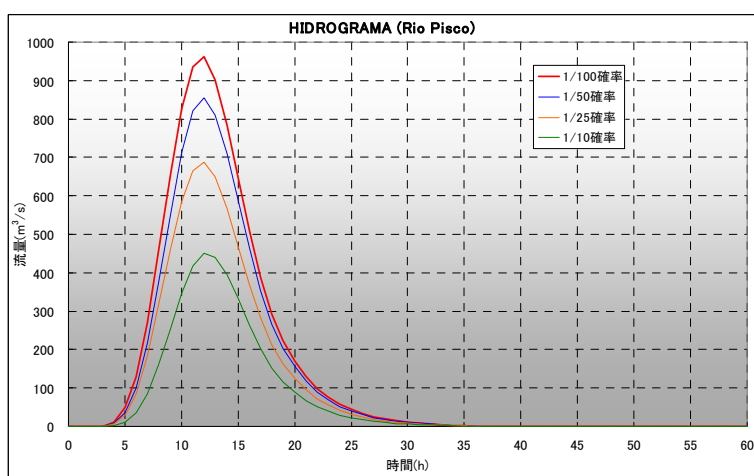


図 3.2.5-4 ピスコ川の洪水ハイドログラフ

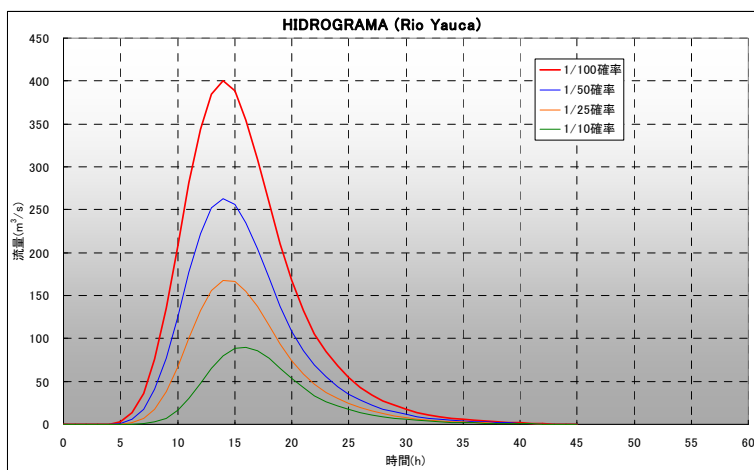


図 3.2.5-5 ヤウカ川の洪水ハイドログラフ

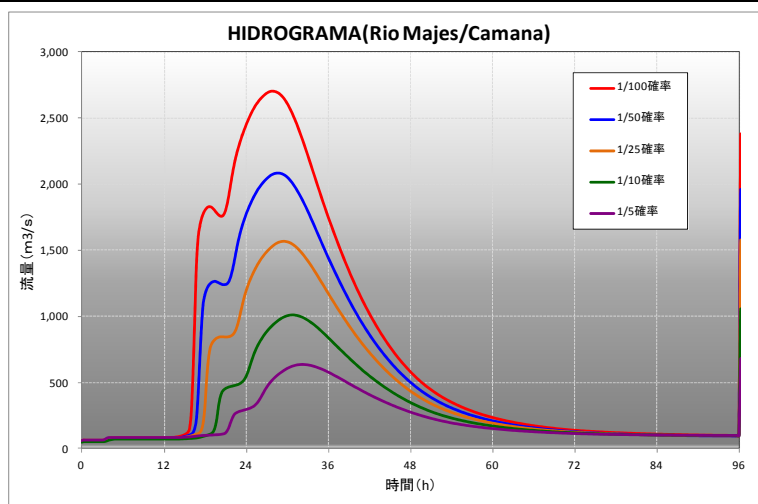


図 3.2.5-6 マヘス/カマナ川の洪水ハイドログラフ

3.3 解析結果の考察

3.3.1 ピーク流量の検証

ペルー海岸域の各河川の確率流量の比流量と今回算定した流出計算結果をプロットしたものを図 3.3.1-1～図 3.3.1-4 に示す。(出典: "Estudio Hidrológico - Meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con Fines de Evaluación y Pronóstico del Fenómeno El Niño para Prevención y Mitigación de Desastres", Ministerio de Economía y Finanzas, Asociacion BCEOM - Sofi Consult S.A. ' ORSTOM, Nov. 1999)

これらの各地域別比流量図とクリーガー曲線から、今回の見直しにより算定した各確率流量の計算値は、ほぼ妥当な範囲内にあると判断される。

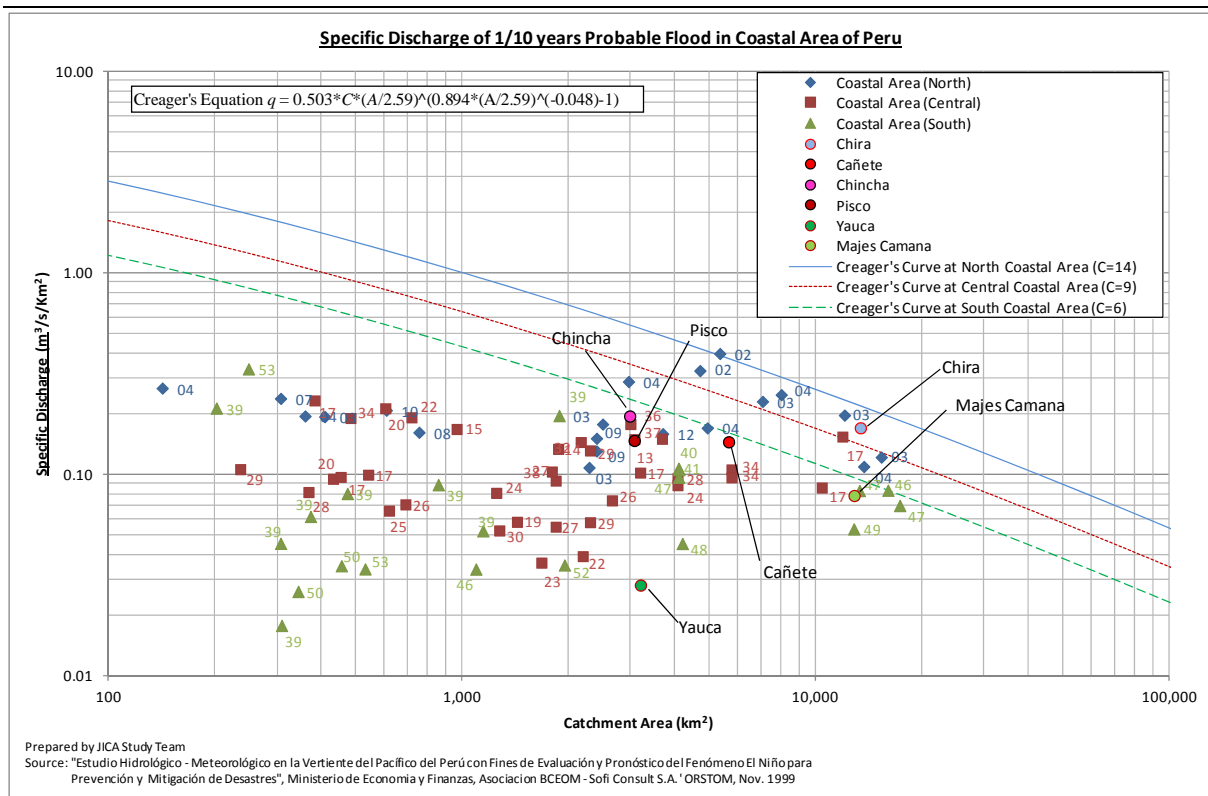


図 3.3.1-1 ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (10年確率)

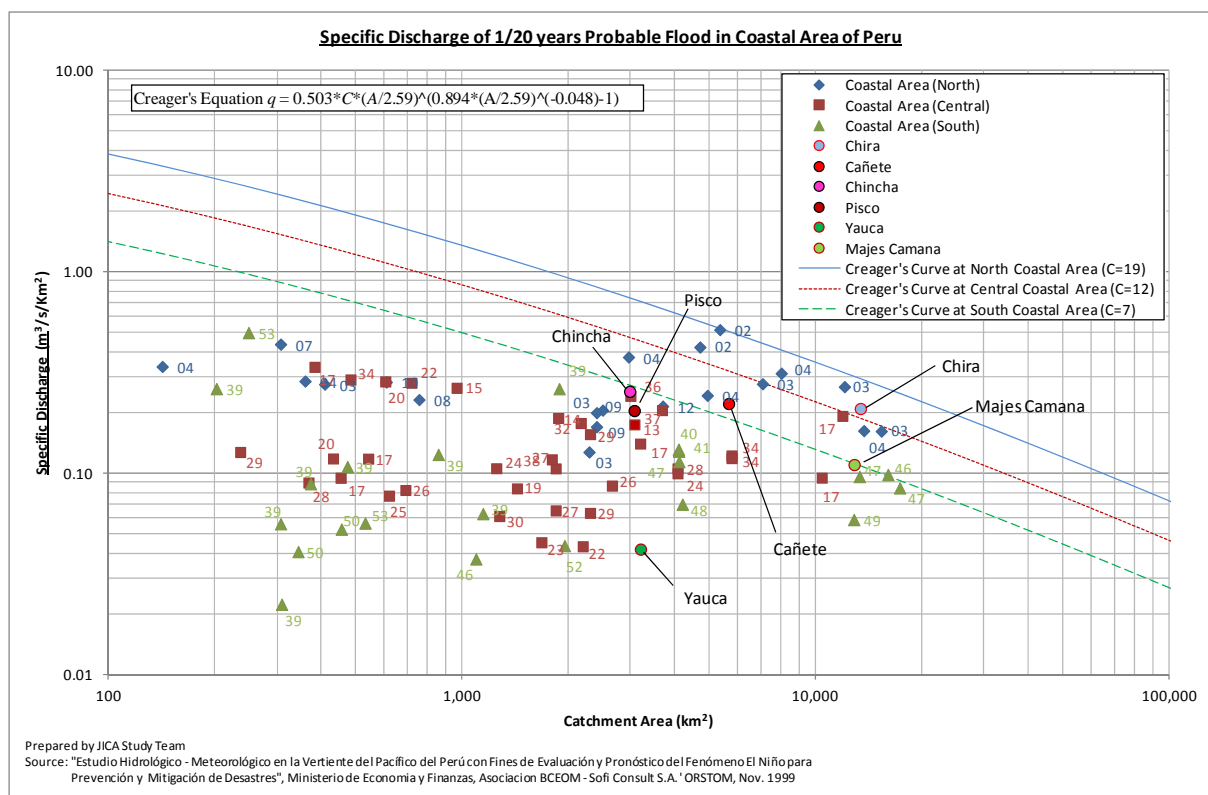


図 3.3.1-2 ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (20年確率)

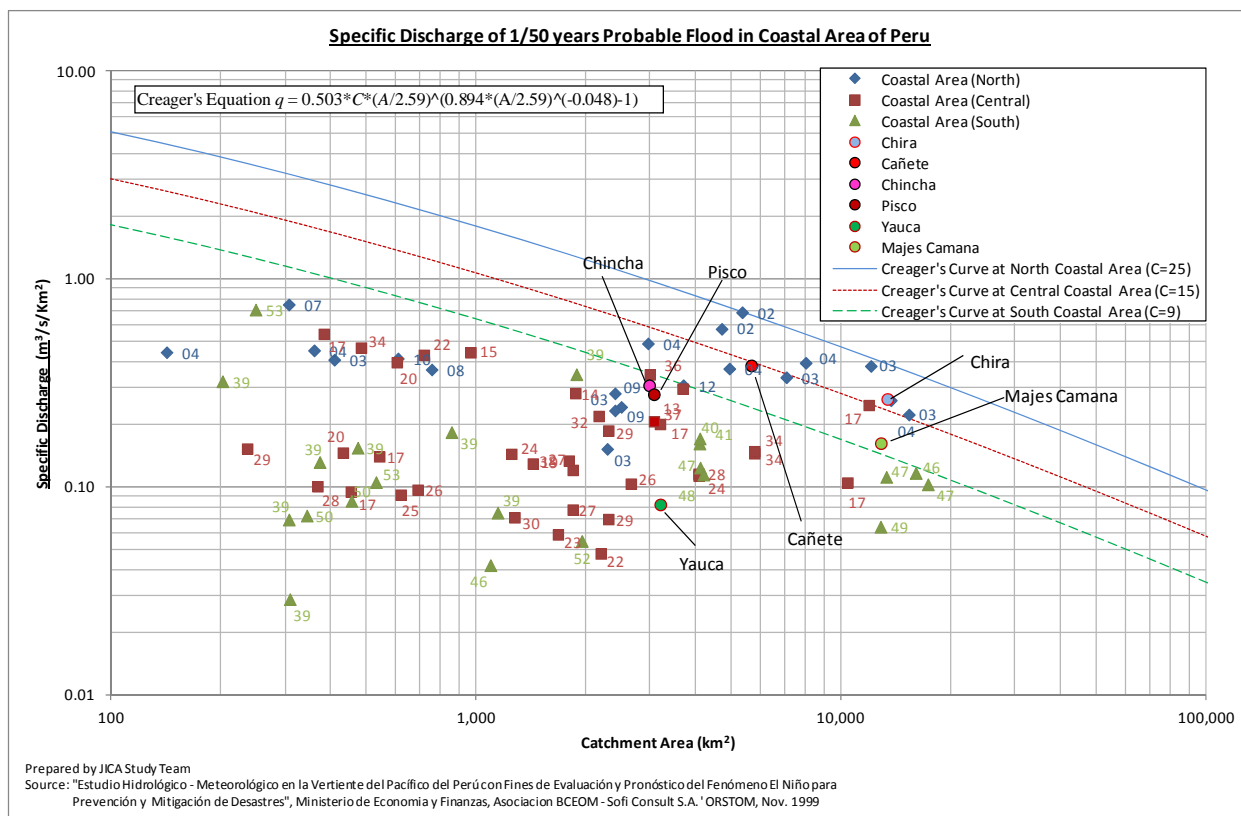


図 3.3.1-3 ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (50年確率)

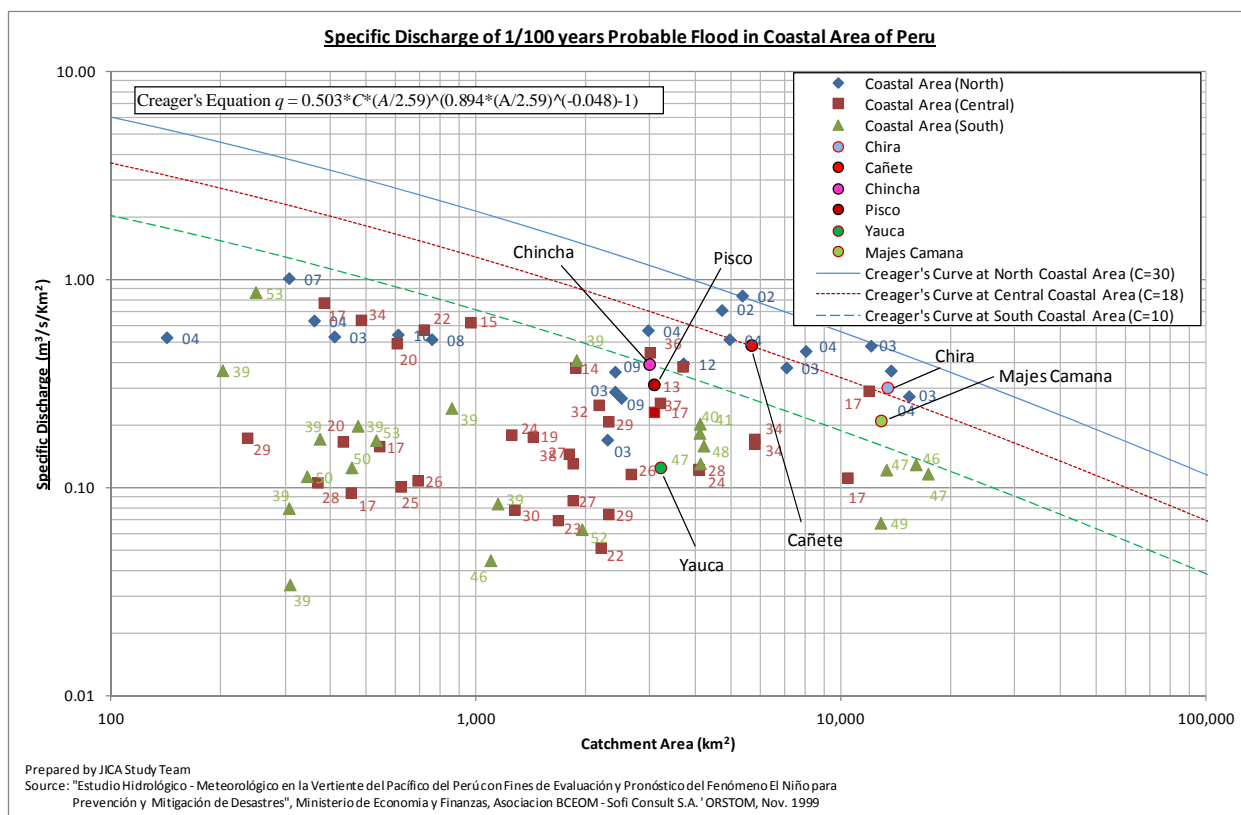


図 3.3.1-4 ペルー海岸域の地域別の確率洪水比流量図と本調査での確率洪水流量 (100年確率)

3.3.2 カニエテ川確率 50 年規模洪水量

(1) Sosci 観測所の実測限界について

Sosci 流量観測所の河川断面図は図 3.3.2-1 に示すとおりであり、最高水位（水深 2.77m）における流積は

$$A = (28.17+37.92)*1.0/2+(55.50+66.28)*0.70/2+(66.28+70.88)*1.07/2 = 149.0\text{m}^2$$

となる。

Sosci 流量観測所地点は、対象地域のかなり上流に位置するため、洪水時には、5～6 m/s 程度の流速は発生するものと思われる。

したがって流速 6 m/s と仮定するとこのときの流量は

$$Q = AV = 149.0 \times 6.0 = 894\text{m}^3/\text{sec}$$

となる。本観測所における実測の既往最大流量は 900 m³/sec となっており、上記流量とほぼ等しい。即ち本観測所においてはこれ以上の流量を観測することは困難である。

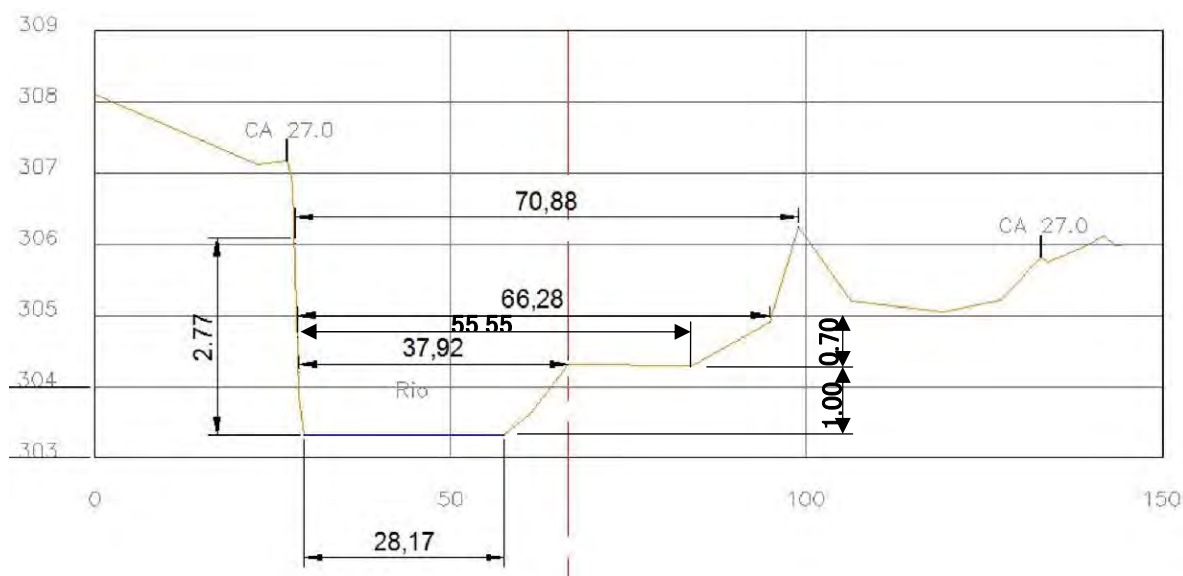


図 3.3.2-1 Sosci 流量観測所地点断面図

(2) 各確率規模の洪水流量における近隣流域との比較

カニエテ川の降雨特性と流出特性について、地形・地質が類似している近隣の他河川（チンチャ川、ピスコ川）と比較し、実測流量から計算した確率規模の洪水流量に対して降雨量から計算した確率洪水規模の流量の妥当性を検証する。

カニエテ川とチンチャ川及びピスコ川の位置関係は、首都リマに最も近いのがカニエテ川であり、その南側にチンチャ川、さらに南側にピスコ川となり、カニエテ川に最も類似している流域は、チンチャ川流域である。

1) 流出特性

3 河川の実測流量に基く流出特性は、表 3.3.2-1 に示すとおりである。カニエテ川の最大流量は他の河川に比較して極端に小さく計測されている。

表 3.3.2-1 各河川の流出特性

項目	カニエテ川 Socsi	チンチャ川 Conta	ピスコ川 Letrayoc
流域面積 (km ²)	5,676	2,981	3,096
最大流量 (m ³ /s)	900.0	1,268.8	956.0
平均流量 (m ³ /s)	338.8	240.3	296.6
最大流量／流域面積	0.159	0.426	0.306
平均流量／流域面積	0.060	0.081	0.096
最大流量／平均流量	2.657	5.280	3.223

また、表 3.3.2-2 に各河川の流量観測値（年最大流量）から算定された確率規模別の流量を算定した結果を示す。カニエテ川の各確率規模の流量について流域面積を考慮した単位流量についても同表に示しているが、カニエテ川の値は上記と同様に他の流域と比較して極端に小さくなっている。

表 3.3.2-2 各河川の基準地点の確率別流出量 (m³/s) 比較

	カニエテ川		チンチャ川		ピスコ川	
	流域面積	比率	流域面積	比率	流域面積	比率
流域面積と比率	流域面積	比率	流域面積	比率	流域面積	比率
流域面積	5,676	1.904	2,981	1.000	3,096	1.039
流出量と比率	流出量	比率	流出量	比率	流出量	比率
1/5 年 流出量	454	1.201	378	1.000	398	1.053
1/10 年 流出量	547	1.021	536	1.000	500	0.933
1/25 年 流出量	665	0.872	763	1.000	648	0.849
1/50 年 流出量	753	0.792	951	1.000	774	0.814
1/100 年 流出量	840	0.727	1156	1.000	914	0.791
単位流出量と比率	単位流出量	比率	単位流出量	比率	単位流出量	比率
1/5 年／流域面積	0.080	0.631	0.127	1.000	0.129	1.014
1/10 年／流域面積	0.096	0.563	0.180	1.000	0.161	0.898
1/25 年／流域面積	0.117	0.458	0.256	1.000	0.209	0.818
1/50 年／流域面積	0.133	0.416	0.319	1.000	0.250	0.784
1/100 年／流域面積	0.148	0.382	0.388	1.000	0.295	0.761

2) 降雨特性

3 河川の基準点における確率 24 時間雨量は表 3.3.2-3 に示すとおりである。カニエテ川の降雨特性としては、他河川より流域平均の降雨量が大きい。

表 3.3.2-3 各河川の基準地点の確率別 24 時間雨量 (mm)

	カニエテ川	チンチャ川	ピスコ川
1/5 年	25.5	23.4	28.9
1/10 年	30.3	27.4	33.2
1/25 年	37.3	32.2	38.8
1/50 年	43.1	35.6	42.6
1/100 年	49.4	39.1	46.9

各流域の流出量に影響する各河川の総降雨量を推定するために、各河川の各確率規模別の 24 時間総降雨量 (mm) に流域面積(km²)を乗じて流域全体の総降雨量(千 m³)を算定した。その結果は表 3.3.2-4 に示す通りである。

表 3.3.2-4 各河川の基準地点における確率別 24 時間総降雨量 (千 m³)

	カニエテ川	チンチャ川	ピスコ川
1/5 年	144,738	69,755	89,474
1/10 年	171,983	81,679	102,787
1/25 年	211,715	95,988	120,125
1/50 年	244,636	106,124	131,890
1/100 年	280,394	116,557	145,202

3) カニエテ川の実測確率規模流量の評価

a) 基準地点における確率規模流量の比流量

上記 i)で算出した各河川の確率規模別の流出量を各河川の流域面積で除したもの(比流量)を表 3.3.2-5 に示す。同表からカニエテ川の各確率規模別の比流量が他河川と比較して極端に小さくなっていることが解る。

したがって、カニエテ川の各確率規模の流出量(流量観測値より算出した流量確率結果)に問題があると思われる。

表 3.3.2-5 基準地点の確率別流量 (m³/s) / 流域面積 (km²)

	カニエテ川	チンチャ川	ピスコ川
1/5 年	0.080	0.127	0.129
1/10 年	0.096	0.180	0.161
1/25 年	0.117	0.256	0.209
1/50 年	0.133	0.319	0.250
1/100 年	0.148	0.388	0.295

b) 実測確率規模流量と確率規模総降雨量の比率

上記 i)で算出した各河川の確率規模別の流出量を各河川の確率規模別の総降雨量で除した値を表 3.3.2-6 に示す。同表からカニエテ川の各確率規模別の流出量を総降雨量で除した値は、確率

規模が増大するにも関わらずその比率が変化していない。通常であれば、他の 2 河川のように降雨確率規模が大きくなる程、その比率が増大する。

したがって、この点からもカニエテ川の各確率規模の流出量（観測値より算出した流量確率結果）に問題があると思われる。

表 3.3.2-6 基準地点の確率流量 (m³/s) / 総雨量(千 m3)

	カニエテ川	チンチャ川	ピスコ川	3 河川の 平均	チンチャ川 &ピスコ川 の平均
1/5 年	0.0031	0.0054	0.0044	0.0043	0.0049
1/10 年	0.0032	0.0066	0.0049	0.0049	0.0057
1/25 年	0.0031	0.0079	0.0054	0.0055	0.0067
1/50 年	0.0031	0.0090	0.0059	0.0060	0.0074
1/100 年	0.0030	0.0099	0.0063	0.0064	0.0081

c) 他流域データに基づくカニエテ川の流出量の推定

他流域の確率規模流量/総降雨量データに基づきカニエテ川の流出量を推定する。

カニエテ川の流出量を算定するに当たり、カニエテ川に最も近接するチンチャ川の値を用いた場合と、チンチャ川とピスコ川の平均値を用いた場合とを比較する。ただしカニエテ川の位置がチンチャ川に隣接することを考慮するとチンチャ川流域の値に基づく流出量がより妥当であると思われる。

表 3.3.2-7 基準地点の確率別流量 (m³/s) / 総雨量 (千 m3)

	チンチャ川	ピスコ川	平均	カニエテ川の流出量	
				チンチャ川の特性 * カニエテ川の総降雨量	チンチャ川とピスコ川の平均的特性 * カニエテ川の総降雨量
1/5 年	0.0054	0.0044	0.0049	784.3	714.1
1/10 年	0.0066	0.0049	0.0057	1128.6	982.6
1/25 年	0.0079	0.0054	0.0067	1682.9	1412.5
1/50 年	0.0090	0.0059	0.0074	2192.2	1813.9
1/100 年	0.0099	0.0063	0.0081	2780.9	2273.0

カニエテ川の実測流量①およびチンチャ川の流量/総降雨量データより推定したカニエテ川の流量②ならびに 24 時間降雨量に基づいて HEC-HMS により解析した流量③を比較して表 3.3.2-8 に示す。

同表より②は①より全般的にかなり大きくなっており、生起確率年の高い部分では②と③は極めて近似している。

以上の検討より実測流量に基づく確率洪水流量を採用することは困難であり、24 時間降雨量に基

づいて HEC-HEMS により解析した確率洪水量を今後の検討に用いることが妥当であると思われる。

表 3.3.2-8 カニエテ川における確率規模流量の比較

生起確率	実測流量①		チンチャ川データによる 推定流量②		HEC-HMS解析流量③	
	流量	総降雨量比	流量	総降雨量比	流量	総降雨量比
1/5	454	0.0031	784.3	0.0052	408	0.0028
1/10	547	0.0032	1128.6	0.0073	822	0.0048
1/25	665	0.0031	1682.9	0.0089	1496	0.0071
1/50	753	0.0031	2192.2	0.0099	2175	0.0089
1/100	840	0.0030	2780.9	0.0099	2751	0.0098

Appendix-1 Hydrologic Study of Majes-Camana River Basin



International Cooperation
Agency Japan



**PROJECT OF THE PROTECTION OF FLOOD PLAIN AND
VULNERABLE RURAL POPULATION AGAINST FLOODS
IN
THE REPUBLIC OF PERU**

**HYDROLOGY OF MAXIMUM FLOODS IN
CAMANA MAJES RIVER**

March 2013

 Yachiyo Engineering Co., Ltd.
 **NIPPON KOEI CO.,LTD.**

LATIN AMERICA - CARIBBEAN
 **NIPPON KOEI LAC CO., LTD.**
Ingenieros Consultores

HYDROLOGY OF MAXIMUM FLOODS IN MAJES CAMANA RIVER

CONTENTS

I. INTRODUCTION.....	1
II. GENERAL ASPECTS.....	1
III. PROJECT DESCRIPTION	7
3.1. Available information	7
3.2. Assumed risk level.....	14
3.3. Basin Delineation.....	15
3.4. Design Precipitation.....	16
3.5. Infiltration Model.....	22
3.6. Unit Hydrograph (Transform) Model	27
3.7. Flood Routing Model.....	27
3.8. Baseflow calculations	28
3.9. Logical Support (Software).....	29
3.10. Calibration of the Curve Number	30
IV. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	40

HYDROLOGY OF MAXIMUM FLOODS IN MAJES CAMANA RIVER

LIST OF TABLES

Table 1. Mean Annual Temperature versus Altitude	3
Table 2. Monthly Precipitation Data in Tisco Station	5
Table 3. List of Weather Stations in the Study Area.....	8
Table 4. Weather Stations whose Data was Discarded for the Hydrologic Study.....	9
Table 5. Periods of Data in Weather Stations in the Study Area. A number of Weather Stations were Discarded due to Missing Data.	11
Table 6. Location of Main Hydrologic Stations at the Majes - Camana Basin	12
Table 7. Location of all hydrologic stations at the Majes - Camana Basin.....	12
Table 8. Maximum Annual Discharges at Huatiapa Station.....	13
Table 9. Evaluation of Goodness of Fit of 5 Statistical Distributions. GEV Provided the Best Fit Based on the SLSC Criterion.	14
Table 10. Failure Risk Level for Structures with a Lifespan of n years, Designed for a Return Period T.....	14
Table 11. List of IGN Maps used for Basin Delineation.	15
Table 12. Precipitation for Different Return Periods at each Selected Weather Station.....	17
Table 13. Precipitation for each Sub Basin of the Majes-Camana Basin.....	21
Table 14. SCS Rainfall Distributions Type I, IA, II and III.....	22
Table 15. Values of CN Based Upon Soil Type (Hydrologic Soil Group) and Land Use	24
Table 16. Values of CN Numbers for Rural Areas and Arid and Semiarid Areas. Source: Maidment (1993).	25

Table 17. Values of CN Numbers for Arid and Semiarid areas. Source:

Maidment (1993).....26

Table 18. Estimated Baseflow Discharge (m³/s) at Huatiapa Station.....28

Table 19. Initial and Final Values of CN.....30

Table 20. Peak Discharges for Different Return Periods at Huatiapa.....31

HYDROLOGY OF MAXIMUM FLOODS IN MAJES CAMANA RIVER

LIST OF FIGURES

<i>Figure 1. Mean Annual Temperature versus Altitude</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2. Mean Annual Temperature Versus Altitude above 2000 m.a.s.l. without outliers</i>	<i>4</i>
<i>Figure 3. Regression between Two Sets of Monthly Precipitation Data</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4. Map of the Majes-Camana Basin.</i>	<i>6</i>
<i>Figure 5. Isohyets of Annual Precipitation in the Majes - Camana Basin.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 6. Distribution of 38 Weather Stations used in Hydrologic Simulations.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 7. Majes - Camaná Basin and its 4 Sub Basins.</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8. Accumulated Hourly Rainfall of Major Floods at Chivay Rainfall Station. .</i>	<i>16</i>
<i>Figure 9. Isohyets Delineated for 2-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 10. Isohyets Delineated for 5-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 11. Isohyets Delineated for 10-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 12. Isohyets Delineated for 25-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 13. Isohyets Delineated for 50-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 14. Isohyets Delineated for 100-yr 24 hr Precipitation.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 15. Schematics of the Areas of Influence of Rainfall Stations for Estimating Precipitation in each Sub Basin.</i>	<i>21</i>
<i>Figure 16. Relation between Total Precipitation, P, and Effective Precipitation, P_e... </i>	<i>23</i>
<i>Figure 17. Initial and Final Distribution of Curve Number for the Hydrologic Simulation and Calibration.</i>	<i>27</i>
<i>Figure 18. HEC-HMS Schematic of the Majes - Camaná Basin showing its 4 sub Basins.</i>	<i>29</i>
<i>Figure 19. Summary of Results of HEC-HMS Program for 2-year Flood at Station Huatiapa.</i>	<i>31</i>

Figure 20. Hydrograph for 2-year Return Period..... 31

Figure 21. Summary of Results of HEC-HMS Program for 5-year Flood at Station Huatiapa 32

Figure 22. Hydrograph for 5-year Return Period..... 32

Figure 23. Summary of Results of HEC-HMS Program for 10-year Flood at Station Huatiapa 33

Figure 24. Hydrograph for 10-year Return Period..... 33

Figure 25. Summary of Results of HEC-HMS Program for 20-year Flood at Station Huatiapa 34

Figure 26. Hydrograph for 20-year Return Period..... 34

Figure 27. Summary of Results of HEC-HMS Program for 25-year Flood at Station Huatiapa 35

Figure 28. Hydrograph for 25-year Return Period..... 35

Figure 29. Summary of Results of HEC-HMS Program for 50-year Flood at Station Huatiapa 35

Figure 30. Hydrograph for 50-year Return Period..... 36

Figure 31. Summary of Results of HEC-HMS Program for 50-year Flood at Station Huatiapa 36

Figure 32. Hydrograph for 100-Year Return Period. 37

Figure 33. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/10 year return period)..... 37

Figure 34. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/20 year return period)..... 38

Figure 35. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/50 year return period)..... 38

Figure 36. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/100 year return period)..... 39

HYDROLOGY OF MAXIMUM FLOODS IN MAJES CAMANA RIVER

I. INTRODUCTION

The Peruvian Coast is a very dry area where precipitation usually does not exceed 100 mm/yr. Therefore, it is necessary to irrigate the farm fields to grow the crops. The majority of the crops occupy the lower areas of the valleys due to its closeness to the rivers. Crops are usually located near the river banks and are subjected to flooding. Towns of varying size are also located along rivers of the Pacific Basin. Therefore, there is a need to protect population, their properties, crops and goods against flooding.

JICA is sponsoring an engineering study aimed to protect flood-prone areas in 7 valleys of the Peruvian Coast. One of these valleys is the Majes – Camana Valley, which is located in the Arequipa region. This study is part of the Project of Protection of Floodplains and Vulnerable Rural Population against Floods in The Republic of Peru.

The main outcomes of the hydrologic study are the discharges corresponding to the 2-yr, 5-yr, 10-yr, 20-yr, 50-yr, and 100-yr floods. This discharges will be used both in the hydraulic simulation for floodplain delineation and for the sediment transport estimations. In addition, the flow hydrographs and the 24-hr precipitations are also necessary as inputs for the other study teams.

II. GENERAL ASPECTS

In this section general information about the study area is provided.

The area is approximately located between parallels 14° 30' S and 16° 30' S and meridians 70° 30' W and 73 ° W. Figure 4 shows the location of the Majes – Camana Basin. A larger map of the basin can be seen in Appendix A.

The Majes – Camana Basin is located in the Arequipa Region, in Southern Peru. The surface area is approximately 17 031 km² of which 12 493 km² are located in the wet basin. It is considered that the production of surface runoff is negligible below 2 800 m.a.s.l. The lowlands are very dry average annual rainfall in coastal stations areas is below 10 mm/yr. In the continental divide, the precipitation can reach up to 700 mm/yr.

Annual rainfall and increase with altitude as can be seen in Notice that precipitations are lower near the Pacific Ocean and increases with altitude. The orographic effect is evident.

Figure 5. Rainfall intensity increases with altitude as well.

Annual temperatures are semi temperate in the lower reaches, between 0 and 800 m.a.s.l. with an average annual temperature of 19°C. Temperature descends above 800 m. Between 2 200 m and 3 100, stations Pampacolca and Chuquibamba register average temperature ranges between 10.8 ° C and 12.9 °C. Between elevations 3100 m and 3900, the Sibayo station (3800 m.a.s.l.) has registered annual temperatures of 7.8 ° C. However, higher temperatures reach 20 ° C and the lower temperatures are around -6.8 °C. Between 3 900 and 4 800 m.a.s.l., temperatures have been registered at Pañe, with an annual average temperature of 3.1°C.

In addition, mean annual temperatures are obtained from a number of meteorological stations. These processed data (Table 1) are used to plot the variations in temperature with altitude. The results are shown in Figure 1. There are two mean annual temperature values, corresponding to Choco and Cotahuasi stations, with significant departures from the main cluster of points. These outliers may indicate errors in data climate readings. Additional temperature data can be found in Appendix B.2.

Table 1. Mean Annual Temperature versus Altitude

Weather Station	Altitude (m.a.s.l.)	Mean Annual Temperature (°C)
Andahua	3528	10.05
Aplao	645	19.67
Ayo	1956	18.64
Cabanaconde	3379	11.74
Camaná	15	19.67
Caravelí	1779	19.29
Chachas	3130	13.20
Chichas	2120	17.47
Chiguata	2943	12.27
Chivay	3661	10.09
Choco	3192	18.70
Chuquibamba	2832	11.71
Cotahuasi	5088	15.62
Crucero Alto	4470	3.91
El Frayle	4267	4.72
Huambo	3500	11.30
Imata	4445	2.83
La Angostura	4256	5.50
La Joya	1292	18.59
La Pampilla	2400	15.20
Lagunillas	4250	6.52
Las Salinas	4322	4.20
Machahuay	3150	11.76
Madrigal	3262	10.75
Orcopampa	3801	9.16
Pampa de Arrieros	3715	7.18
Pampa de Majes	1434	18.40
Pampacolca	2950	12.37
Pampahuta	4320	4.16
Pillones	4455	3.13
Porpera	4152	4.79
Pullhuay	3113	12.30
Salamanca	3303	12.68
Sibayo	3827	8.23
Sumbay	4294	5.42
Tisco	4175	6.39
Yanaquihua	2815	14.38

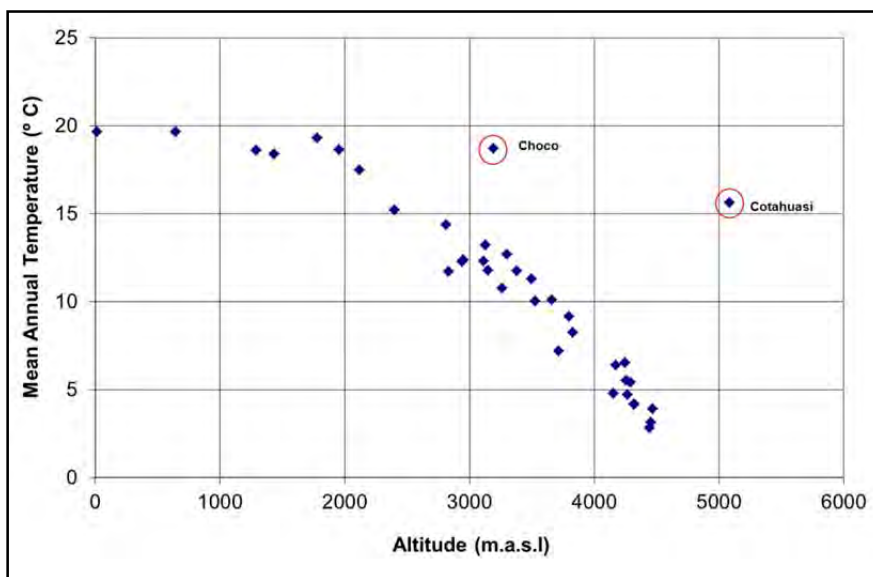


Figure 1. Mean Annual Temperature versus Altitude

Temperature analysis can be divided into two sections. In the first section, between sea level and the 2000 m.a.s.l. elevation, the mean annual temperature is almost constant. In this section, the mean annual temperature ranges between 18.4°C and 19.7°C. The second section is the linearly decreasing temperature. The temperature decreases in approximately 6°C / 1000 m. Figure 2 shows the second section with the corresponding R² value. The temperature decreases with altitude because there is convective heat loss from the ambient airflow.

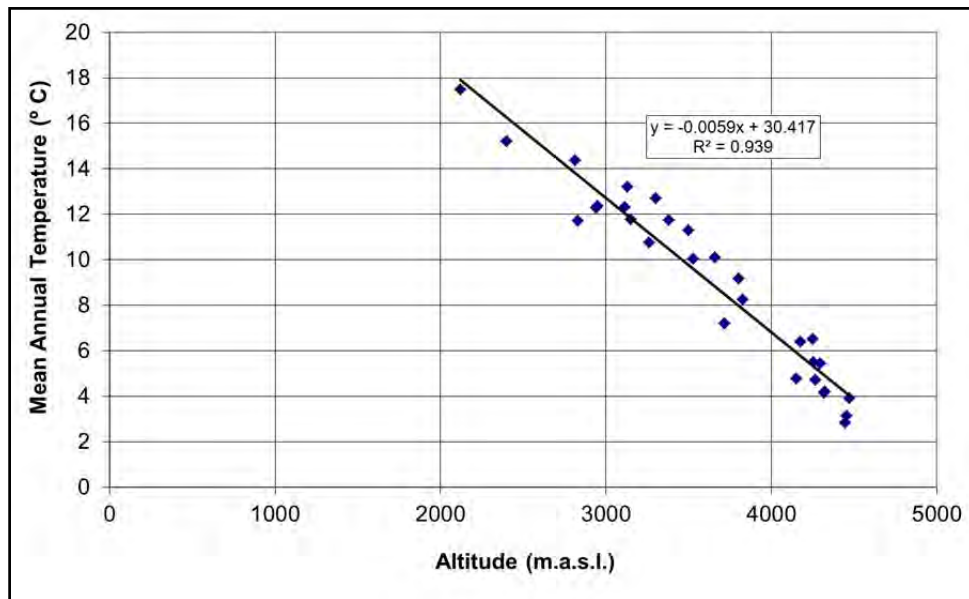


Figure 2. Mean Annual Temperature Versus Altitude above 2000 m.a.s.l. without outliers

In most of the stations, the available precipitation records show missing values. The concurrent measurements at two gaging stations were used to fill in missing values, based on the observed data. Gaps in one station were completed based on the data of a neighboring station, called base station (with complete or longer records). A linear interpolation was found between the station and the base station. For instance, Table 2 shows records from Tisco station with missing values and Figure 3 shows data sets from the base station (La Angostura station), X_i , and of the station having missing data (Tisco Station), Y_i , in which a regression of Y on X was performed for the periods when the data in both data sets exist. The high R² indicates good correlation and sufficient homogeneity for replacing missing data in the incomplete data series. Detailed information is presented in Appendix B.5. Moreover, Isohyets were calculated with these completed sequences (Notice that precipitations are lower near the Pacific Ocean and increases with altitude. The orographic effect is evident.

Figure 5).

Table 2. Monthly Precipitation Data in Tisco Station

TOTAL MONTHLY PRECIPITATION (mm)													
BASIN	GAGE	DEPARTMENT	LONGITUDE	LATITUDE									
Camaná - Majes	TISCO	AREQUIPA	71° 27'1	15° 21'1									
Year	Month												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1963											41.1	131.8	
1964	86.1	72.9	114.4	42.9	22.0	0.0	0.0	6.1	4.4	17.9	59.7	57.6	484.0
1965	75.0	161.1	85.9	42.5	0.3	0.0	9.2	0.0	24.0	22.0	10.4	151.7	582.1
1966	110.3	184.9	64.6	10.6	45.1	0.0	0.0	4.5	0.0	43.3	79.7	55.0	598.0
1967	103.8	161.0	220.2	64.5	13.1	0.6	8.2	9.4	41.8	23.6	12.7	90.5	749.4
1968	266.0	119.6	179.4	31.6	4.0	5.1	5.5	5.8	20.0	52.9	84.6	31.7	806.3
1969	150.1	113.0	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	60.8	97.7	478.0
1970	139.6	150.5	138.5	22.4	9.5	0.0	1.0	1.1	35.6	5.1	4.7	146.8	654.9
1971	140.0	183.5	101.2	30.1	2.6	0.9	0.0	0.0	0.0	5.0	2.2	132.7	598.2
1972	362.1	188.7	235.5	32.7	0.1	0.0	2.3	0.1	55.1	32.9	32.1	90.1	1031.7
1973	297.8	190.2	159.2	81.1	15.9	0.0	8.2	10.2	31.1	7.6	60.6	53.9	915.7
1974	290.2	172.9	44.7	80.7	1.5	14.5	0.0	111.1	9.3	4.3	7.5	50.2	786.8
1975	146.6	246.7	122.4	30.2	20.8	3.2	0.0	1.0	8.0	48.3	1.4	131.4	760.1
1976	153.0	107.7	166.8	41.6	9.3	7.5	4.6	2.3	58.9	0.5	0.6	71.9	624.7
1977	67.0	239.2	118.8	7.1	4.1	0.0	2.3	0.0	11.7	16.3	110.2	49.8	626.6
1978	317.6	24.1	78.7	68.9	0.0	4.0	0.0	1.0	2.3	26.9	78.6	60.0	662.2
1979	127.4	88.0	123.3	16.5	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	59.2	71.2	93.7	584.4
1980	72.5	43.1	183.6	2.2	0.0	0.0	13.5	25.9	28.1	94.1	2.1	30.2	495.3
1981	205.2		52.0	73.0	2.0	0.0	0.0	46.8	9.0	24.8	52.3	110.6	
1982	161.0	45.9	122.8	34.9	0.0	0.5	0.0	0.0	80.9	105.5	150.5	70.0	772.0
1983	46.7	93.7	81.0	47.9	12.0	0.5	0.5	0.0	35.2	18.0	2.5	32.4	370.5
1984	178.4	256.0	284.8	11.1	10.5	3.0	0.0	28.4	0.0	46.3	135.5	125.6	1079.6
1985	32.9	263.0	134.4	49.7	10.0	14.8	0.0	0.0	15.4	0.0	70.0	142.4	732.6
1986	105.9	162.7	178.9	98.4	12.5	0.0	2.8	52.2	18.1	11.0	11.0	149.6	803.1
1987	212.5	42.9	26.2	23.6	3.4	2.1	27.0	4.5	2.0	23.3	24.6	29.0	421.1
1988	216.9	72.5	97.0	63.5	8.5	0.0	0.0	4.0	6.8	0.0	4.0	30.2	503.4
1989	123.9	93.0	159.5	50.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	12.0	4.0	446.1
1990	118.4	27.6	58.5	25.6	12.5	39.5	0.0	13.0	5.0	52.5	0.0		
1991	150.6	72.7	162.3	10.7	3.5	30.7	3.0	1.6	3.5	29.2	48.6	0.0	516.4
1992	51.6	73.8	32.9	4.8	0.0	2.7	2.8	40.0	1.0	25.2	24.7	85.6	345.1
1993	230.9	82.4	133.9	49.9	6.2	1.3	0.3	25.1	15.5	34.2	63.7	106.1	749.5
1994	241.6	218.1	74.3	45.6	10.1	2.8	1.5	1.7	0.0	1.0	25.2	72.7	694.6
1995	121.5	135.0	215.7	27.8	3.7	0.1	0.0	2.8	8.6	13.1	22.3	122.0	672.7
1996	187.3	156.8	83.0	61.6	12.0	0.0	0.3	14.1	11.7	10.6	41.3	146.6	725.4
1997	175.0	201.8	86.5	31.7	18.1	0.0	0.0	33.1	64.8	14.0	60.1	102.2	787.3
1998	271.1	114.9	96.6	15.9	0.5	3.0	0.0	0.8	0.5	9.6	48.5	75.9	637.4
1999	199.2	273.9	198.2	30.5	6.0	0.1	1.2	0.6	23.5	75.3	10.7	90.3	909.5
2000	194.3	242.5	157.2	21.5	28.7	7.8	0.4	11.4	1.6	70.9	22.1	97.9	856.4
2001	240.3	239.0	144.2	108.9	31.3	5.4	16.5	12.0	8.4	18.7	8.6	35.9	869.0
2002	123.6	241.6	186.8	134.9	17.4	8.0	31.8	0.6	19.1	44.7	82.2	113.3	1004.1
2003	83.5		193.1	29.2	11.8	1.5	3.6	4.1	13.2	14.8		114.6	
2004	208.7	176.4	138.0	39.4	2.4	0.5	20.3	14.9	15.4	3.2	7.0	72.7	698.8
2005	124.4	207.0	127.5	56.9	0.5	0.0	0.1	0.7	23.2	11.6	18.8	103.4	674.1
2006	202.0	200.4	195.5	62.4	6.1	4.1	0.0	7.7	25.6	29.3	61.6	78.8	873.4
2007	187.0	179.7	180.4	38.4	9.1	0.1	9.7	0.8	16.1	13.7	22.9	96.2	753.8
2008	257.8	123.5	70.0	5.5	3.2	2.7	0.1	0.6	1.7	17.1	5.0	95.6	582.7
2009	104.6	203.6	133.3	65.6	2.8	0.0	11.1	2.4	23.9	9.9	47.9	64.6	669.7
2010	179.1	164.6	73.0	69.3	6.4	2.1	2.2	1.0	6.2	21.2	13.4	142.9	681.4
2011		233.8	96.9	104.8									
Pp Maxima	362.1	273.9	284.8	134.9	45.1	39.5	31.8	111.1	80.9	105.5	150.5	151.7	1079.6
Pp Media	166.8	153.2	128.4	43.7	8.5	3.6	4.1	10.8	16.7	25.8	38.7	85.9	687.9
Pp Minima	32.9	24.1	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	345.1

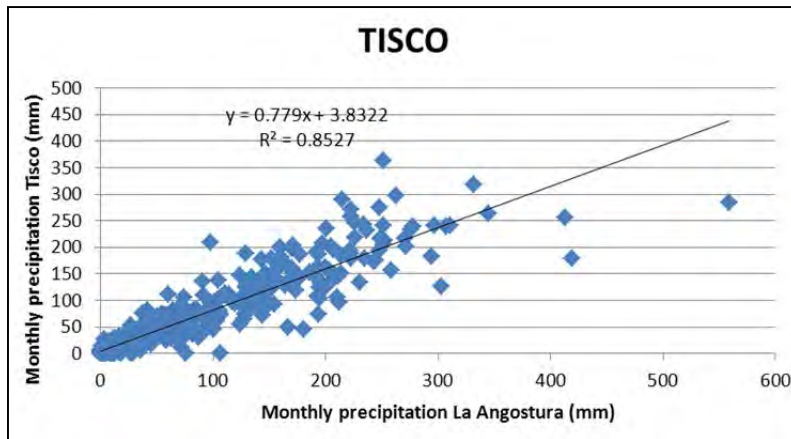


Figure 3. Regression between Two Sets of Monthly Precipitation Data

Peak floods mostly occur during the summer months: January, February and March, but occasionally peak floods have occurred in April. Sixty three percent of the annual volume runoff is produced in the summer months. Discharges are much lower the rest of the year flows and pose no threat for the crops or settlement located near the floodplains.

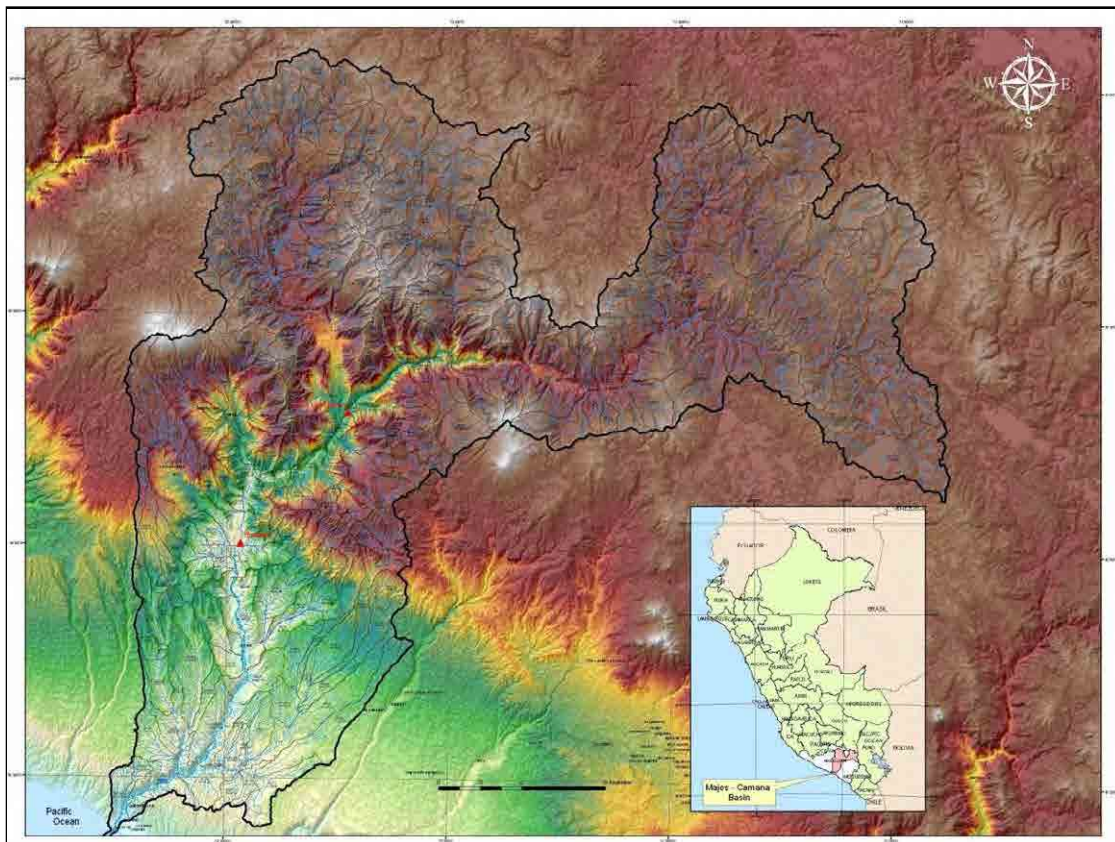
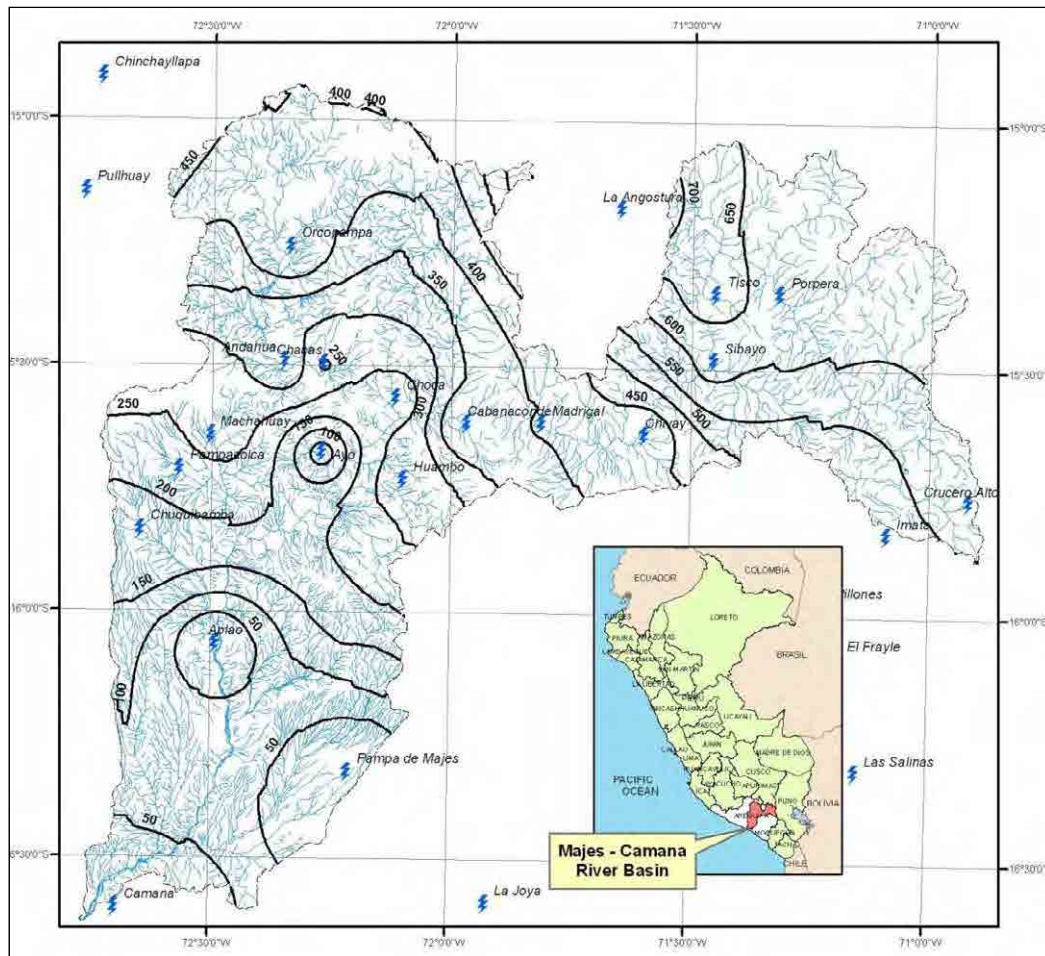


Figure 4. Map of the Majes-Camana Basin.



Notice that precipitations are lower near the Pacific Ocean and increases with altitude. The orographic effect is evident.

Figure 5. Isohyets of Annual Precipitation in the Majes - Camana Basin.

III. PROJECT DESCRIPTION

In this section, the tasks that led to the estimation of flood discharge for selected return periods are described. Available information, statistical analysis, theoretical and practical considerations are presented. At the end of this chapter, peak discharges and outflow hydrographs are given at two points along the Camana – Majes basin: Huatiapa station and at the confluence of the Andahua and Colca.

3.1. Available information

Weather information is available in the study area. Information from 48 weather stations in the study area has been identified. The majority of these stations have been installed in the Camana Majes Basin. Some of them are complete Climatologic Stations and

other only provide rainfall records. The majority of the weather stations are not automatic and for a number of years only manual stations existed. Therefore, the longest records provide only manual readings. Only the Chivay rainfall station in upstream of the Camana Majes River basin is available hourly rainfall record by automatic rainfall gauge since 2001. However, the digitized hourly rainfall record at Chivay is available from year 2011. Other hourly rainfall observations by private mining company are not able to collect due to confidential record for mining purposes. The only widely available rainfall information is the 24-hour precipitation that has been recorded at all stations. Table 3 shows the list of weather stations that has been identified.

Table 3. List of Weather Stations in the Study Area.

Weather station	Coordinates			Entity
	Latitude	Longitude	Altitude (masl)	
Andahua	15° 29'37	72° 20'57	3528	SENAMHI
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	645	SENAMHI
Ayo	15° 40'45	72° 16'13	1956	SENAMHI
Cabanaconde	15° 37'7	71° 58'7	3379	SENAMHI
Camaná	16° 36'24	72° 41'49	15	SENAMHI
Caravelí	15° 46'17	73° 21'42	1779	SENAMHI
Chachas	15° 29'56	72° 16'2	3130	SENAMHI
Chichas	15° 32'41	72° 54'59.7	2120	SENAMHI
Chiguata	16° 24'1	71° 24'1	2943	SENAMHI
Chinchayllapa	14° 55'1	72° 44'1	4497	SENAMHI
Chivay	15° 38'17	71° 35'49	3661	SENAMHI
Choco	15° 34'1	72° 07'1	3192	SENAMHI
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2832	SENAMHI
Cotahuasi	15° 22'29	72° 53'28	5088	SENAMHI
Crucero Alto	15° 46'1	70° 55'1	4470	SENAMHI
El Frayle	16° 05'5	71° 11'14	4267	SENAMHI
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500	SENAMHI
Imata	15° 50'12	71° 05'16	4445	SENAMHI
La Angostura	15° 10'47	71° 38'58	4256	SENAMHI
La Joya	16°35'33	71°55'9	1292	SENAMHI
La Pampilla	16° 24'12.2	71° 31'6	2400	SENAMHI
Lagunillas	15° 46'46	70° 39'38	4250	SENAMHI
Las Salinas	16° 19'5	71° 08'54	4322	SENAMHI
Machahuay	15° 38'43	72° 30'8	3150	SENAMHI
Madrigal	15° 36'59.7	71° 48'42	3262	SENAMHI
Orcopampa	15° 15'39	72° 20'20	3801	SENAMHI
Pampa de Arrieros	16° 03'48	71° 35'21	3715	SENAMHI
Pampa de Majes	16° 19'40	72° 12'39	1434	SENAMHI
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2950	SENAMHI
Pampahuta	15° 29'1	70° 40'33.3	4320	SENAMHI
Pillones	15° 58'44	71° 12'49	4455	SENAMHI
Porpera	15° 21'1	71° 19'1	4152	SENAMHI
Pullhuay	15° 09'1	72° 46'1	3113	SENAMHI
Salamanca	15° 30'1	72° 50'1	3303	SENAMHI
Sibayo	15° 29'8	71° 27'11	3827	SENAMHI
Sumbay	15° 59'1	71° 22'1	4294	SENAMHI
Tisco	15° 21'1	71° 27'1	4175	SENAMHI
Yanaquihua	15° 46'59.8	72° 52'57	2815	SENAMHI

It was important to identify which information would be useful for the hydrologic study. Weather stations with few data (less than 20 years), or with data from the last 10 years missing would be discarded from this study. Some other stations were discarded because they were too far from the study area (in the middle reaches of the Atlantic Basin) and could distort the precipitation estimated in the basins that are of interest for this study. Therefore, Table 5 was constructed to identify the stations with adequate data and complete records.

Data from 10 weather stations was discarded. The reasons are given below in Table 4. The final number of stations that were used for this study is 38. The distribution of the stations that has been used for the hydrologic simulation is presented below in Figure 6. Detailed precipitation information is given in Appendix B.

Table 4. Weather Stations whose Data was Discarded for the Hydrologic Study.

Nº	Station	Reason for discarding station
1	Santo Tomás	Too far from the study zone and scarce data available
2	Yauri	Too far from the study zone and scarce data available
3	Condorama	Scarce Data. Data from the last 15 years is missing
4	Cayllona	Few available data.
5	Huanca	Few available data.
6	Puica	Few available data.
7	Janacancha	Data from the last 10 years is missing
8	La Pulpera	Data from the last 15 years is missing
9	Yanque	Data from the last 15 years is missing
10	Socabaya	Data from the last 15 years is missing

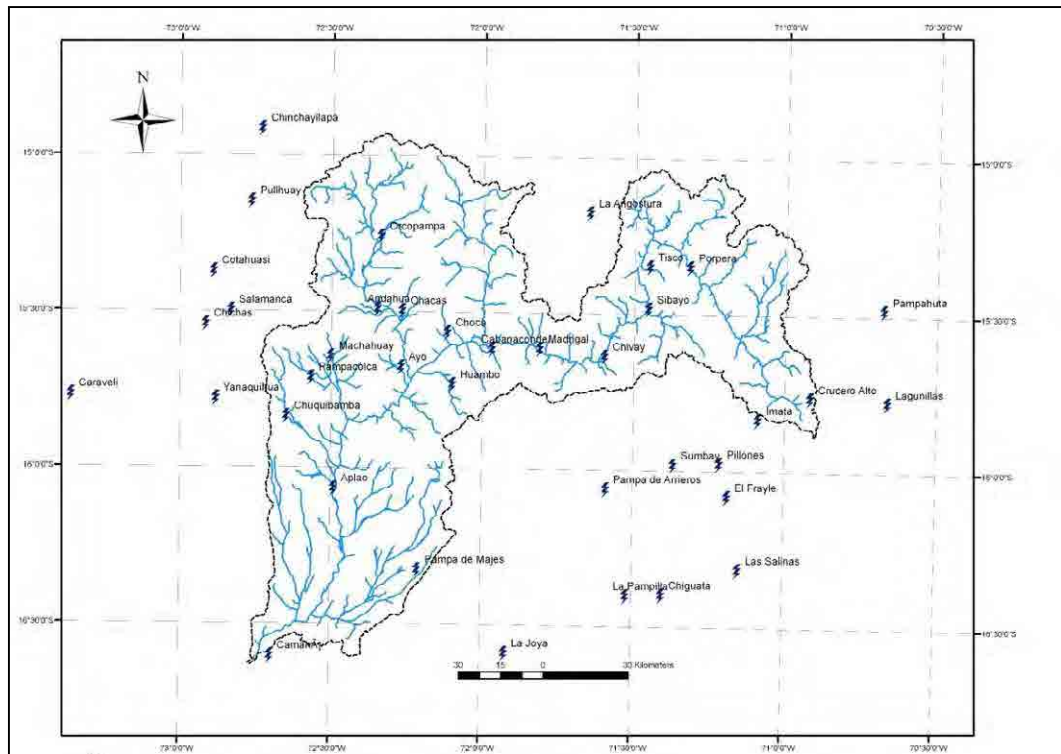


Figure 6. Distribution of 38 Weather Stations used in Hydrologic Simulations.

Hydrologic information is gathered at a few stream gages located along the Colca River, the Andahua River, and the Majes River. The first two are tributaries of the latter. The flow gauging stations in which streamflow information has been collected are Huatiapa Station and Puente Carretera Camana Station. Huatiapa Station started operating in 1964 and Puente Carretera Camana in 1942. The latter finished operating in 1986. The location of both stations is presented below in Table 6. All hydrological stations in the Majes-Camana River basin are shown in Table 7.

Table 6. Location of Main Hydrologic Stations at the Majes - Camana Basin.

Gauging Station	Latitude	Longitude	Elevation (M.a.s.l.)
Huatiapa	15°59'41.0" S	72°28'13.0" W	700
Puente Carretera Camaná	72°44'00.0" S	16°36'00.0" W	122

Table 7. Location of all hydrologic stations at the Majes - Camana Basin.

No.	Station Name	Category	Calchment	Department	Province	District	Longitude	Latitude	Elevation	Condition	Working Period	
											Start	End
204601	MARIA PEREZ	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 01'1	15° 17'1	4540	Closed	1968-09	1979-03
204602	CALERA MOLLOCO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 00'1	15° 17'1	4524	Closed		
204603	OSCOLLO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 29'41	15° 27'1	4439	Closed	1950-02	1974-08
204604	PUENTE COLGANT E-SIBAYO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 27'1	15° 28'1	4316	Operating	1950-06	1993-03
204605	PALLCAHUARURO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	TAPAY	72° 00'1	15° 35'1	2393	Closed	1968-09	1978-01
204606	BAMPUTANE	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALI	71° 07'1	15° 34'1	4495	Paralyzed	1967-09	1974-08
204607	NEGROPAMPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANA CONDE	72° 00'1	15° 36'1	2200	Closed	1968-09	1978-01
204608	BLANQUILLO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 04'1	15° 39'1	4444	Closed		
204609	LAGUNA MAMACOCHA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	AYO	72° 15'1	15° 41'1	1783	Closed		
204610	AYO	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	72° 14'1	15° 42'1	1950	Closed		
204611	ANTASALLA	HLM	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 04'1	15° 44'1	4439	Closed	1969-01	1973-12
204612	DIQUE LOS ESPAÑOLES	HLM	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	71° 02'1	15° 46'1	4410	Paralyzed	1968-09	1989-12
204614	CHARACTA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	MAJES	72° 31'1	16° 32'1	977	Closed		
204615	PUENTE CARRETERA CAMANA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAMANA	JOSE MARIA OUMPER	72° 44'1	16° 36'1	25	Paralyzed	1960-01	1986-10
204616	TINTO COLCA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA	72° 17'1	15° 26'1	4527	Closed		
204617	CALLALI	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALI	71° 28'1	15° 30'1	3807	Closed	1977-10	1988-12
204618	HUATIAPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CASTILLA	APLAO	72° 28'14	15° 59'42	699	Operating	1944-09	2011-09
204619	CONDOROMA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	71° 15'1	15° 15'1	4686	Closed	1977-09	2009-11
204620	PUENTE CARRETERA COLCA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	71° 27'1	15° 29'1	3910	Closed	1950-02	1964-10
204621	REPRESA CONDOROMA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALI	71° 16'1	15° 23'1	4239	Closed	1993-09	1995-02
204622	HACIENDA PAMPATA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAMANA	NICOLAS DE PIÉROLA	72° 41'58	16° 32'22	75	Operating	2002-11	2011-09
204807	ICHUPAMPA	HLG	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANA CONDE	71° 55'1	15° 40'1	4513	Paralyzed	1983-11	1987-07
729E39A	EMA PAMPA DE MAJES	MAP	CAMANA	AREQUIPA	CAYLLOMA	MAJES	72° 12'38	16° 19'39	1434	Operating	2011-11	2012-09
72D23BE	OCONA	EHA	OCONA	AREQUIPA	CAMANA	OCONA	73° 06'1	16° 26'1	270	Operating	2000-12	2012-09

CATEGORY

HLM = Hydrometric Station with staff gauge. It records water level manually (at 06:00, 10:00, 14:00 and 18:00 hours) to calculate daily discharges.

HLG = Hydrometric Station with staff gauge and Limnigraph (float type). It records water level manually (at 06:00, 10:00, 14:00 and 18:00 hours) to calculate daily discharges. Also it records continuously (hourly) water level data graphed in a recording paper.

EHA = Automatic Hydrometric Station (hourly data of water level using sensors).

Maximum annual discharges were obtained from a hydrologic study conducted by Cesar Reyes (2011). Forty one maximum annual discharges corresponding to the Huatiapa Station were available and 17 maximum annual discharges were available for the Puente Carretera Camana Station. At the Huatiapa hydrological gauging station, the float type automatic water level gauge was installed in 2006. However, these automatic hourly water level records have not been digitalized at present. Therefore, it is necessary to mention that maximum daily discharges by manual measurement are not instantaneous peak discharges, but the maximum of 4 times (7:00, 10:00, 14:00 and 18:00) flows manually measured at the Huatiapa stream gage during a day. Most likely, these records miss the instantaneous peak discharge of a day. The maximum annual

discharge is the maximum daily discharge of a given year. The study by Reyes (2011) was provided to the consultant by ANA (Peru’s National Water Authority) and is considered official information. Statistical analysis was conducted to verify the results given by Reyes (2011).

Statistical Analysis was performed using maximum yearly discharges of the Huatiapa Station. Log Normal, Log Pearson III, GEV, SQRTET and Extreme Value I (Gumbel) were used. The best fit was obtained using the GEV distribution. Selection of the best fit distribution function was based on the SLSC criterion and the error of estimation criterion, which is widely used in the Japan and other countries. Table 8 shows record of maximum annual floods. Table 9 shows the output of the different statistical distribution functions that were used in discharge estimation. Because the purpose of the hydrologic study is to find instantaneous peak discharge for the return periods of interest, a hydrologic simulation will be conducted.

Table 8. Maximum Annual Discharges at Huatiapa Station.

No.	Year	Annual Maximum Discharge (m ³ /s)	No.	Year	Annual Maximum Discharge (m ³ /s)
1	1945	620.00	31	1979	410.00
2	1946	619.00	32	1980	415.00
3	1947	580.79	33	1981	1,000.00
4	1948	506.50	34	1982	345.00
5	1949	1,012.80	35	1983	23.20
6	1950	458.33	36	1984	1,025.00
7	1951	687.32		1985	
8	1952	592.50	37	1986	750.00
9	1953	980.00		1987	
10	1954	980.00		1988	
11	1955	2,400.00		1989	
12	1956	445.30		1990	
13	1957	316.00		1991	
14	1958	985.50		1992	
15	1959	1,400.00		1993	
16	1960	600.00		1994	
	1961			1995	
	1962			1996	
	1963			1997	
	1964			1998	
17	1965	171.94		1999	
18	1966	237.00		2000	
19	1967	420.00		2001	
20	1968	442.55		2002	
21	1969	308.60		2003	
22	1970	362.00		2004	
23	1971	356.00		2005	
24	1972	633.00	38	2006	590.87
25	1973	1,040.00	39	2007	366.33
26	1974	902.00	40	2008	418.50
27	1975	748.00	41	2009	400.22
28	1976	514.00			
29	1977	592.00			
30	1978	1,600.00			

Table 9. Evaluation of Goodness of Fit of 5 Statistical Distributions. GEV Provided the Best Fit Based on the SLSC Criterion.

T (Years)	Log Normal	Log Pearson III	GEV	SQRTET	Gumbel
2	543.7	664.9	559.1	570.1	598.4
5	1,004.6	968.0	900.2	984.6	1,022.0
10	1,385.2	1,080.3	1,168.2	1,309.9	1,302.5
20	1,805.8	1,143.0	1,462.5	1,658.9	1,571.5
25	1,950.8	1,156.4	1,564.3	1,777.1	1,656.9
50	2,433.7	1,184.2	1,905.9	2,163.8	1,919.8
100	2,969.1	1,197.8	2,291.5	2,580.9	2,180.7
200	3,561.8	1,203.5	2,728.0	3,029.1	2,440.7
500	4,400.6	1,205.1	3,396.1	3,669.9	2,783.8
SLSC	0.0877	0.0714	0.0342	0.0440	0.0493
Error of Estimation	887.5	759.6	424.5	444.3	369.3
Maximum flood on record: 2,400 m³/s					

3.2. Assumed risk level

The risk level assumed for a structure with a lifespan of n years, designed to resist stresses for a return period T, is:

$$R = 1 - \left[1 - \frac{1}{T} \right]^n$$

The river training works are usually designed to withstand floods ranging between the 20-yr flood and the 100-yr flood. If the river training works lifespan is 20 years, and that return period T, for which the river training works are designed, is 100 years, risk level would be 18.2 %. Table 10 shows risk levels for lifespan ranging between 2 and 500 years and for design return periods between 25 and 500 years.

Table 10. Failure Risk Level for Structures with a Lifespan of n years, Designed for a Return Period T.

Lifespan n (years)	Failure risk for works designed for a return period T, and a lifespan of n years Return period, T				
	25	50	100	200	500
2	0.078	0.040	0.020	0.010	0.004
5	0.185	0.096	0.049	0.025	0.010
10	0.335	0.183	0.096	0.049	0.020
20	0.558	0.332	0.182	0.095	0.039
50	0.870	0.636	0.395	0.222	0.095
100	0.983	0.867	0.634	0.394	0.181
200	1.000	0.982	0.866	0.633	0.330
500	1.000	1.000	0.993	0.918	0.632

3.3. Basin Delineation

The main source of information was the National Geographic Institute (IGN) maps. These maps are presented in a 1: 100 000 scale and contour lines are spaced every 50 m and are part of the National Chart (“Carta Nacional”). The list of IGN maps used for this study is given below in Table 11.

Table 11. List of IGN Maps used for Basin Delineation.

Zone 18 S		Zone 19 S		
	30-r			
31-q	31-r	31-s	31-t	31-u
32-q	32-r	32-s	32-t	32-u
33-q	33-r			
34-q	34-r			

The Majes – Camaná Basin was divided in 4 sub basins for the purpose of estimating the discharges and for sediment transport simulations. Arc Map®, a Geographic Information System (GIS) package was used to divide the basins. Arc Hydro® is a module that allows one to divide the terrain in sub basins. In addition, delineation was improved by manual adjustments recommended in GIS textbooks. Figure 7 shows the Majes-Camana basin and its sub divisions.



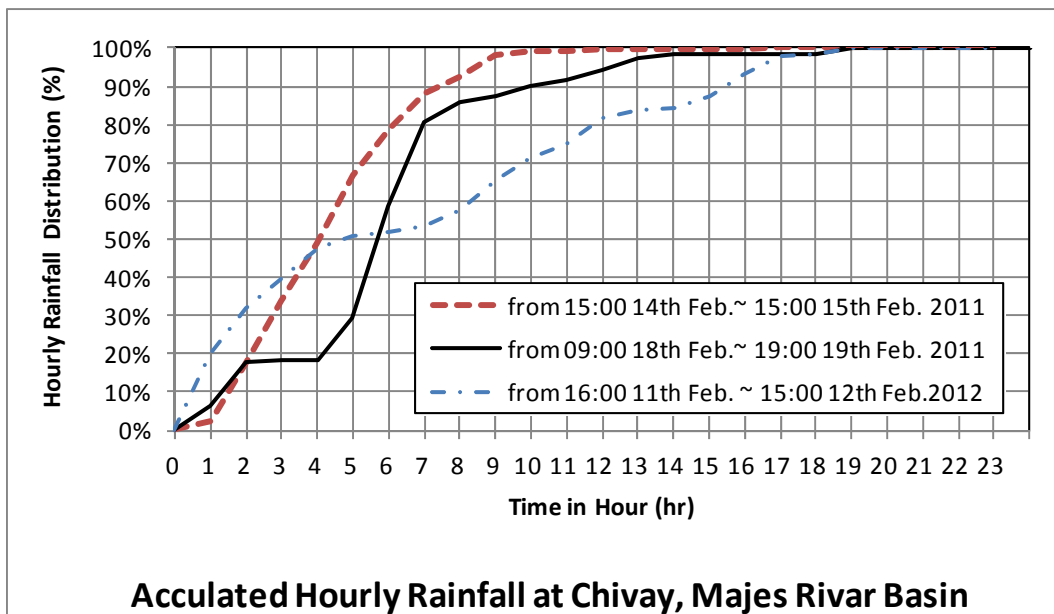
Figure 7. Majes - Camaná Basin and its 4 Sub Basins.

3.4. Design Precipitation

Data from a number of weather stations are available for this study. The majority belong to the Peruvian National Meteorological and Hydrological Service (SENAMHI, in Spanish). However, many stations were permanently or temporarily deactivated. Therefore, much data is missing. Maximum annual 24 hr precipitation data is available. Statistical analysis was conducted.

Only the Chivay rainfall station in upstream of the Camana Majes River basin is available hourly rainfall record by automatic rainfall gauge since 2001. However, the digitized hourly rainfall record at Chivay is available from year 2011. The JICA Study Team collected the hourly rainfall records of rainy season (January to March) of year 2011 and 2012. Figure 8 shows the depth-duration analysis (D-D Analysis) of hourly rainfall data at Chivay rainfall station for major floods in February 2011 and February 2012. The peak discharge at Huatiapa water level gauging station in February 11, 2012 is at 1,400 m³/s. According to the Figure 8, the rainfall duration of major floods is around 7 to 17 hours.

Twenty four hour precipitation was estimated for the 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 year design period using the Normal, Log Normal, Log Pearson III and Extreme Value Type I (Gumbel) statistical distributions due to D-D analysis of Chivay hourly rainfall data. The best fit was determined using the Kolmogorov Smirnov method. This is a non-parametric method and can be applied to all distributions. The estimated precipitations for each weather station are given below in Table 12.



Source: Prepared by JICA Study Team based on the hourly rainfall record at Chivay by SENAMHI

Figure 8. Accumulated Hourly Rainfall of Major Floods at Chivay Rainfall Station.

Table 12. Precipitation for Different Return Periods at each Selected Weather Station.

Station	Coordinates			Precipitation for T (years)						
	Latitude	Longitude	Altitude (masl)	2	5	10	25	50	100	200
Andahua	15° 29'37	72° 20'57	3538	24.30	31.33	34.83	38.29	40.33	42.02	43.43
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	625	1.71	5.03	7.26	9.51	10.71	11.56	12.14
Ayo	15° 40'45	72° 16'13	1950	10.28	16.43	20.51	25.66	29.48	33.27	37.05
Cabanaconde	15° 37'7	71° 58'7	3369	26.58	37.88	45.89	56.58	64.95	73.67	82.79
Camaná	16° 36'24	72° 41'49	29	3.18	7.16	9.79	13.11	15.58	18.03	20.46
Caravelí	15° 46'17	73° 21'42	1757	7.67	16.07	22.60	31.46	38.30	45.21	52.15
Chachas	15° 29'56	72° 16'2	3130	22.21	28.60	32.08	35.83	38.24	40.37	42.30
Chichas	15° 32'41	72° 54'59.7	2120	16.28	23.47	27.01	30.37	32.23	33.67	34.80
Chiguata	16° 24'1	71° 24'1	2945	18.88	29.98	37.33	46.40	52.94	59.27	65.42
Chinchayllapa	14° 55'1	72° 44'1	4514	23.12	31.21	36.57	43.34	48.37	53.35	58.32
Chivay	15° 38'17	71° 35'49	3663	24.50	32.74	38.20	45.09	50.21	55.29	60.35
Choco	15° 34'1	72° 07'1	3160	16.10	22.92	27.45	33.16	37.39	41.60	45.79
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2839	21.65	36.96	47.09	59.89	69.39	78.82	88.21
Cotahuasi	15° 22'29	72° 53'28	5086	21.20	29.97	35.78	43.12	48.56	53.96	59.35
Crucero Alto	15° 46'1	70° 55'1	4486	25.33	31.66	35.20	39.10	41.67	44.02	46.17
El Frayle	16° 05'5	71° 11'14	4110	22.33	29.95	35.43	42.89	48.83	55.12	61.82
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500	22.87	30.14	34.96	41.05	45.57	50.05	54.52
Imata	15° 50'12	71° 05'16	4451	28.35	37.09	42.87	50.18	55.60	60.98	66.34
La Angostura	15° 10'47	71° 38'58	4260	35.90	45.89	53.22	63.31	71.46	80.18	89.57
La Joya	16°35'33	71°55'9	1279	1.22	4.74	7.89	11.93	14.65	16.98	18.92
La Pampilla	16° 24'12.2	71° 31'6	2388	12.65	21.64	27.66	35.01	40.23	45.20	49.94
Lagunillas	15° 46'46	70° 39'38	4385	28.55	34.30	37.75	41.81	44.67	47.40	50.05
Las Salinas	16° 19'5	71° 08'54	3369	18.05	25.72	30.80	37.22	41.98	46.70	51.41
Machahuay	15° 38'43	72° 30'8	3000	21.06	29.80	34.71	40.03	43.45	46.46	49.14
Madrigal	15° 36'59.7	71° 48'42	3238	23.63	30.07	33.66	37.59	40.17	42.50	44.63
Orcopampa	15° 15'39	72° 20'20	3805	21.51	29.58	36.83	48.66	59.81	73.37	89.92
Pampa de Arrieros	16° 03'48	71° 35'21	3720	18.86	32.08	40.82	51.88	60.07	68.21	76.32
Pampa de Majes	16° 19'40	72° 12'39	1442	2.07	6.68	10.56	15.55	18.98	22.04	24.69
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2895	21.13	29.11	34.40	41.08	46.04	50.95	55.86
Pampahuta	15° 29'1	70° 40'33.3	4317	34.18	39.66	42.87	46.58	49.14	51.57	53.89
Pillones	15° 58'44	71° 12'49	4428	24.00	32.95	38.88	46.36	51.92	57.43	62.92
Porpera	15° 21'1	71° 19'1	4142	27.40	40.61	49.37	60.42	68.63	76.77	84.88
Pullhuay	15° 09'1	72° 46'1	3098	24.47	32.43	37.63	44.15	48.97	53.77	58.60
Salamanca	15° 30'1	72° 50'1	3153	19.86	26.64	31.13	36.81	41.02	45.20	49.36
Sibayo	15° 29'8	71° 27'11	3839	31.25	38.61	42.98	48.06	51.59	54.93	58.13
Sumbay	15° 59'1	71° 22'1	4300	25.43	35.57	43.10	53.56	62.08	71.26	81.17
Tisco	15° 21'1	71° 27'1	4198	33.41	42.74	51.24	65.12	78.15	93.95	113.15
Yanaquihua	15° 46'59.8	72° 52'57	2834	20.70	35.78	45.76	58.38	67.74	77.03	86.29

The precipitation in each basin was calculated using the inverse weight method based upon the precipitation in the selected stations. Isohyets for each return period that was studied were obtained. Figures 9, 10, 11, 12, 13 and 14 show the 24-hr precipitation isohyets estimated for the 2, 5, 10, 25, 50 and 100-yr return periods.

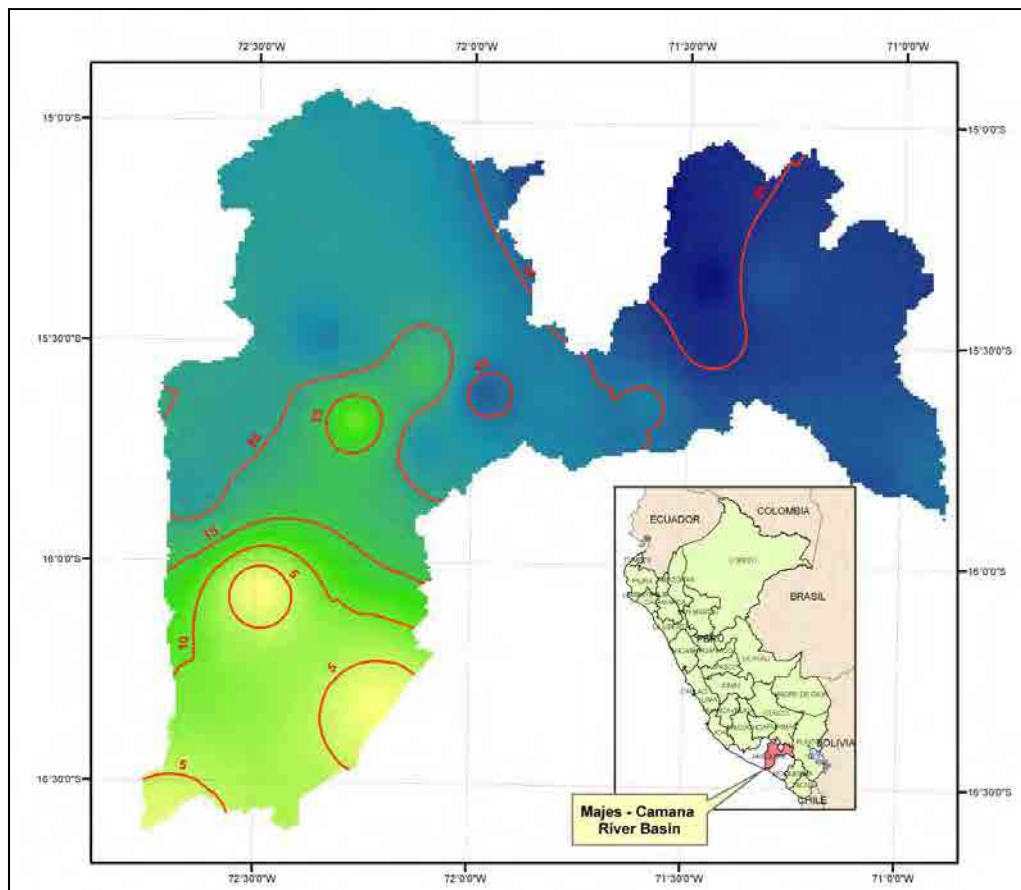


Figure 9. Isohyets Delineated for 2-yr 24 hr Precipitation.

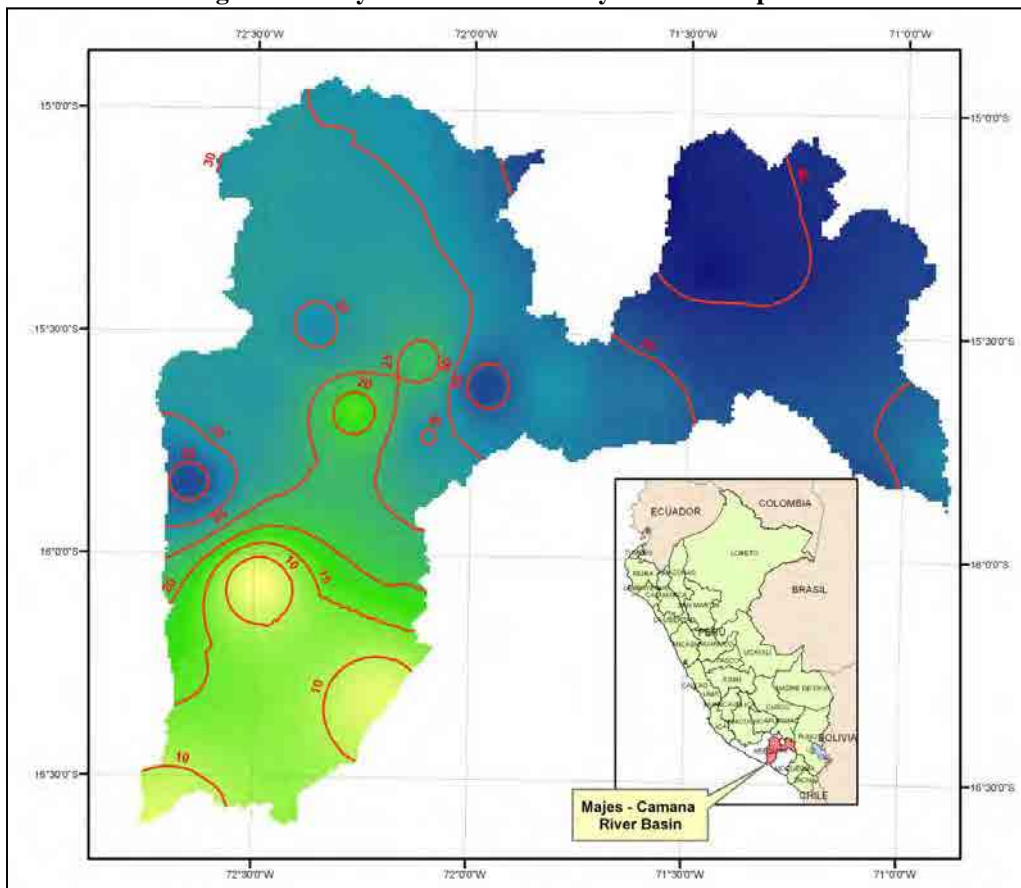


Figure 10. Isohyets Delineated for 5-yr 24 hr Precipitation.

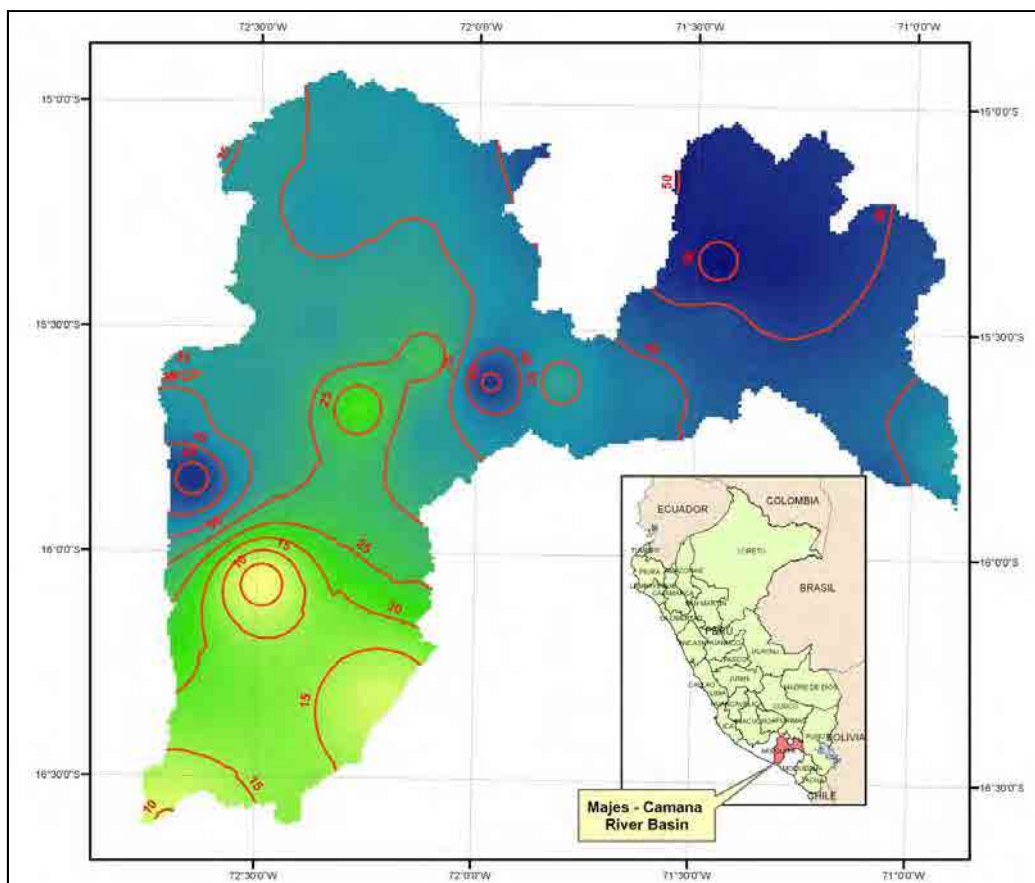


Figure 11. Isohyets Delineated for 10-yr 24 hr Precipitation.

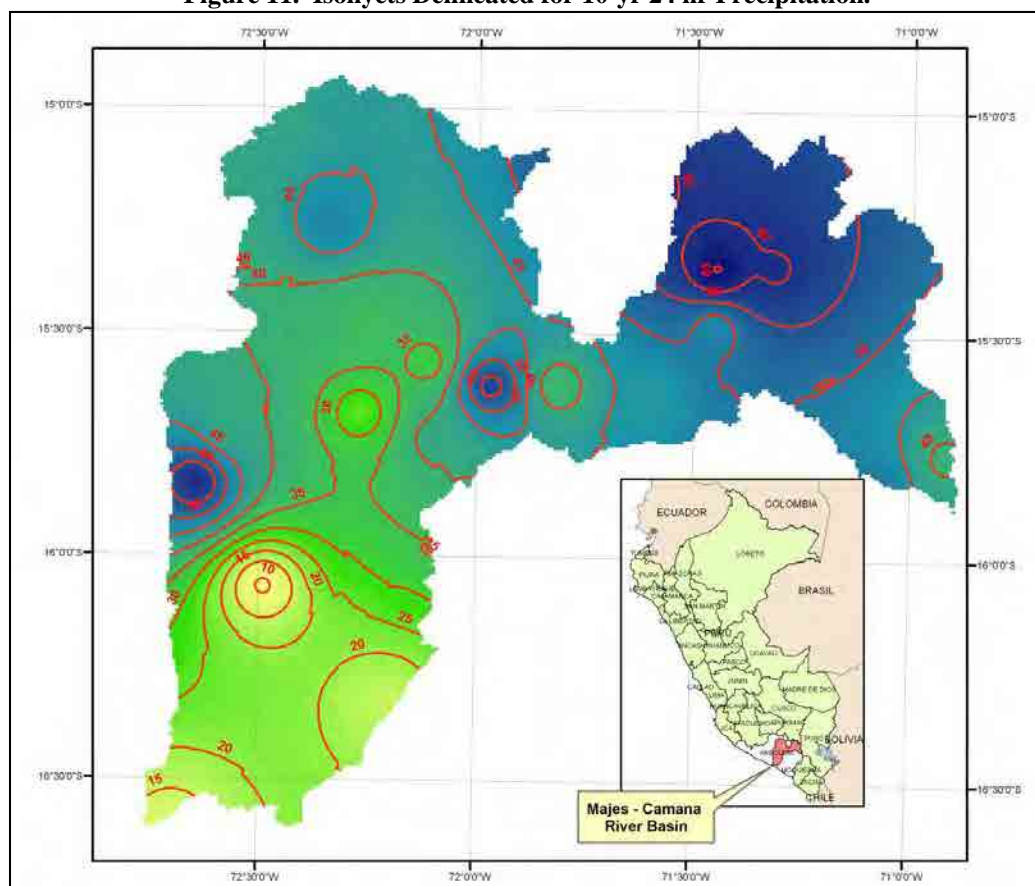


Figure 12. Isohyets Delineated for 25-yr 24 hr Precipitation.

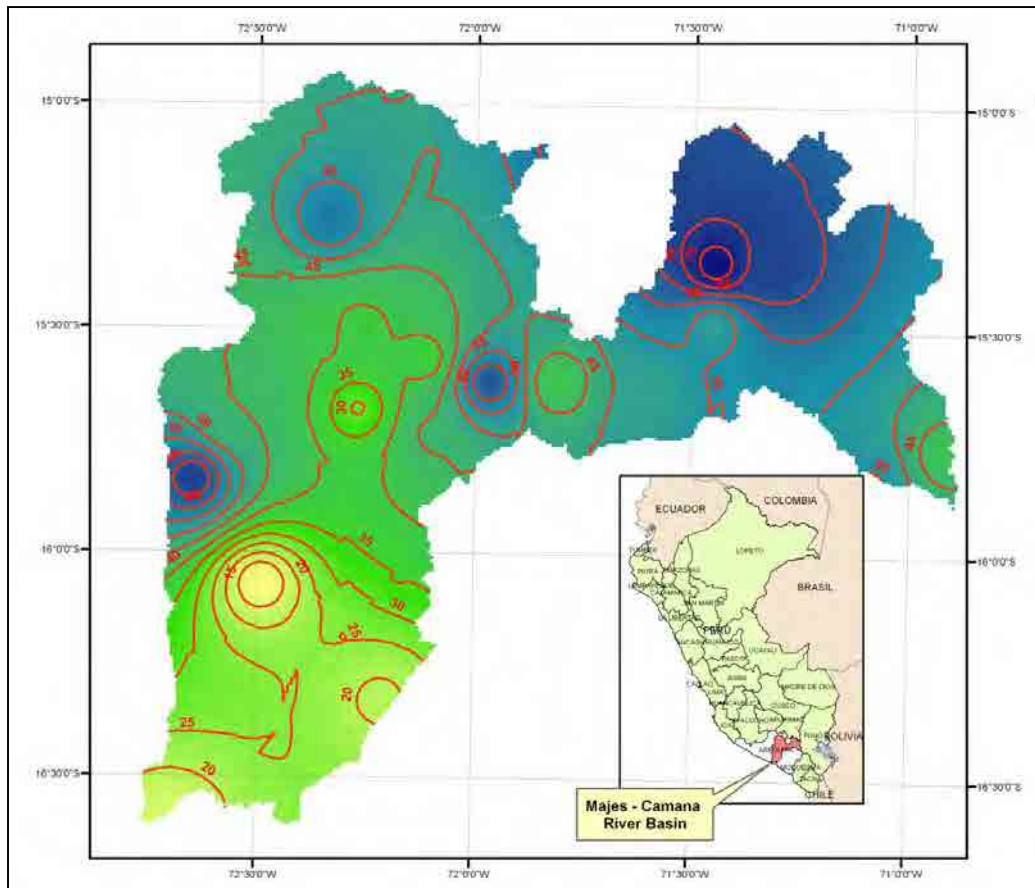


Figure 13. Isohyets Delineated for 50-yr 24 hr Precipitation.

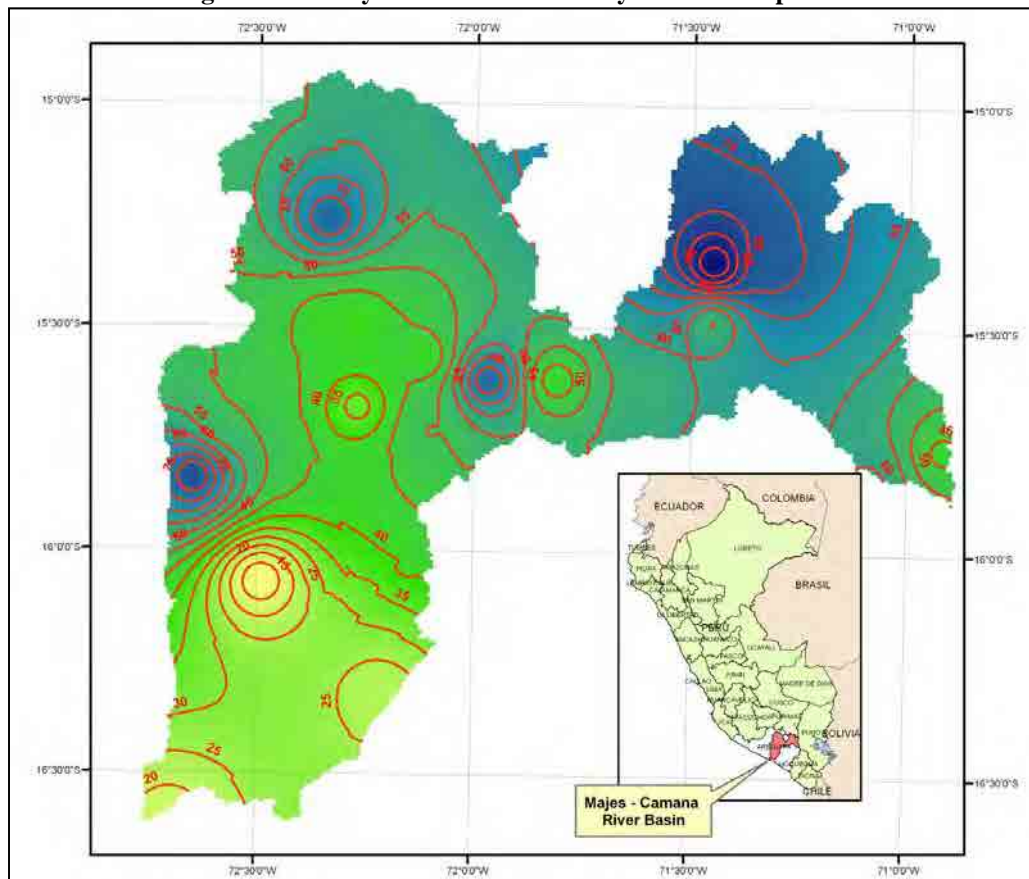


Figure 14. Isohyets Delineated for 100-yr 24 hr Precipitation.

Twenty four-hour precipitations were calculated for each sub basin. The database corresponding to the precipitation of each weather station was used to determine the values of precipitations corresponding to the 2, 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods for each sub basin. Thiessen polygons were used to estimate the area of influence of each rain gage. Areas of influences are presented in Appendix B.6. Schematic of the area of influence is shown below in Figure 15. Mean areal rainfall for each sub basin was found thereafter. Table 13 summarizes the precipitations for each sub basin.

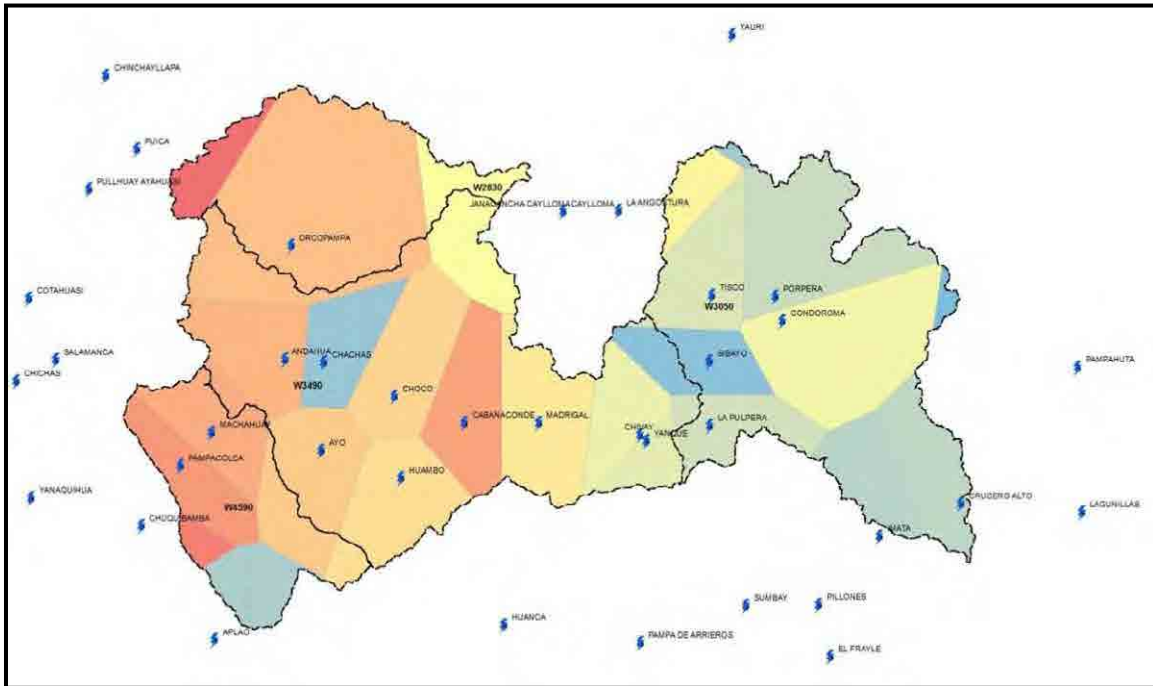


Figure 15. Schematics of the Areas of Influence of Rainfall Stations for Estimating Precipitation in each Sub Basin.

Table 13. Precipitation for each Sub Basin of the Majes-Camana Basin.

Sub basin	Mean areal rainfall (mm.)				
	T5	T10	T25	T50	T100
W2830	29.60	36.80	48.68	59.96	73.45
W3050	38.20	46.10	55.14	62.47	70.23
W3490	29.25	34.14	40.63	45.15	50.03
W4590	23.05	27.70	33.23	36.98	40.77

Because 24 hour precipitations are available, and there is much uncertainty on the rainfall distribution, an SCS distribution was used. This distribution can be essentially used with any rainfall duration. SCS rainfall distributions are shown in Table 14. In this case, a modified SCS Type I distribution was used due to the hourly rainfall patterns of major flood in February 2011 and 2012 at Chivay rainfall station as shown in Figure 8 above.

Table 14. SCS Rainfall Distributions Type I, IA, II and III.

Time (hr)	t/24	24 hr precipitation temporal distribution			
		Type I	Type IA	Type II	Type III
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.00	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.00	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.00	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.00	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8.00	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.50	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.00	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.50	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.00	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.50	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.00	0.458	0.624	0.624	0.235	0.250
11.50	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.75	0.490	0.669	0.655	0.357	0.339
12.00	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500
12.50	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.00	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.50	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.00	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.00	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.00	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

3.5. Infiltration Model

The infiltration model used for this study was the Curve Number (CN) method. This method was first proposed by the former Soil Conservation Service (Natural Resources Conservation Service – NCRS, nowadays) of the United States of America. This method allows one to estimate a single parameter based on the type of soil and the land use.

The CN method assumes that a basin has a storage capacity S (inches). There is an Initial abstraction, I_a , that is the height of rain that completely infiltrates before runoff begins. After runoff begins, the infiltration is F_a and runoff is P_e (effective precipitation), therefore, total precipitation, P is:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

The CN method assumes that there is a relation between effective precipitation, storage capacity and initial abstraction, as follows:

$$\frac{P_e}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Using the two previous equations and after algebraic manipulations, results in:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

In addition, it is assumed that $P_e = 0.2 S$.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

The CN is related to S by:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

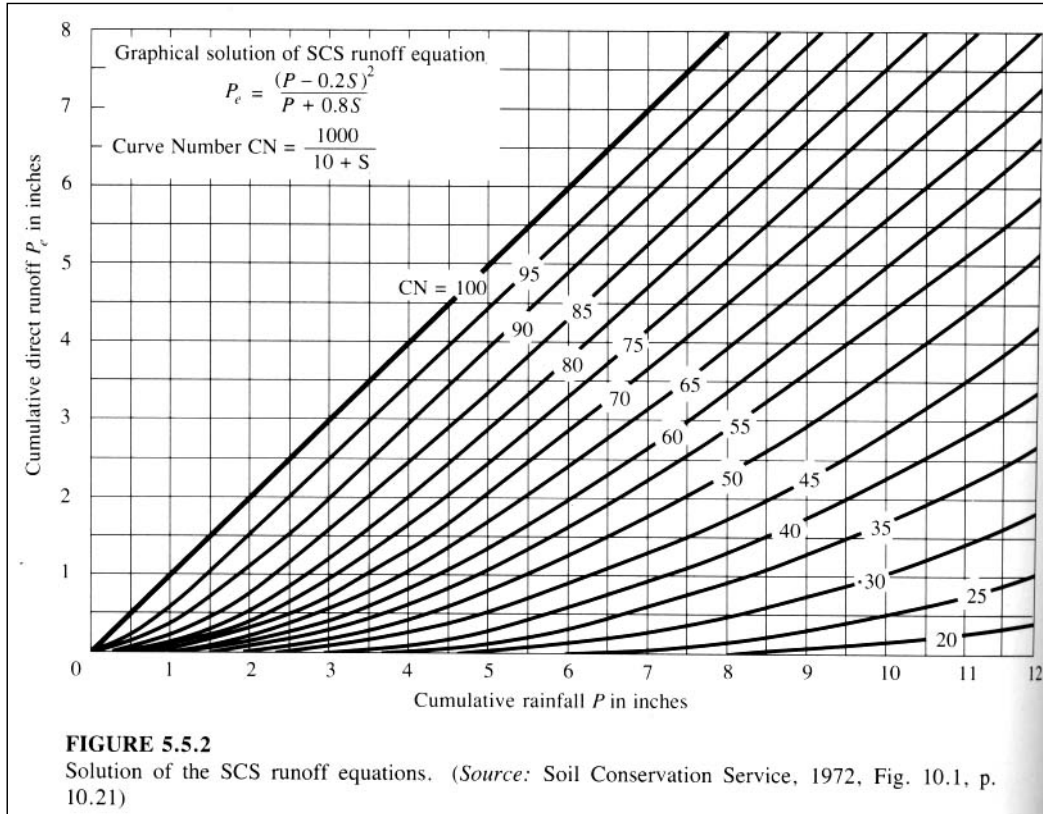


Figure 16. Relation between Total Precipitation, P, and Effective Precipitation, P_e .

The CN values are given for “normal conditions”, this is when the precipitation registered the 5-day period preceding the event ranges between 35.5 mm and 53.3 mm. CN values for normal conditions are given in Tables 15, 16 and 17. CN values are estimated based on the type of soil and land use.

If the precipitation falls below 35.5 mm a correction factor that lowers the value of CN is applied. This is called Antecedent Moisture Condition I (AMC I). If the precipitation exceeds 53.3 mm during the preceding 5-day period, the precipitation is adjusted and the CN value increases. This is called Antecedent Moisture Condition III, AMC III.

Equation for estimating CN for AMC I as follows:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

Equation for estimating CN for AMC III follows:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Table 15. Values of CN Based Upon Soil Type (Hydrologic Soil Group) and Land Use.

TABLE 5.5.2
Runoff curve numbers for selected agricultural, suburban, and urban land uses (antecedent moisture condition II, $I_a = 0.2S$)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land ¹ : without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover ²	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential ³ :				
Average lot size	Average % impervious ⁴			
1/8 acre or less	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. ⁵	98	98	98	98
Streets and roads:				
paved with curbs and storm sewers ⁵	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89

¹For a more detailed description of agricultural land use curve numbers, refer to Soil Conservation Service, 1972, Chap. 9

²Good cover is protected from grazing and litter and brush cover soil.

³Curve numbers are computed assuming the runoff from the house and driveway is directed towards the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur.

⁴The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers.

⁵In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.

Table 16. Values of CN Numbers for Rural Areas and Arid and Semiarid Areas. Source: Maidment (1993).

TABLE 5.5.1 SCS Runoff Curve Numbers (Continued)					
c. Other agricultural areas					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing*	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element†	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm)‡	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods§	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots	—	59	74	82	86
<p>* Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch. Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed. Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed. † Poor: < 50% ground cover. Fair: 50 to 75% ground cover. Good: > 75% ground cover. ‡ CNs shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CNs for woods and pasture. § Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning. Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil. Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil. Source: Ref. 105.</p>					
d. Arid and semiarid range areas					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition*	A†	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element	Poor	80	87	93	
	Fair	71	81	89	
	Good	62	74	85	
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush	Poor	66	74	79	
	Fair	48	57	63	
	Good	30	41	48	
Piñon-juniper—piñon, juniper, or both: grass understory	Poor	75	85	89	
	Fair	58	73	80	
	Good	41	61	71	
Sagebrush with grass understory	Poor	67	80	85	
	Fair	51	63	70	
	Good	35	47	55	

Table 17. Values of CN Numbers for Arid and Semiarid areas. Source: Maidment (1993).

<i>d. Arid and semiarid range areas</i>					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition*	A†	B	C	D
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

* *Poor*: < 30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).
Fair: 30 to 70% ground cover.
Good: > 70% ground cover.
† Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.
Source: Ref. 105.

For establishing the initial CN values, the basin’s territory was divided in different areas. The highlands of the upper basin, a barren land, barely covered by soils left by glacier retreat, mostly moraines, and with scarce vegetation, composed by pastures, were assigned a CN value of 65. This was corrected using the equation for the AMC III condition, and a value of 81 was obtained. The middle reaches are covered with pastures, small bushes and threes, and a CN value of 55 was assigned. In this area, it was also necessary to correct the value using the AMC III correction, and a value of 75 was obtained. Finally, the lower reaches are located in a hyper arid area, with annual precipitations of less than 50 mm. A value of 79 was assigned, but the correction factor for AMC I condition was applied, rendering a value of 61 for the lower reaches. Figure 17 shows the distribution of the initial and final CN values that were adjusted during the calibration process.

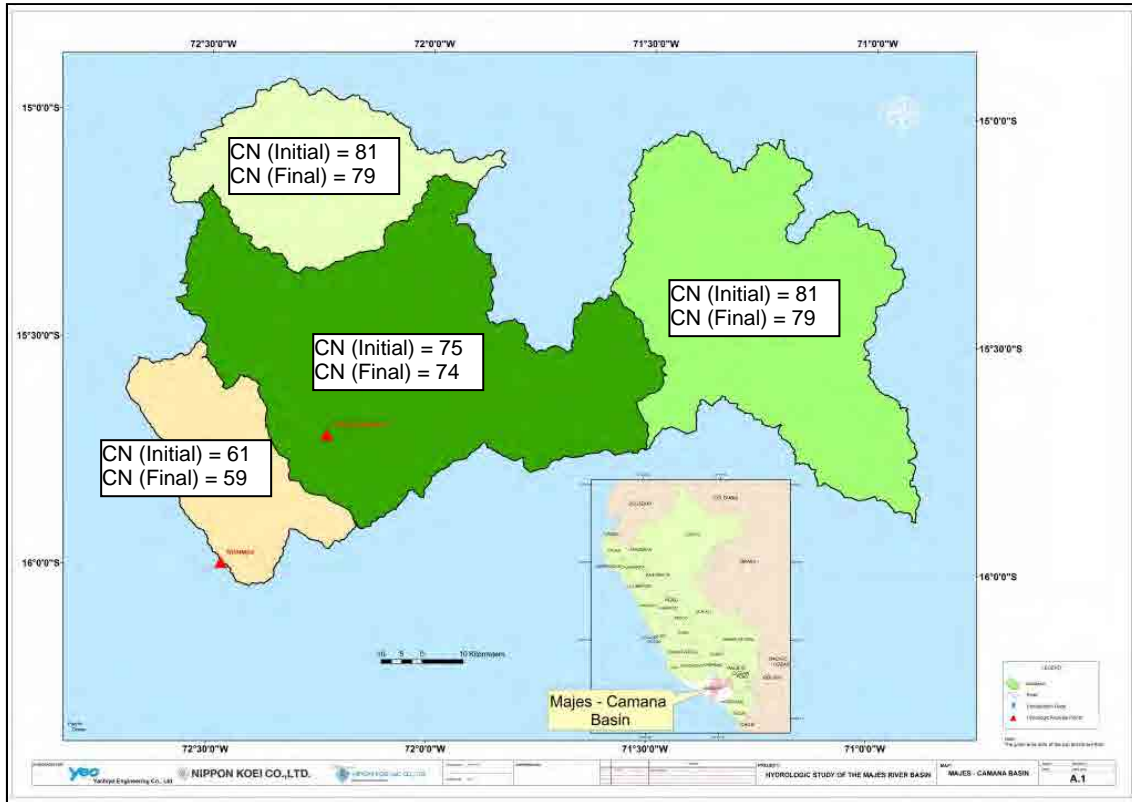


Figure 17. Initial and Final Distribution of Curve Number for the Hydrologic Simulation and Calibration.

3.6. Unit Hydrograph (Transform) Model

The Unit Hydrograph model used is the former SCS method. This method estimates a time of concentration based on the length of the basin, L, the slope of the basin, S, in percentage, and CN. The formula is presented below.

$$t_c (hr) = \frac{4.3611L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{1900S^{0.5}}$$

The lag time is $0.6 t_c$. The lag time is entered in the HEC-HMS program as the only variable that will be used to estimate the hydrograph in each basin. Lag times for each basin are presented in Appendix C.1.

3.7. Flood Routing Model

The flood routing model used in this study is the kinematic wave method. This method is based on the

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$S_o = S_f$$

It is also assumed that the area, A, is proportional to the discharge, Q, as follows:

$$A = \alpha Q^\beta$$

Rewriting Manning's equation results in:

$$A = \left(\frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{3/5} Q^{3/5}$$

Therefore:

$$\alpha = \left(\frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{3/5}$$

$$\beta = 0.6$$

This is solved using a numerical method using:

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} \right] Q_i^{j+1} + \alpha \beta Q_{i+1}^j \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right)}{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]}$$

3.8. Baseflow calculations

Baseflow was estimated using discharges from the Huatiapa Station. The minimum flow for each month was identified and the average of the minimum flow was found. This value is assumed constant for each month of the year and has been based upon field data from the Huatiapa Station. Finally, the average of the minimum flows for February was used as the total baseflow discharge for the rainfall-runoff simulations. Because the Majes – Camana basin has been divided in 4 sub-basins and data is entered for each sub basin in the HEC-HMS model, baseflows were assumed to be proportional to the sub basins areas, so that the sum of the baseflows would equal the flow in Huatiapa. Results are presented in Table 18.

Table 18. Estimated Baseflow Discharge (m³/s) at Huatiapa Station.

Sub basin	January	February	March
W2830	8.37	14.69	14.24
W3050	17.46	30.65	29.72
W3490	22.32	39.18	37.99
W4590	6.25	10.98	10.64
Total	54.4	95.5	92.6

Based on these new baseflow values and the new discharge data provided (maximum daily discharge), calibration is performed in order to find the new curve numbers.

3.9. Logical Support (Software)

The program used to carry out the hydrologic simulation is the HEC – HMS version 3.4 program that was developed by the United States Army Corps of Engineers, in order estimate the flow at the interest points. This program allows for simulating surface runoff produced in the basins, flood flows through channels or conduits, and dam flood flows. The basin model has modules to calculate infiltration, the unit hydrograph, and the base flow by different methods. In this case, the SCS method has been chosen to calculate infiltration, the SCS method has been chosen to estimate the surface runoff hydrograph, and later, the base flow has been included. The kinematic wave model was used for modeling flood routing.

Sub – basins join at points called junctions. The program allows for including reservoirs of any size in the model. The design precipitation and the rainfall type are introduced into the meteorological model.) In this case, discharges will be estimated for the 2, 5, 10, 25, 50 and 100 yr floods. Figurer 18 shows the schematic of the HEC-HMS 3.4 program implemented with the Majes – Camaná basin data.

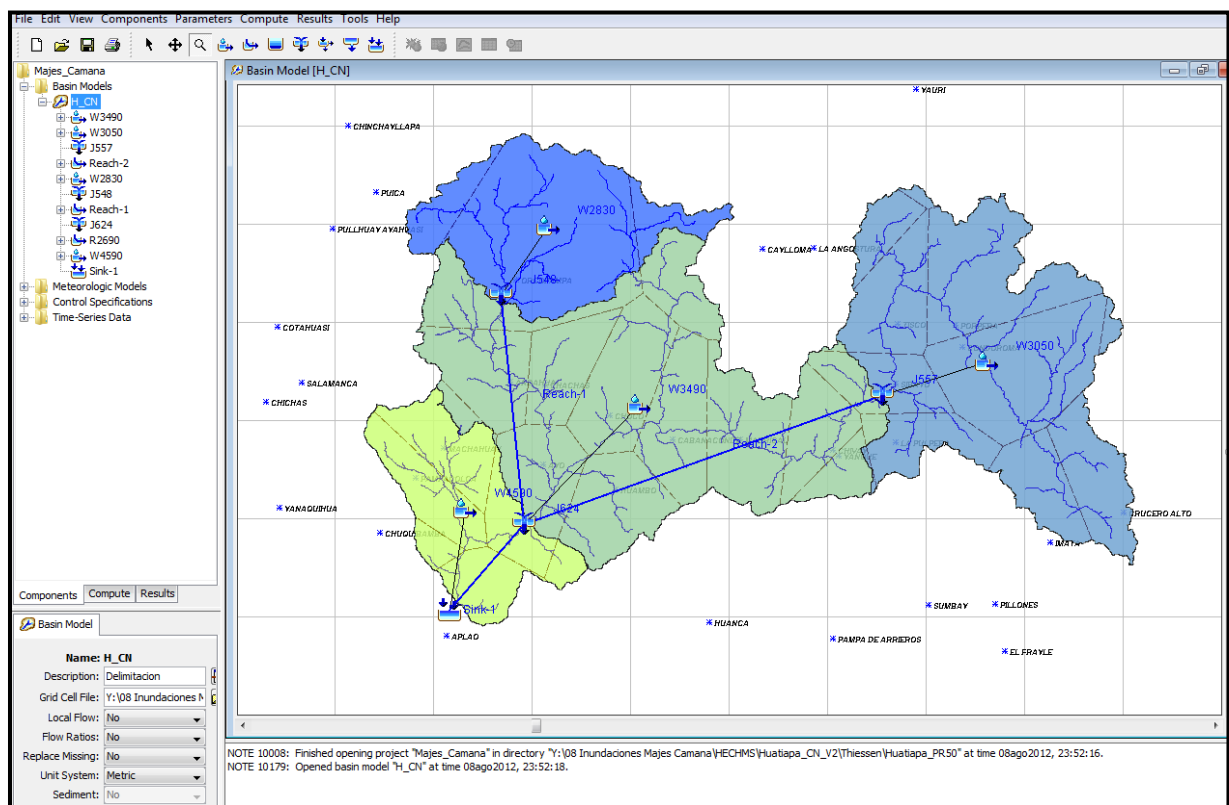


Figure 18. HEC-HMS Schematic of the Majes - Camaná Basin showing its 4 sub Basins.

3.10. Calibration of the Curve Number

The Curve Number (CN, hereafter) is the only variable that can be calibrated. The rest of the variables can be measured directly or estimated from maps or other sources. Therefore, initial values were assumed taking into account the type of soil and the land use. Values were extracted from tables published by the former Soil Conservation Service (Currently, the Natural Resources Conservation Service, NCRS). The precipitation of the N year return period must correspond to the peak discharge of the N year return period.

The peak discharge using the precipitations corresponding to the return periods of interest were estimated at Huatiapa station. If the values exceeded the maximum daily discharges for the same return periods, then the duration of the time exceeding the maximum daily discharge was analyzed.

In this case, initial CN values produced floods much larger than the calculated using flood records. Therefore, CN values decreased in each sub zone until an appropriate hydrograph was found. Initial and final CN values are given in Table 19. A map showing the initial CN values in the Majes – Camana basin can also be found in Appendix C.2.

The final values produced hydrographs that will be used for the other teams involved in the study. The peak discharges will be used for floodplain delineation in the lower reaches.

Table 19. Initial and Final Values of CN.

Area	Description	Estimated Initial CN	Final CN
Upper Basin - Colca	Barren area with scarce vegetation.	81	79
Upper Basin - Andahua	Barren area with scarce vegetation.	81	79
Middle Basin – Colca and Andahua	Pastures, shrub, small trees.	75	74
Lower Basin - Majes	Desert, hyper arid area	61	59

The times of concentration, t_c , were found for every condition tested and lag times were recalculated. Final values of discharges at Station Huatiapa were found for the 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 year return periods and are presented in Table 20. Figures 19 through 32 show the summary of results and hydrographs for the same return periods. Detailed information of flood hydrographs at Huatiapa can be found in Appendix C.3.

Table 5. Peak Discharges for Different Return Periods at Huatiapa.

T (years)	Q (m ³ /s)
2	305,8
5	637,7
10	1007
20	1415,9
25	1565,6
50	2083,6
100	2702,6

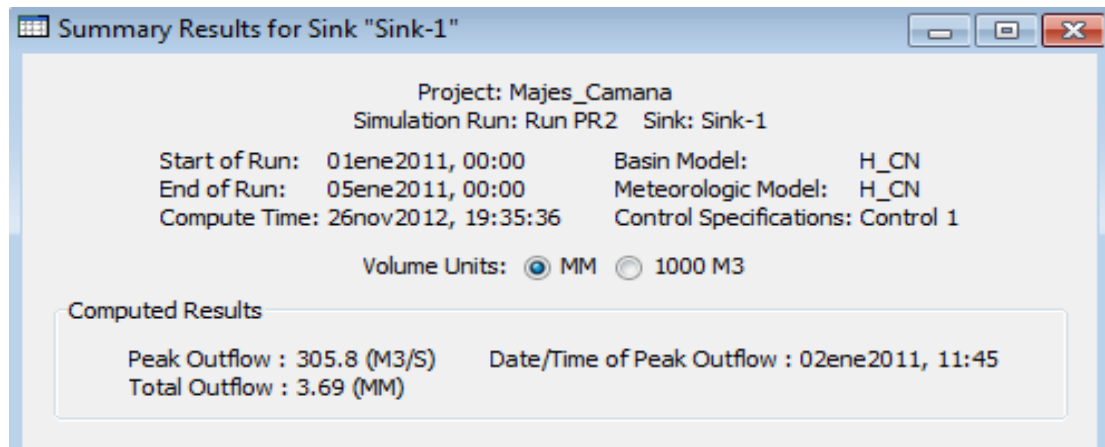


Figure 19. Summary of Results of HEC-HMS Program for 2-year Flood at Station Huatiapa.

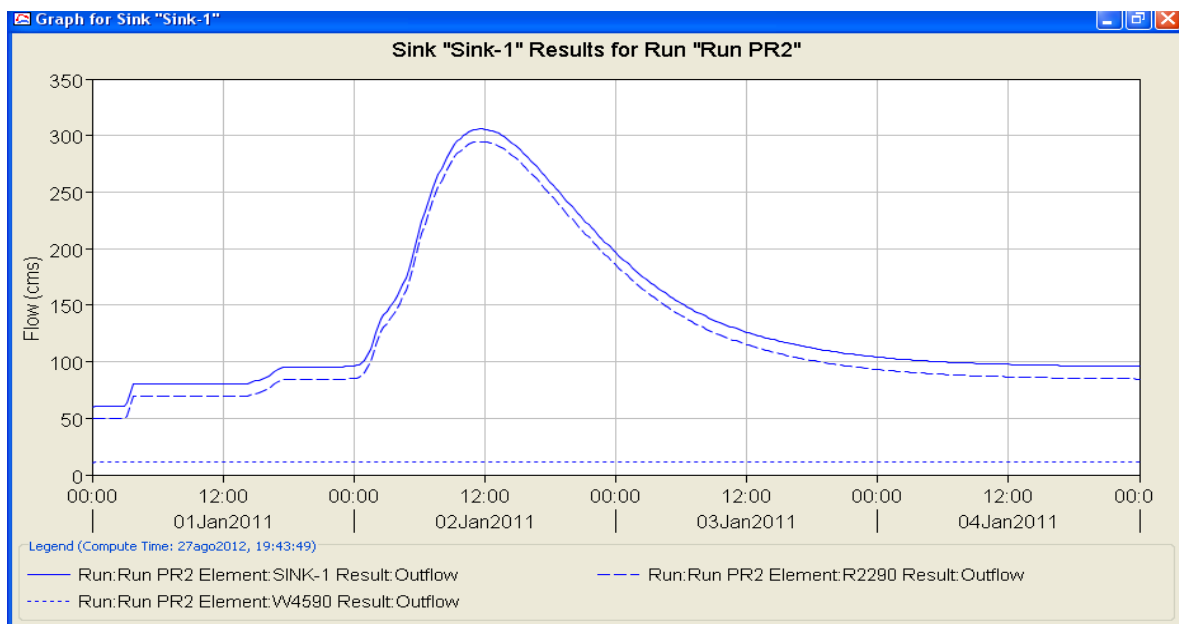


Figure20. Hydrograph for 2-year Return Period.

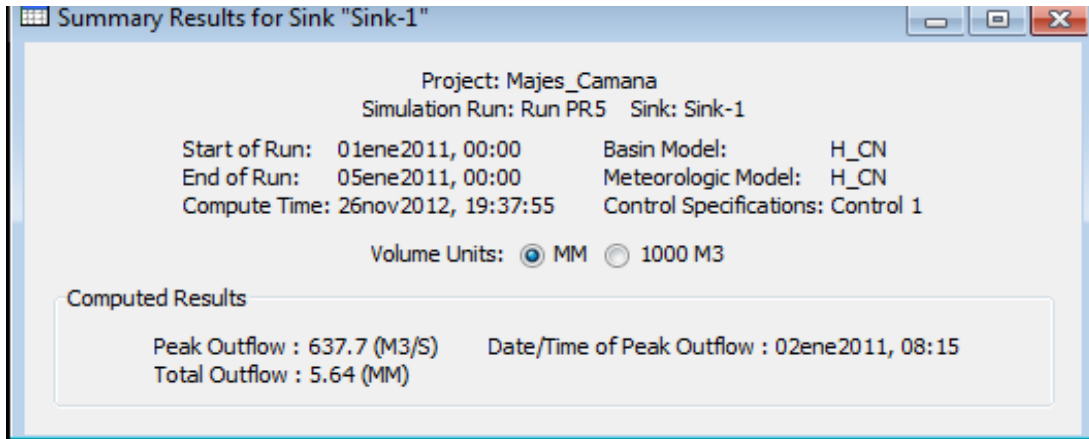


Figure 21. Summary of Results of HEC-HMS Program for 5-year Flood at Station Huatiapa.

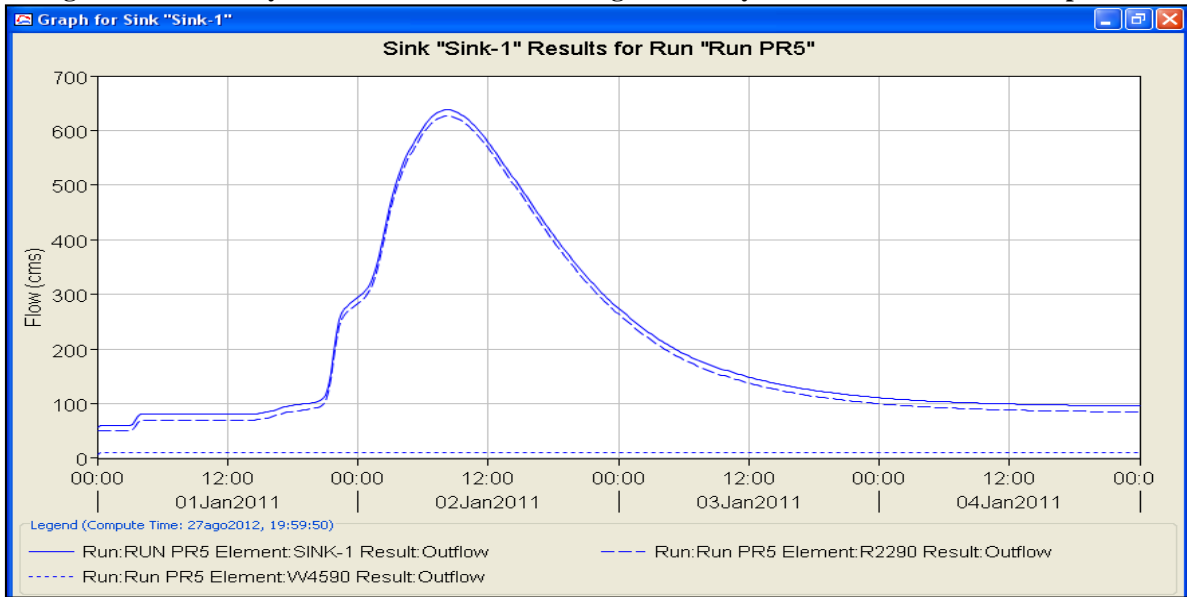


Figure 22. Hydrograph for 5-year Return Period.

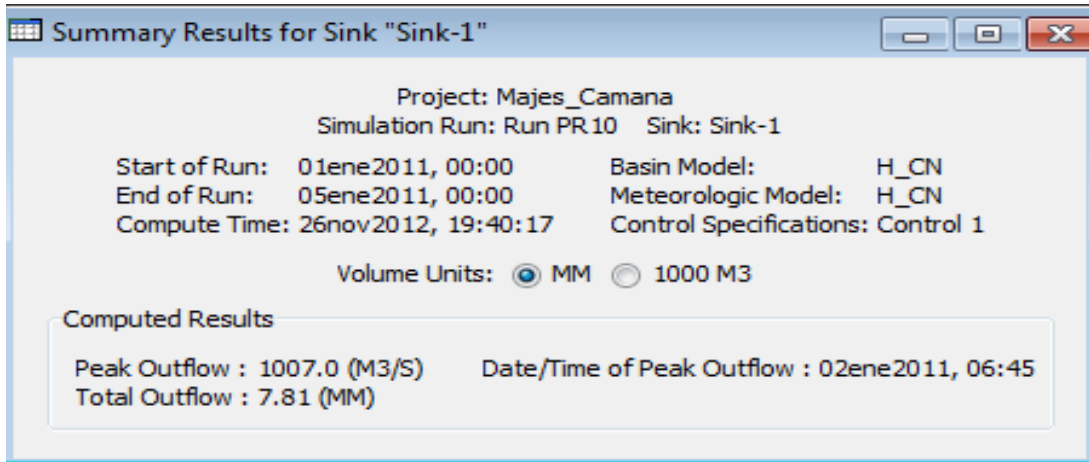


Figure 23. Summary of Results of HEC-HMS Program for 10-year Flood at Station Huatiapa.

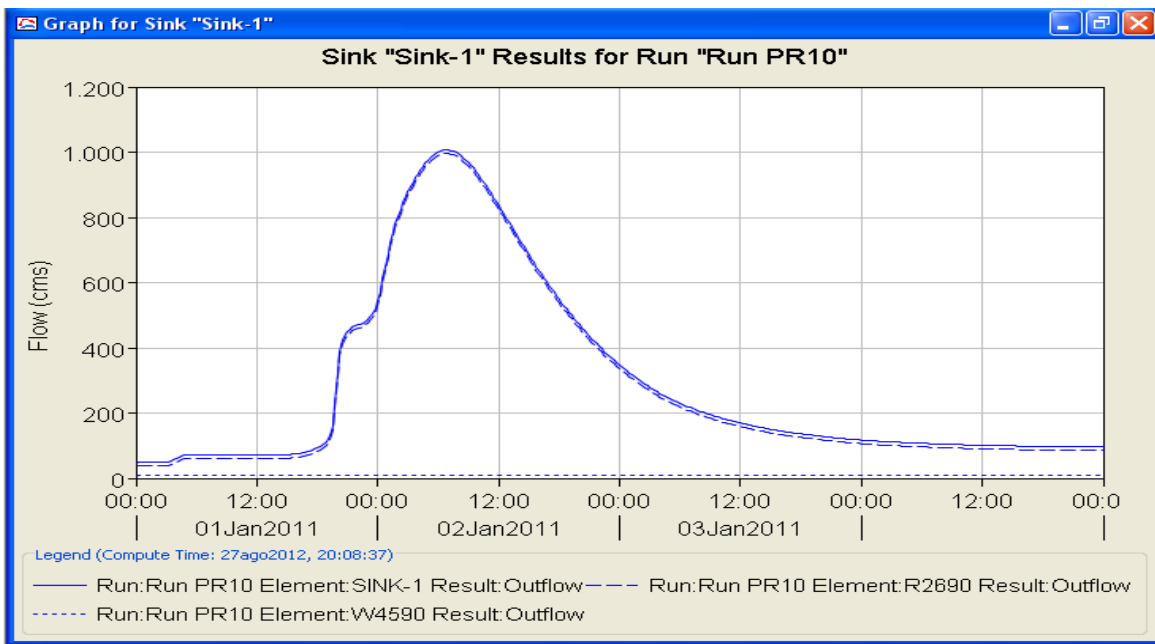


Figure 24. Hydrograph for 10-year Return Period.

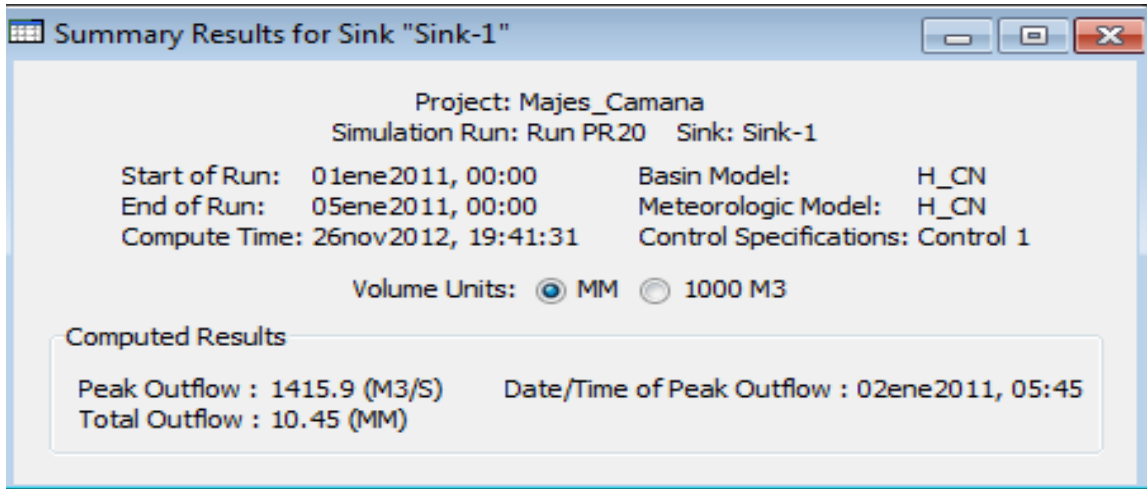


Figure 25. Summary of Results of HEC-HMS Program for 20-year Flood at Station Huatiapa.

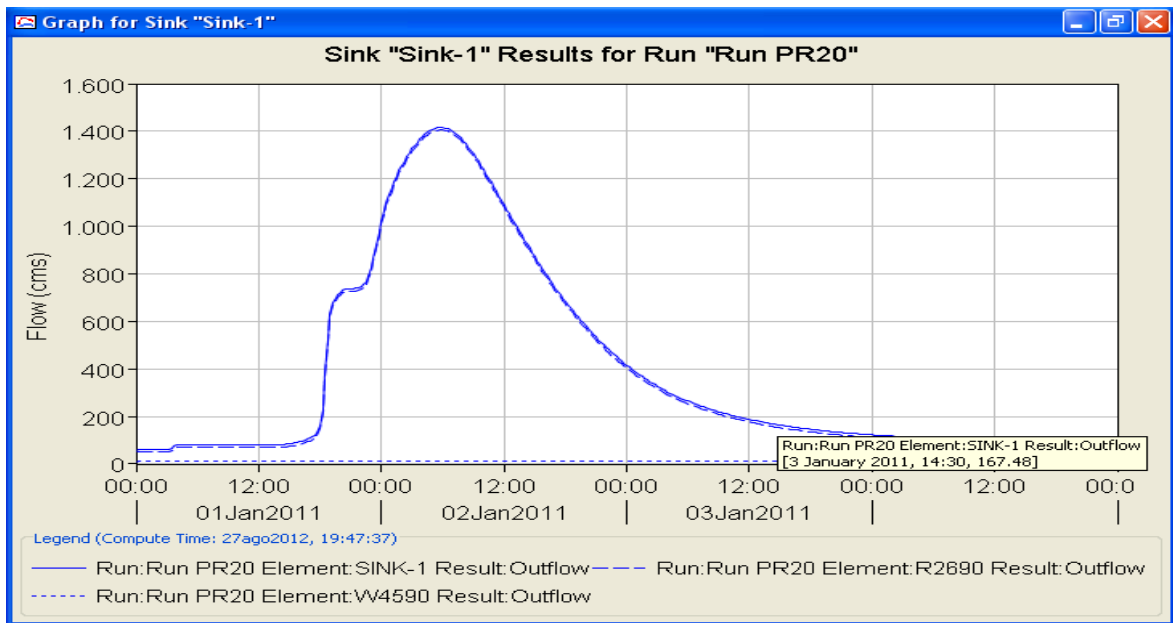


Figure 26. Hydrograph for 20-year Return Period.

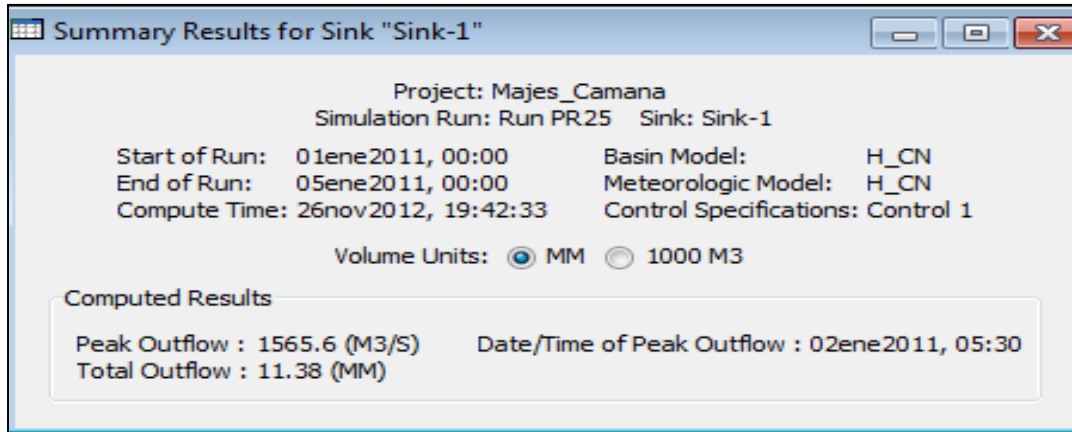


Figure 27. Summary of Results of HEC-HMS Program for 25-year Flood at Station Huatiapa.

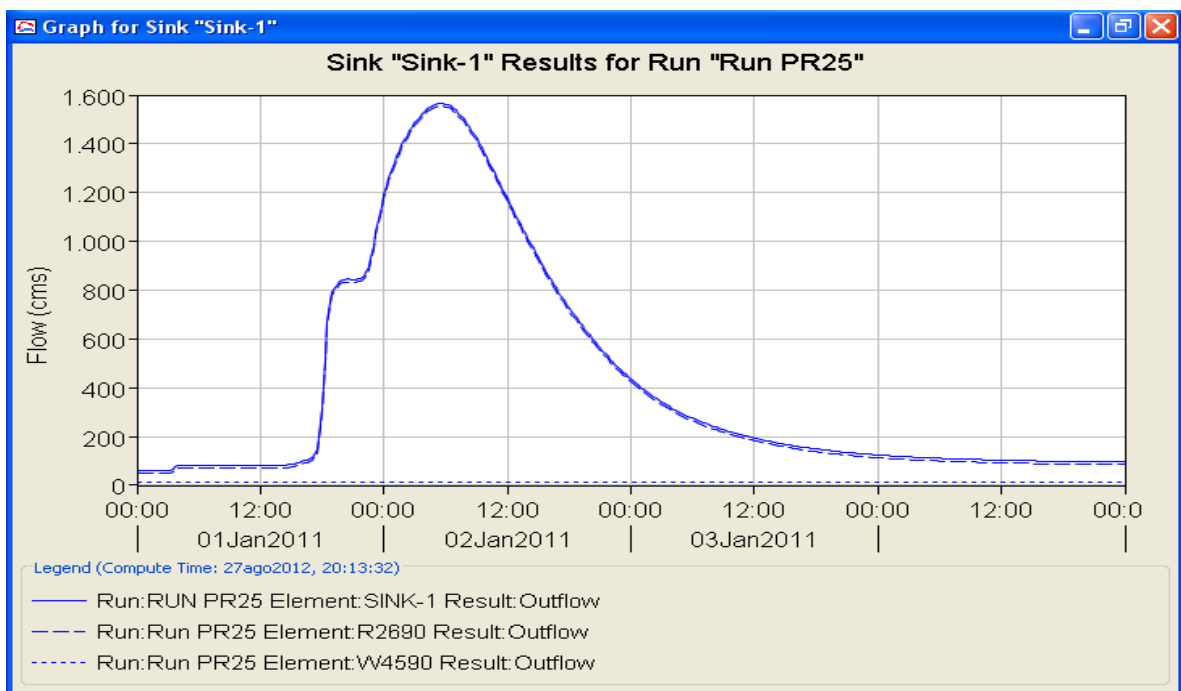


Figure 28. Hydrograph for 25-year Return Period.

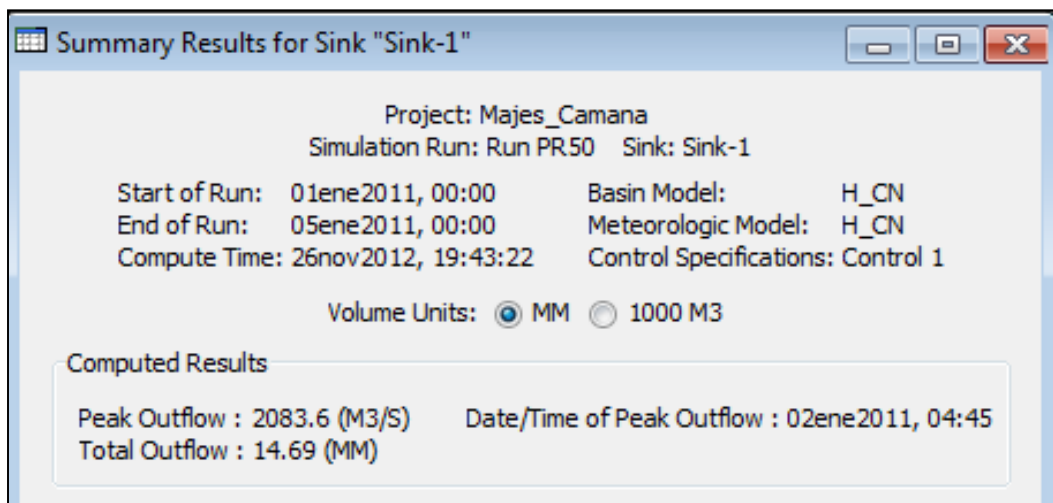


Figure 29. Summary of Results of HEC-HMS Program for 50-year Flood at Station Huatiapa.

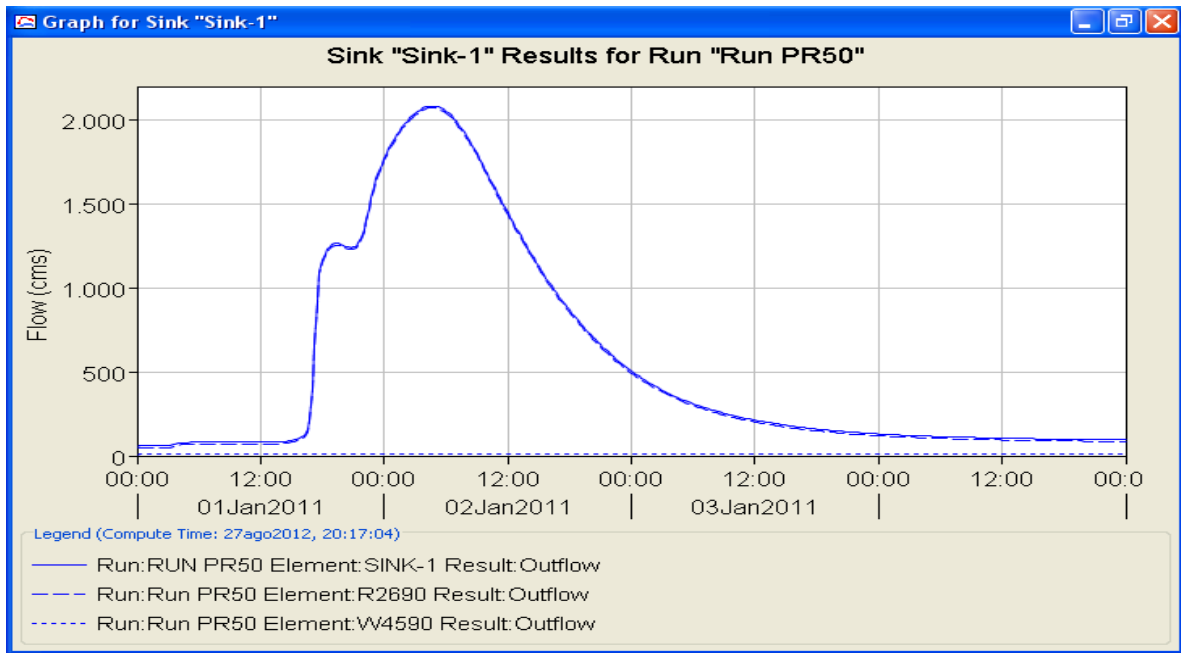


Figure 30. Hydrograph for 50-year Return Period.

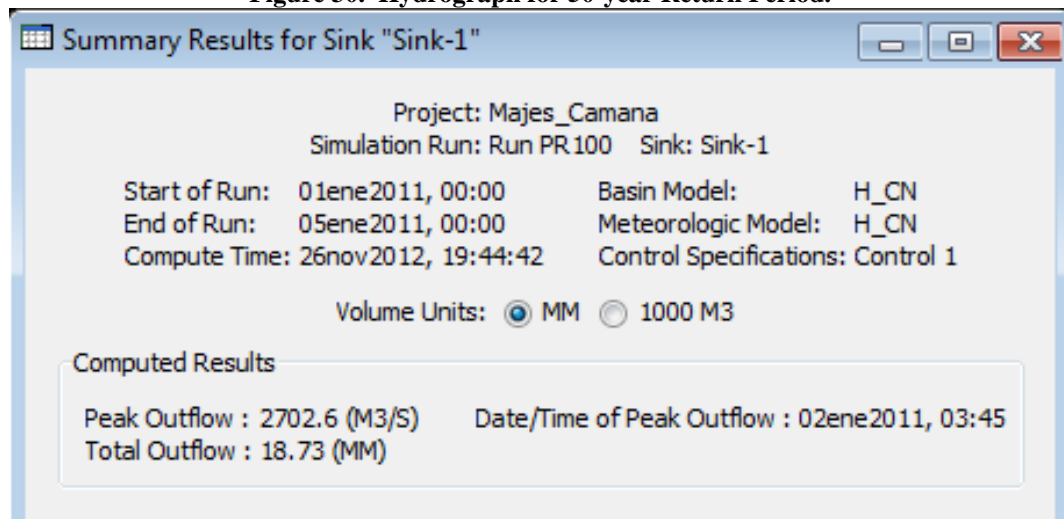


Figure 31. Summary of Results of HEC-HMS Program for 50-year Flood at Station Huatiapa.

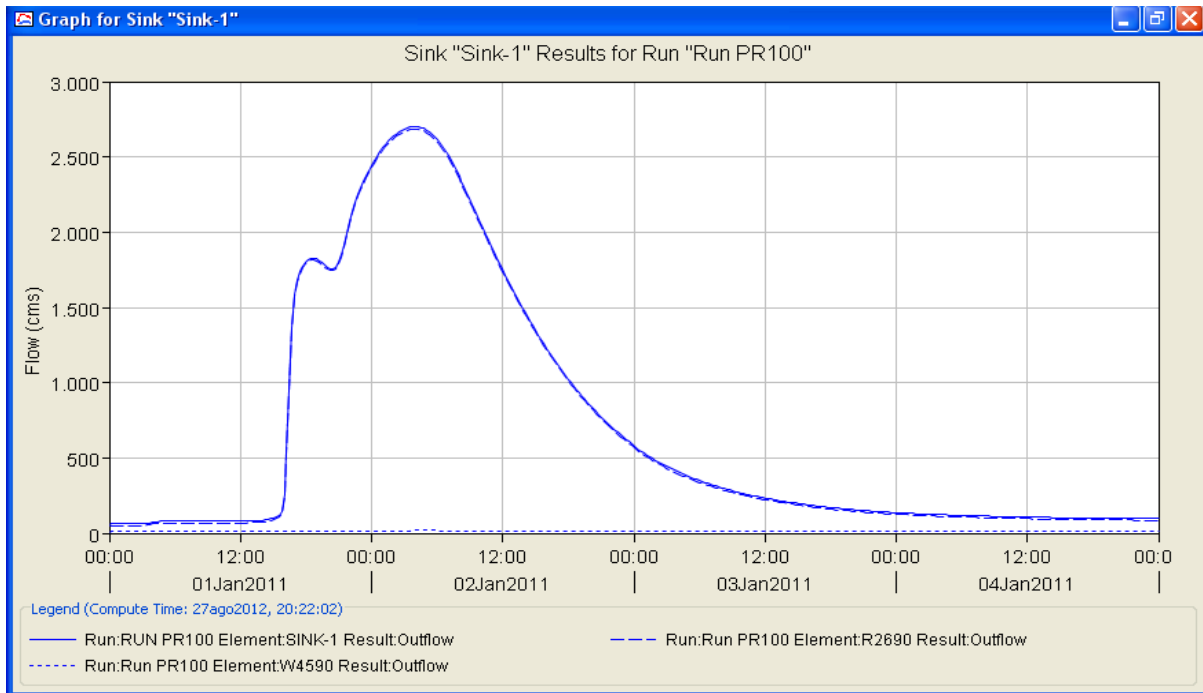


Figure 32. Hydrograph for 100-Year Return Period.

Figure 33 to 36 shows specific discharge of statistical flood peak in the coastal area of Perú and the estimated peak discharge of the Majes-Camana at Huatiapa station by the HEC-HMS Model. According to these specific discharge and the Creager’s curves, the estimated peak discharge of the Majes-Camana at Huatiapa station by the HEC-HMS Model for each return periods are determined to be within a reasonable range of nearby area.

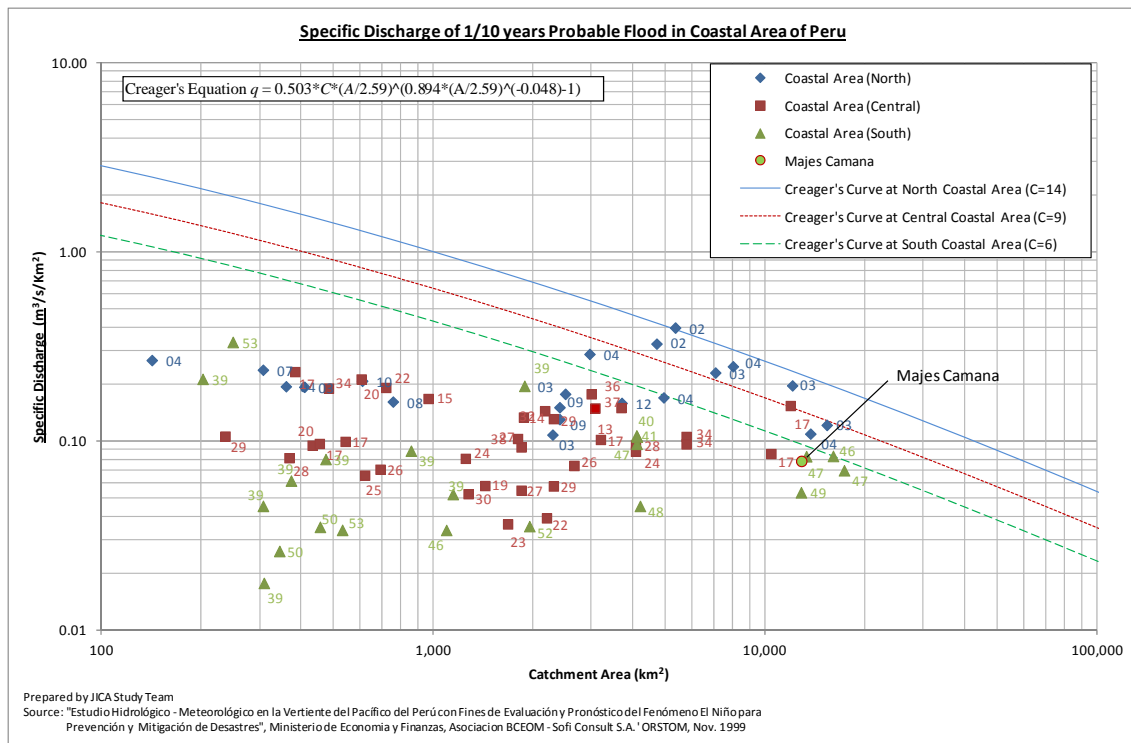


Figure 33. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/10 year return period).

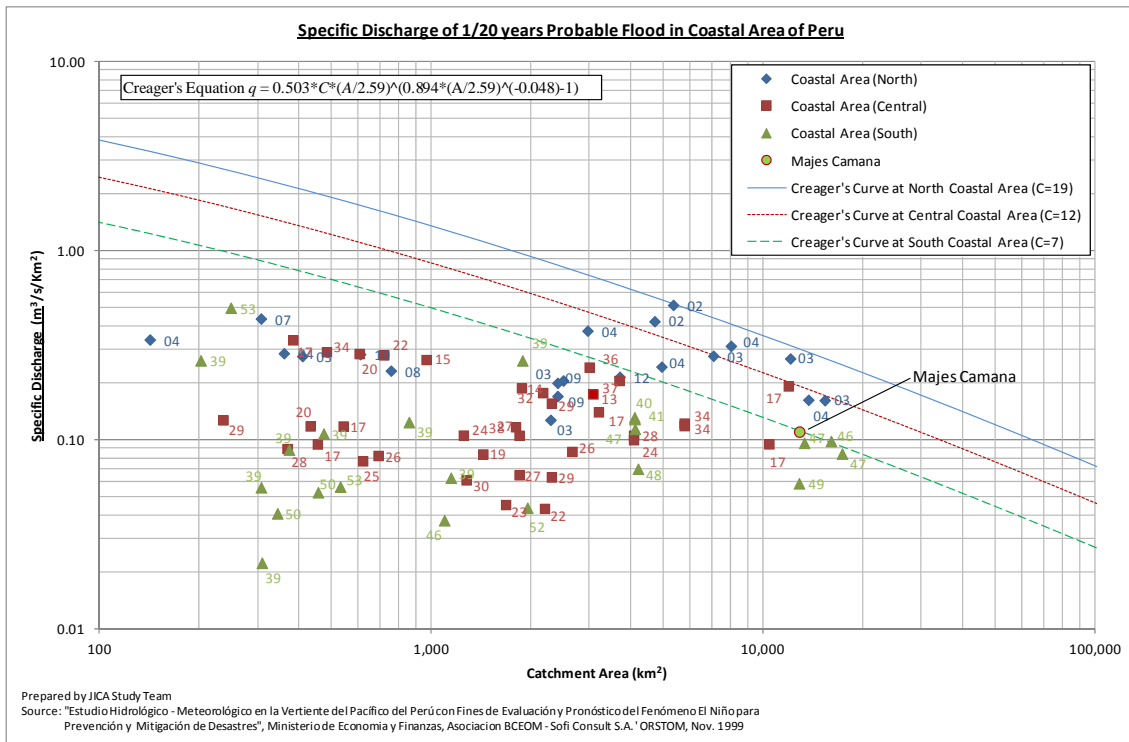


Figure 34. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/20 year return period).

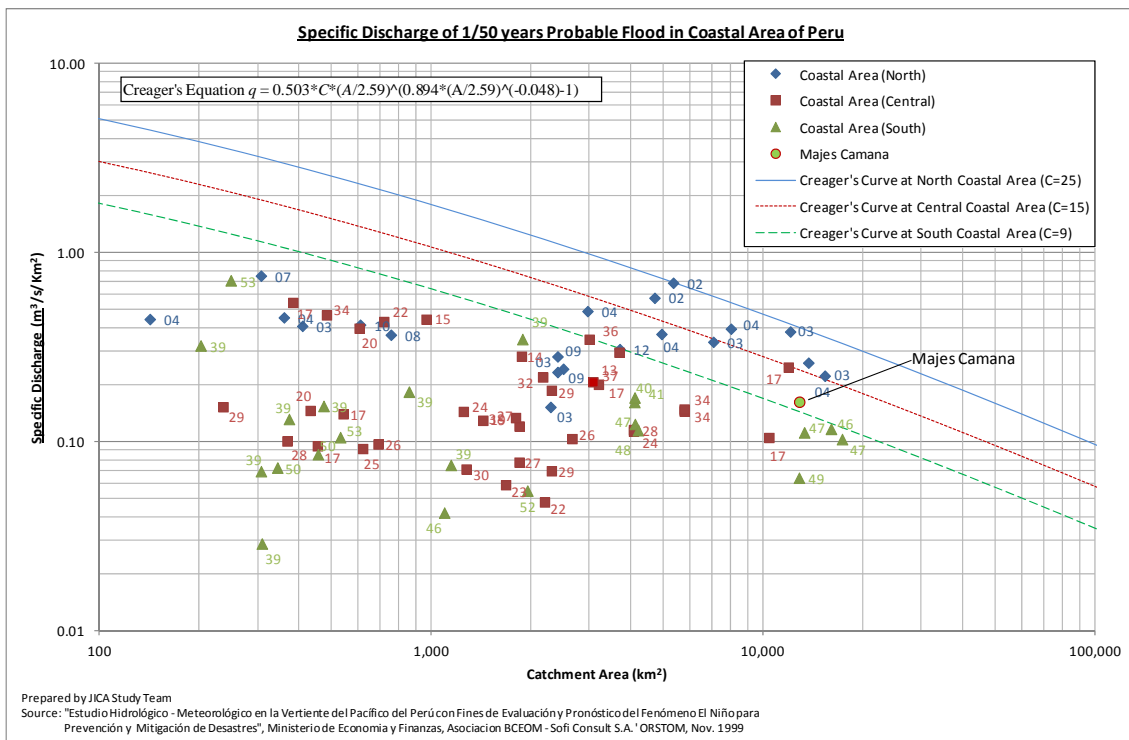


Figure 35. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/50 year return period).

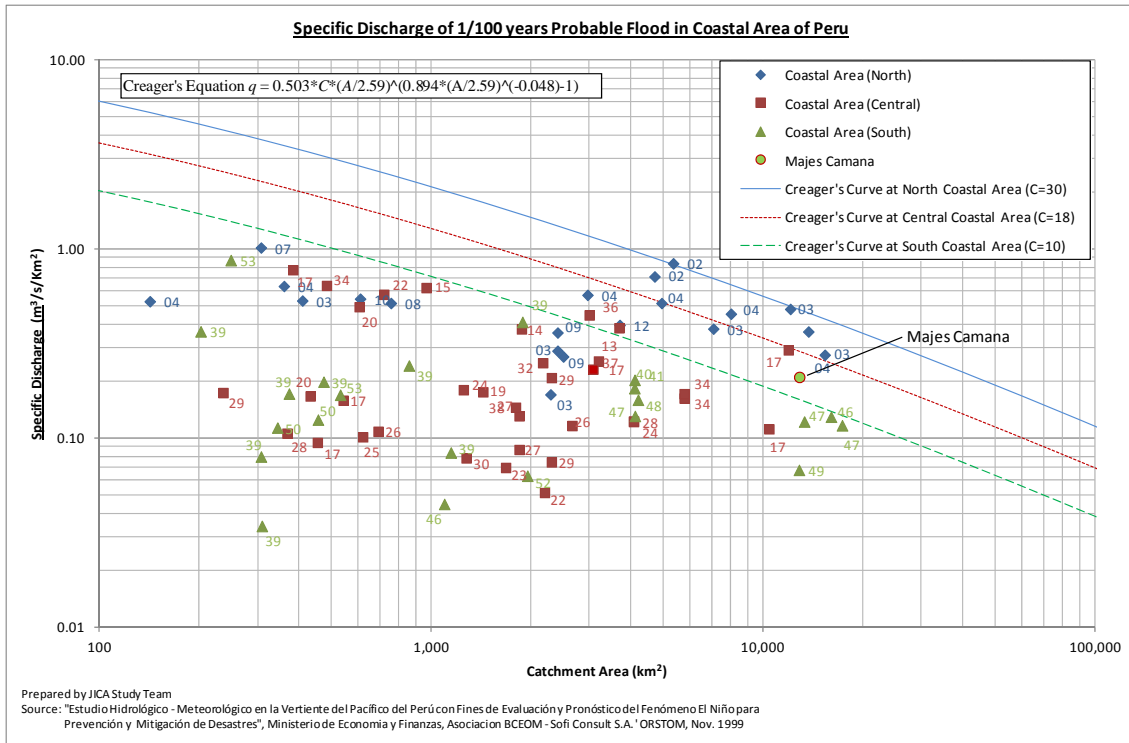


Figure 36. Specific Discharge of Flood Peak in the Coastal Area of Peru and Estimated Peak Discharge of Majes-Camana at Huatiapa Station by HEC-HMS Model (1/100 year return period).

IV. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The main objective of this study is to estimate the discharges and hydrographs that will occur for the following return periods: 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years.

The majority of the precipitation records available for the study zone have been obtained manually. Only in recent years automatic weather stations have been installed in the study zone. Precipitation used for the hydrologic simulation is the 24 hour precipitation.

The orographic effect is very pronounced in the Majes – Camana Basin. Precipitation is close zero in the lower reaches and increases with altitude. Precipitation is 700 mm/yr near the Continental Divide.

Stream gages in the Majes-Camana Basin are scarce. Only Huatiapa Station has been operating without major interruptions since it started functioning. Data has been obtained manually is available as flows are measured three or four times a day. The float type automatic water level gauge was installed in 2006 at Huatiapa gauging station. However the digitalized hourly water level data is not available for Huatiapa gauging station. Maximum daily discharges are obtained by selecting the largest flow measured in a day. Therefore, it was considered necessary to conduct hydrologic simulations.

In the absence of instantaneous peak discharge, it was decide to conduct hydrologic simulation for obtaining peak flows and peak hydrographs. Initial CN values were obtained from tables and they were adjusted take into account the Antecedent Moisture Condition (AMC) in each land subdivision.

Peak discharges at Huatiapa Station were estimated using hydrologic simulations. The results are given below.

T (years)	Q (m ³ /s)
2	305,8
5	637,7
10	1007
20	1415,9
25	1565,6
50	2083,6
100	2702,6

