

SENAMHI

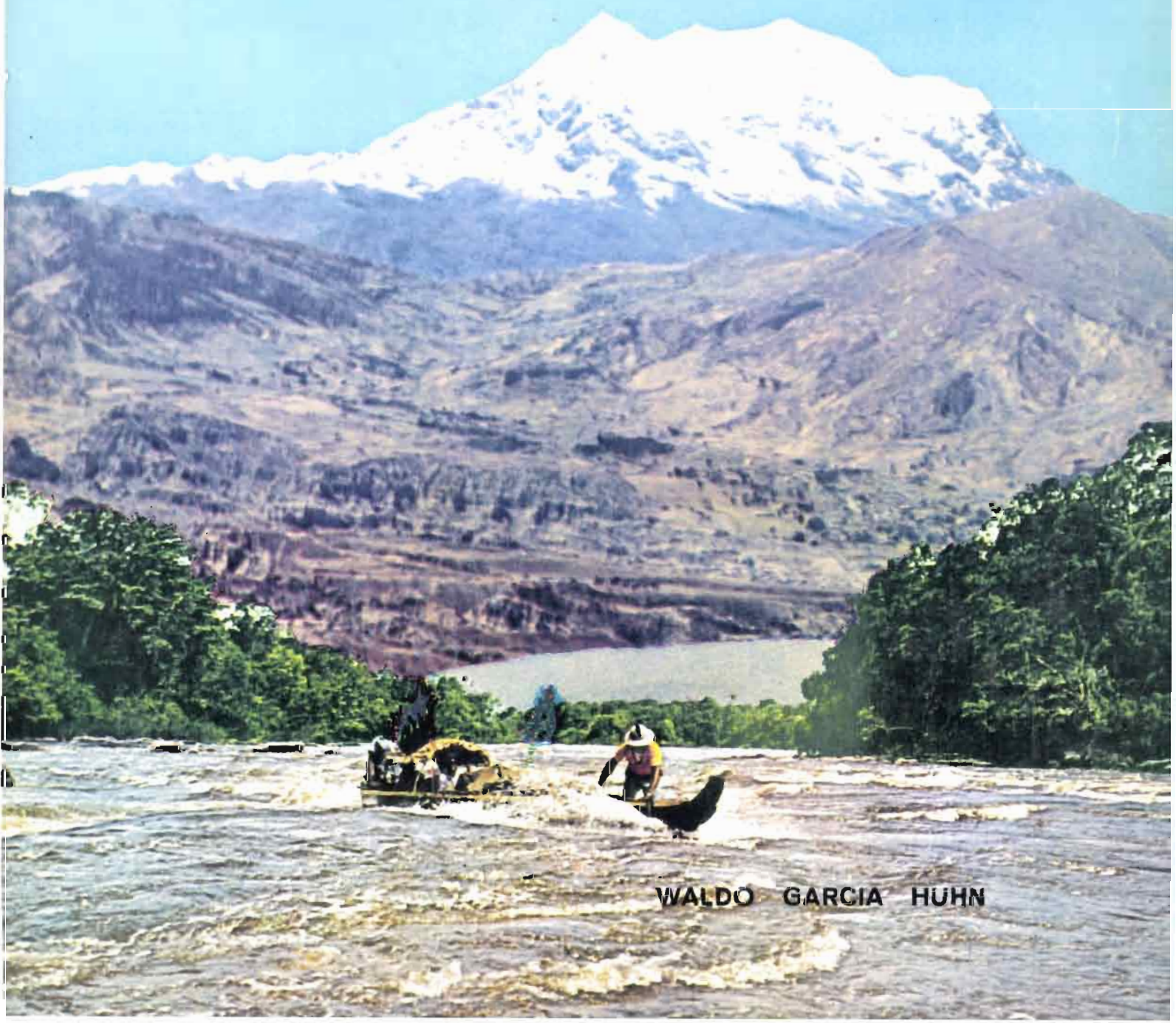
PHICAB

ORSTOM

IHH - CONAPHI

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO MAMORE

AMAZONIA - BOLIVIA



WALDO GARCIA HUHN

SENAMHI

PHICAB

ORSTOM

IHH-CONAPHI

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL
DE LA CUENCA DEL RIO MAMORE

BOLIVIA

WALDO ALBERTO GARCIA HUHN

DIRECTOR PHICAB : MARIO CANEDO DAZA

CO-DIRECTOR PHICAB : MICHEL-ALAIN ROCHE

DIRECTOR IHH : CARLOS FERNANDEZ JAUREGUI

JULIO 1985

AGRADECIMIENTOS:

- A mis profesores de Ingeniería Civil, por las diversas enseñanzas recibidas.

- A los Directivos y Personal del SENAMHI, quienes cooperaron al proporcionar información hidrometeorológica , para realizar el presente estudio.

- A los Directivos de ORSTOM, muy en especial al Dr. Michel Alain Roche, por su más amplia y decidida colaboración en asesoramiento, financiamiento, elaboración y publicación del presente estudio.

- Al IHH, por su constante asesoramiento y guía durante la elaboración y redacción del presente estudio.

El Programa PHICAB, convenio entre el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), y el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz-Bolivia, contempla el estudio de la climatología e hidrología de Bolivia.

En este marco fue llevado a cabo el presente proyecto, sobre el "BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO MAMORE", realizado en concertación con la UNESCO/ROSTLAC, que a través del Programa Hidrológico Internacional (PHI), coordina el establecimiento del Balance Hidrico de América del Sur.

A fin de responder a una necesaria homogeneidad, a escala del continente, fueron respetadas por el autor, en la medida de lo posible las recomendaciones dictadas por la UNESCO/ROSTLAC en la "Guía metodológica para la elaboración del balance hidrico de América del Sur".

INDICE

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1	Generalidades.....	1
1.2	Ambito Geográfico.....	2
1.2.1	Areas Climatológicas.....	3
1.2.1.1	Clasificación de las regiones climáticas según Köppen.....	7
1.2.2	Puntos de interés significativos.....	7
1.2.3	Topografía, Edafología, Geología, Cobertura y uso del suelo en la región.....	8
1.2.4	División de unidades hidrológicas.....	14

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE HIDRICO

2.1	Periodo considerado.....	18
2.2	Ubicación de las estaciones por parámetro.....	19
2.3	Precipitación.....	23
2.3.1	Definición.....	23
2.3.2	Evaluación de la precipitación.....	23
2.3.3	Análisis de consistencia y ajuste de las estadísticas.....	23
2.3.4	Ampliación y relleno de estadísticas pluviométricas.....	27
2.3.5	Evaluación de la precipitación especial.....	29
2.3.5.1	Traslado de Isoyetas.....	34
2.3.6	Presentación de los resultados.....	34
2.3.6.1	Subcuenca del Río Caine.....	35
2.3.6.2	Subcuenca del Río Chayanta.....	37
2.3.6.3	Subcuenca del Río Mizque.....	39
2.3.6.4	Subcuenca del Río Grande hasta Fuesto Nava.....	41
2.3.6.5	Subcuenca del Río Grande hasta Abapó.....	43
2.3.6.6	Subcuenca Ríos Ichilo y Chapare.....	46
2.3.6.7	Subcuencas Ríos Firay, Yapacaní y Grande (Santa Cruz).....	48

2.3.6.8	Subcuenca Río Mamoré (Beni).....	51
2.3.7	Procedimiento del Análisis de Ampliación, relleno y consistencia del registro de una estación pluviométrica (ejemplo de aplicación).....	54
2.4	Evapotranspiración.....	66
2.4.1	Evapotranspiración real (ETR).....	66
2.4.2	Estimación de la ETR.....	66
2.4.3	Presentación de resultados.....	67
2.4.3.1	ETR por TURC Subcuenca Río Caine.....	68
2.4.3.2	ETR por TURC Subcuenca Río Chayanta.....	68
2.4.3.3	ETR por TURC Subcuenca Río Mizque.....	68
2.4.3.4	ETR por TURC Subcuenca Río Grande hasta Puesto Nava.....	69
2.4.3.5	ETR por TURC Subcuenca Río Grande hasta Abapó.....	69
2.4.3.6	ETR por TURC Subcuencas Ríos Ichilo y Chappare.....	70
2.4.3.7	ETR por TURC Subcuencas Ríos Piray, Yapacaní y Grande.....	70
2.4.3.8	ETR por TURC Subcuenca Río Mamoré.....	70
2.5	Escorrentía.....	72
2.5.1	Análisis de consistencia y corrección de las estadísticas fluviométricas.....	72
2.5.1.1	Análisis por comparación de escorrentías....	73
2.5.1.2	Análisis por comparación con precipitaciones	74
2.5.2	Ampliación de estadísticas.....	77
2.5.3	Estimación de caudales para cuencas con poca información.....	78
2.5.4	Presentación de resultados.....	80
2.5.4.1	Subcuenca Río Caine.....	80
2.5.4.2	Subcuenca Río Chayanta.....	80
2.5.4.3	Subcuenca Río Mizque.....	81
2.5.4.4	Subcuenca Río Grande hasta Puesto Nava.....	82
2.5.4.5	Subcuenca Río Grande hasta Abapó.....	82
2.5.4.6	Cuadro resumen de estaciones fluviométricas.	83
2.5.4.7	Caudales específicos por subcuencas.....	83

CAPITULO 3

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL.....	87
3.1 Cuencas con control fluviométrico.....	89
3.2 Cuencas sin control fluviométrico.....	90
3.3 Cuencas sin datos.....	90
3.4 Presentación de resultados.....	91
3.4.1 Subcuenca Río Caine.....	91
3.4.2 Subcuenca Río Chayanta.....	91
3.4.3 Subcuenca Río Mizque.....	92
3.4.4 Subcuenca Río Grande hasta Puesto Nava.....	92
3.4.5 Subcuenca Río Grande hasta Abapó.....	93
3.4.6 Subcuencas Ríos Ichilo y Chapare.....	93
3.4.7 Subcuenca Ríos Piray, Yapacaní y Grande.....	94
3.4.8 Subcuencas Ríos Mamoré hasta Puerto Siles.....	94
3.4.9 Comprobación de caudales para subcuencas sin control fluviométrico.....	95
3.5 Balance Hídrico acumulado subcuencas.....	97
3.5.1 Balance Hídrico hasta Puesto Nava.....	97
3.5.2 Balance Hídrico hasta Abapó.....	98
3.5.3 Balance Hídrico hasta Puerto Siles (Balance de toda la Cuenca del Río Mamoré).....	98

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
ANEXO: Relación P/\bar{P} Vs. P.....	107

CAPITULO 5

BIBLIOGRAFIA.....	109
-------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción	Pag.
1.1	Mapa ecológico de Bolivia	5
1.2	Bolivia, climas	6
1.4	Cordillera oriental, C. de Cochabamba	9
1.4.1	Sierras subandinas	10
1.5	Características hidrogeológicas	11
1.6	Mapa geológico de Bolivia	12
1.7	Mapa de cobertura y uso actual de la tierra	16
1.8	Áreas boscosas de Bolivia	17
2.1.1	Curva doble acumulada	26
2.2.1	Ampliación y relleno de estadísticas	27
2.1	Perfil pluviométrico zona subcuenca Caine	30
2.2	Perfil pluviométrico zona río Grande	31
2.3	Perfil pluviométrico zona río Grande	32
2.4	Perfil pluviométrico zona Chapare	33
1	Curvas doble acumuladas	56
2	Curvas doble acumuladas	57

LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción	Pag.
3	Curvas doble acumuladas subcuenca Mizque . . .	57
4	Curvas doble acumuladas subcuenca Caine . . .	57
5	Curvas doble acumuladas subcuenca Chavanta . .	58
6	Curvas doble acumuladas	58
7	Curvas doble acumuladas subcuenca Mizque . . .	59
8	Curvas doble acumuladas subcuencas Ichilo- Cha- pare	60
9	Curvas doble acumuladas subcuencas Ichilo- Cha- pare	61
10	Curvas doble acumuladas Santa Cruz	62
11	Curvas doble acumuladas Santa Cruz	62
12	Curvas doble acumuladas Santa Cruz	63
13	Curvas doble acumuladas Santa Cruz	64
14	Curvas doble acumuladas Santa Cruz	65
15	Perfil térmico zona cordillera del Tunari-Chapare valle de Cochabamba	71
16	Análisis de consistencia por CDA, caudal- preci- pitación	76

LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción	Pag.
17	CDA- caudales	85
18	CDA- caudales	86

LISTA DE TABLAS

Número	Descripción	Pag.
2.2.1	Cuadros resumen de las características de precipitación	19
2.2.2	Cuadros resumen de las características de temperatura	21
2.2.3	Cuadros resumen de las características de Fluviometría	22
2.1	Resumen de estaciones subcuenca río Caine .	36
2.2	Estimación de P subcuenca río Caine	37
2.3	Resumen de estaciones subcuenca río Chayanta	38
2.4	Estimación de P subcuenca Chayanta	38
2.5	Resumen de estaciones subcuenca río Mizque	39
2.6	Estimación de P subcuenca Mizque	40
2.7	Resumen de estaciones subcuenca río Grande hasta Puerto Nava	42
2.8	Estimación de P subcuenca río Grande hasta Puerto Nava	43
2.9	Resumen de estaciones subcuenca río Grande hasta Abapó	44

LISTA DE TABLAS

Número	Descripción	Pag.
2.10	Estimación de P subcuena río Grande Hasta Abapó	45
2.11	Resumen de estaciones subcuencas ríos Ichilo y Chapare.	47
2.12	Estimación de P subcuencas Ichilo-Charare	48
2.13	Resumen de estaciones subcuencas ríos Piray, Yapacaní y Grande	49
2.14	Estimación de P subcuencas Piray, Yapaca- ní y Grande	51
2.15	Resumen de estaciones subcuena río Mamoré	52
2.16	Estimación de P subcuena río Mamoré . .	53
2.17	Precipitación Ajustada Tarumá (ejemplo) .	55
2.4.3.1	ETR por Turc subcuena río Caine	68
2.4.3.2	ETR por Turc subcuena río Chavante . . .	68
2.4.3.3	ETR por Turc subcuena río Mizque	69
2.4.3.4	ETR por Turc subcuena río Grande hasta Puesto Nava	69
2.4.3.5	ETR por Turc subcuena río Grande hasta Abapó	69

LISTA DE TAPLAS

Número	Descripción	Pag.
2.4.3.6	ETR por Turc subcuencas Ichilo- Chapare .	70
2.4.3.7	ETR por Turc subcuencas Piray, Vanacani y Grande	70
2.4.3.8	ETR por Turc subcuenca río Mamoré	70
2.5.4.6	Cuadro resumen de estaciones Fluviométricas	83

TERMINOLOGÍA, SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

Símbolo	Significado
A	Area de una cuenca o sección (Km^2 , m^2)
ETR	Evapotranspiración real (mm)
P	Precipitación (mm)
Q	Caudal (m^3/s)
q	Caudal específico de una cuenca (l/s/Km^2)
R	Escorrentía (mm)
r	Coefficiente de correlación
θ	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
δ	Término de discrepancia (mm)
$\bar{\quad}$	Valor medio (guión sobre el símbolo)
i	Flujo de entrada en los cuernos de agua en estudio
o	Flujo de salida en los cuernos de agua en estudio
<>	Valor espacial (entre el símbolo)
IHH	Instituto de Hidráulica e Hidrología
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ORSTOM	Instituto Francés de investigación para el desarrollo en cooperación

PP Patrón de precipitaciones

PPA Patrón de precipitaciones anuales

PR Patrón de escorrentia

RE Estadística fluviométrica base

CDA Curva doble acumulada

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

ROSTIAC Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe

PHICAP Proyecto Hidrológico de las Cuencas Amazónicas en Bolivia

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

1.1 GENERALIDADES

El presente estudio ha sido elaborado con el propósito de evaluar el balance hídrico superficial de la cuenca del río Mamoré.

En este sentido, la elaboración del balance consiste en la evaluación de las entradas y salidas de agua en una cuenca hidrográfica, fundamentalmente en el principio de la conservación de la masa y expresada en la ecuación del balance. Que equivale a decir que la precipitación es igual a la escorrentía más la evapotranspiración real, y más un término de discrepancia.

Puesto que las mediciones de cada uno de los parámetros que intervienen en el balance, se efectúan en forma separada y por diferentes medios de observación, sin tener ninguna relación entre sí; es que surgen errores sistemáticos muy difíciles de precisar. Estos errores se traducen al efectuar el balance, en el término de discrepancia, el cual no es más que un indicador de la calidad con que cada uno de los componentes se ajustan a la ecuación del balance.

El balance hídrico se efectuó con valores medios anuales para un intervalo de tiempo de 1967 a 1981 (15 años), debido a la simultaneidad de información existente en la red de observación y los postulados de la Guía metodológica.

Para realizar el balance hídrico es necesario efectuar un levantamiento de las estaciones de medición, tratando en lo posible tener la mayor cantidad de las mismas. A estas estaciones se las somete a un test mediante el cual se efectuó un análisis de consistencia de la información, para luego proceder a rellenar y ampliar aquellas estaciones que no cuentan con los 15 años de registro que indica el balance.

De esta manera se logra tener una serie de estaciones que posteriormente se las integra en la elaboración de los mapas de isolíneas de precipitación (isovetas), de temperatura (isotermas), de evapotranspiración real, y de caudales específicos: para así tener una visualización espacial de cada uno de los parámetros que componen el balance hídrico, llegando así a tipificar cada uno de los mismos.

Finalmente el balance hídrico suministra los medios para la evaluación indirecta de parámetros cuyos antecedentes son insuficientes para calcularlos, considerando al término de discrepancia igual a cero.

1.2 AMBITO GEOGRAFICO

La cuenca del río Mamoré limita al Norte con la república del Brasil, al Sur con la cuenca del río Pilcomayo, al Este con la cuenca del río Iténez, y al Oeste con las cuencas del río Beni y la del Altiplano o endorreica.

El ámbito geográfico en que se desarrolla el balance, comprende gran parte de los departamentos del Beni y Santa Cruz, el Norte de Potosí y Chuquisaca, algo de Oruro y casi todo el departamento de Cochabamba: esto considerando la jurisdicción política en que está la cuenca del río Mamoré.

El río Mamoré nace en las cordilleras de Cochabamba y Chayanta, con los afluentes de los ríos Caine y Chayanta, los cuales al unirse en Fuayrapata, dan lugar al río Grande cuyo rumbo es el Sur-Este. El río Grande recibe numerosos afluentes, entre los que se cuentan el río Mizcue, el Tomina y el río Azero como los más importantes.

A la altura de Abapó sale de la zona montañosa hacia la llanura cruceña, cambiando de rumbo hacia el Norte y recibiendo aportes de las subcuencas de los ríos Yapacaní y Piray.

En la cordillera de Cochabamba, nacen los afluentes del río Chapare, el cual por tener gran aporte pluvial, consigue un caudal considerable en pocos kilómetros, para luego entrar en la llanura y unirse al río Ichilo: el cual nace en las serranías de Matacurú, Florida, Corralones y Catariri, todas ellas en el departamento de Santa Cruz.

Estos ríos (Ichilo y Chapare), se unen al río Grande para formar el río Mamoré, ya en el departamento del Beni; donde recibe numerosos afluentes entre los que están: el río Securé, Ibare, Tijamuchí, Apere, Rapulo, Yacuma, etc., para unirse al río Intérez; siendo el límite de la cuenca del río Mamoré.

El área aproximada de la cuenca del río Mamoré hasta Puerto Siles es de 216.240 Km².

Dentro del ámbito geográfico, se consideran los siguientes factores:

- áreas climatológicas
- puntos de interés significativo
- topografía, edafología, geología, cobertura y uso del suelo en la región
- división de unidades hidrológicas

I.2.1 AREAS CLIMATOLÓGICAS

Según la figura N° 1.1, en la cuenca del río Mamoré se clasifican las siguientes áreas climatológicas: P- región subtropical y C- región templada.

Clasificación hecha según la latitud y la influencia de la topografía.

Las condiciones climáticas en general son las siguientes:

En los valles de Cochabamba y Chuquisaca, la precipitación media anual, tiene un orden de magnitud de 600 a 800 mm, temperaturas medias del orden de 10 a 20 °C. Existen zonas aisladas en que la precipitación media anual llega a los 1600 mm (zona

de Masicurí), la cual en pocos kilómetros a la redonda, se reduce a los 800 mm.

La zona norte de Potosí tiene valores de 600 a 700 mm de precipitación media anual y temperaturas del orden de 8 a 15 °C.

Las subcuencas Ichilo y Chapare presentan precipitaciones medias anuales del orden de 2500 mm, llegando a tener como máxima anual 8000 mm el año 77 en la estación San Mateo. Presenta temperaturas medias anuales del orden de 10 a 25 °C, esto debido al cambio brusco desde la cordillera del Tunari hasta la llanura del Capare.

Las llanuras de Santa Cruz y Beni se caracterizan por un clima húmedo propio de sabana tropical con inviernos secos. Las precipitaciones medias anuales están en el rango de 2000 a 2500 mm, y temperaturas medias anuales del orden de 22 a 27 °C. (2)

FRENTES QUE AFECTAN A LA CUENCA DEL RIO MAMORÉ

Los frentes en la cuenca del río Mamoré son los siguientes:

FCLAR.- Se presenta en los llanos de Santa Cruz y Beni, ingresando por el Sur hacia el Norte. Es bastante frecuente en Ctoño, Invierno y Primavera; a su paso produce descensos de temperatura del orden de 10 a 15 °C y un aumento de la humedad relativa, produciendo a causa de ello precipitaciones.

MASAS DE AIRE TROPICAL.- Se presentan como masas del Norte y características diferentes según la época del año. En Invierno dominan la parte Norte del continente por lo que no tienen significación en la cuenca. En Verano son masas de aire Equatorial procedentes del Norte con dirección Sur-Coste. Ingresan a la cuenca desde el Brasil con dirección a la zona del Chapare, y al llegar a las serranías de dicha zona, produce las precipitaciones máximas de la cuenca, para distribuirse en dirección de las serranías.

MASAS DE AIRE SUPERIOR.- Se presentan siguiendo su circulación en la meseta andina, a alturas superiores a los 4000 m, con vientos del Oeste en Invierno y dirección Este en Verano.

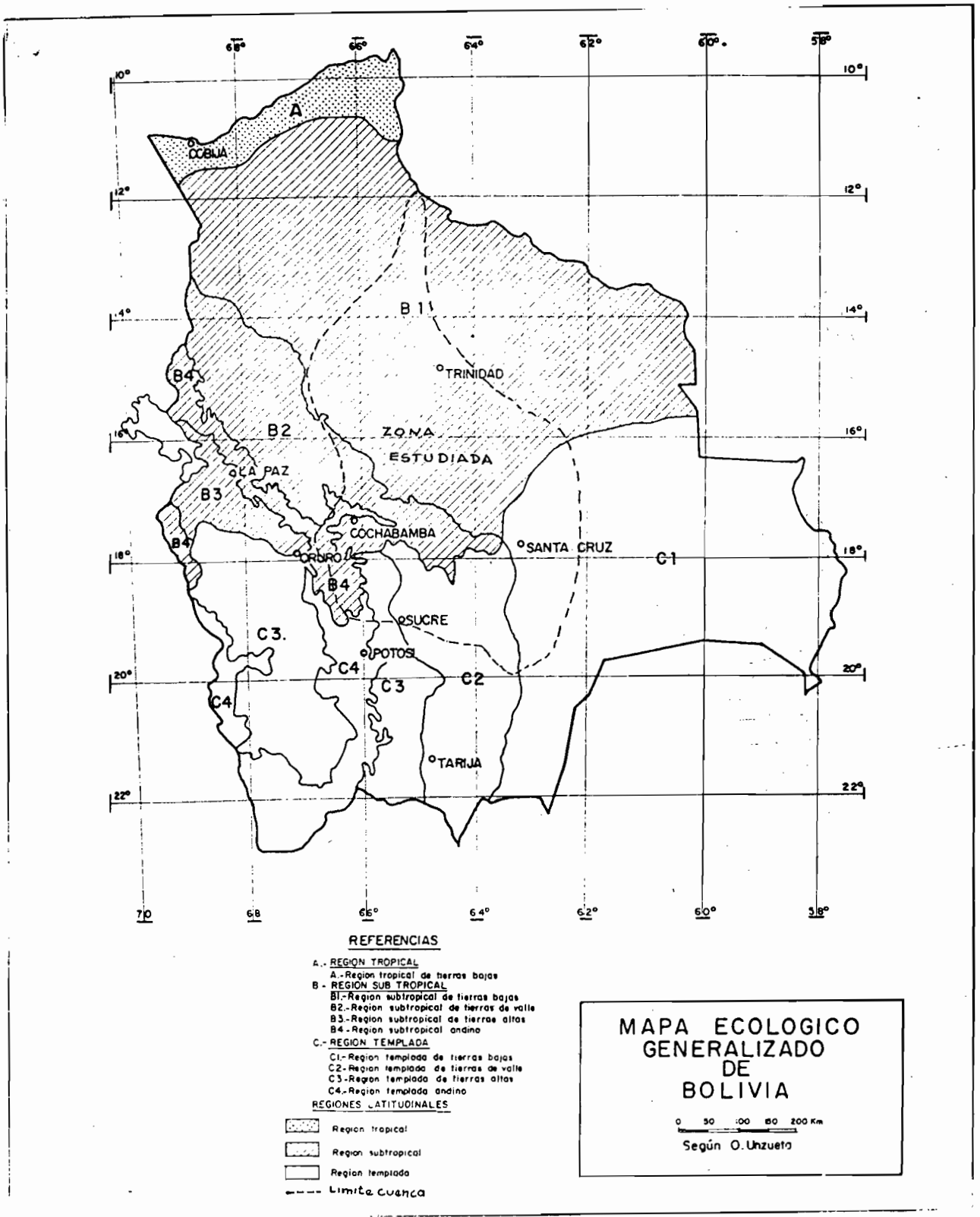


FIG. N° 1.1

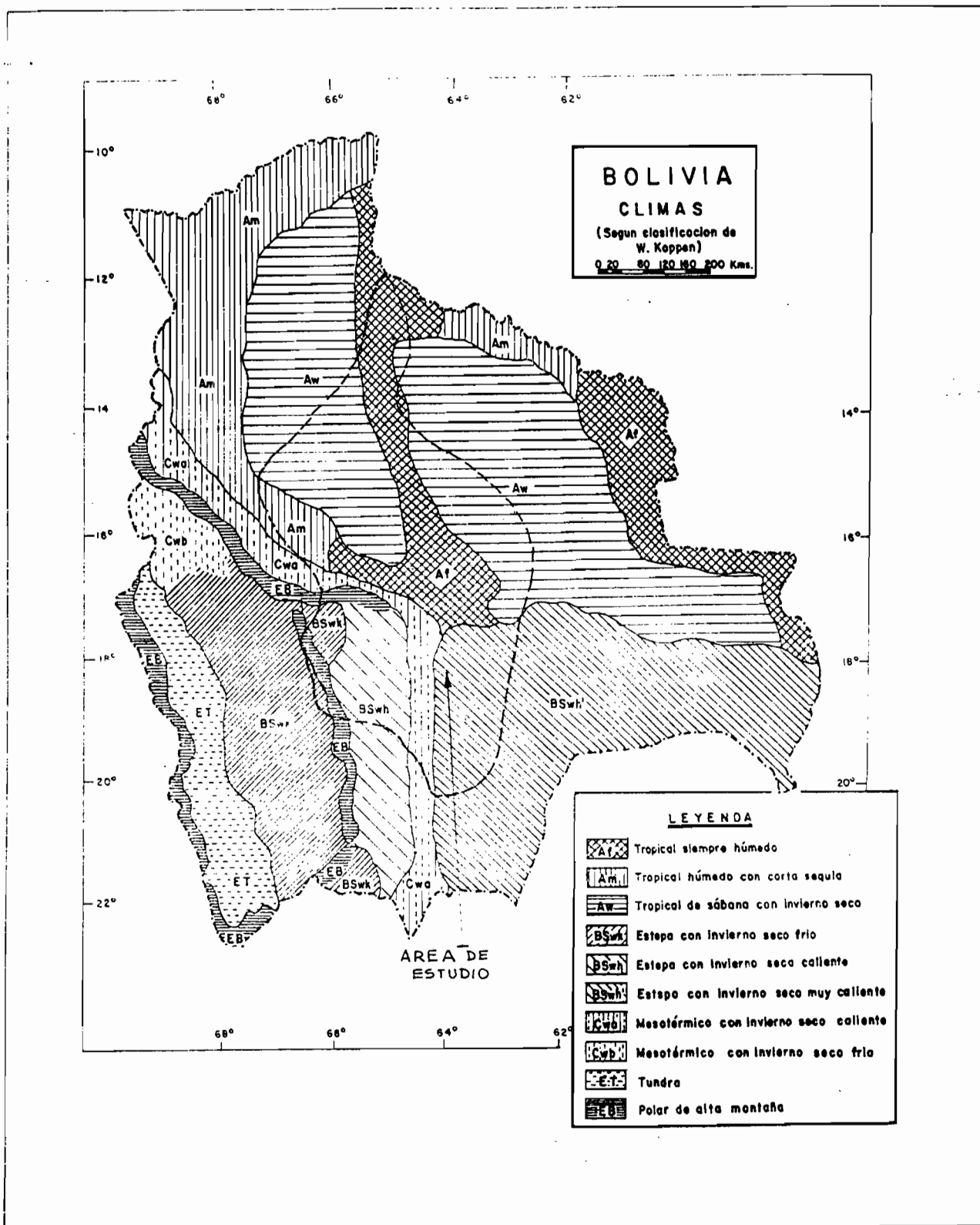


FIG. 1.2

I.2.1.1 CLASIFICACION DE LAS REGIONES CLIMATICAS SEGUN KOPPEN

Viendo la figura N° 1.2 tenemos lo siguiente:

- climas tropicales (A), clasificados como sigue:
clima tropical de bosque húmedo (Af) como la región del Chapare con precipitaciones de hasta 6000 mm al año.
clima tropical con invierno seco (Aw) que corresponde a las llanuras benianas.

- climas secos (B), clasificados como sigue:
clima de estepa (BSwh') como la parte central Sur de Santa Cruz, con Inviernos secos y muy calientes, pero cuando soplan los vientos del Sur la temperatura baja a menos de 2 °C. Variaciones de este clima de estepa se dan con Invierno seco caliente (BSwh) en las regiones más a brigadas de la zona subandina.

- climas templados (C), clasificados como sigue:
la zona subandina, tiene un clima templado con invierno y corresponde a la sigla (Cwa).

- climas fríos (E), correspondiente a las altas cumbres cubiertas con nieve y hielo la mayor parte del año, corresponde a la sigla (EF). (2)

1.2.2 PUNTOS DE INTERES SIGNIFICATIVO

En general toda la cuenca es importante por su ámbito geográfico, pero a continuación daremos aquellos puntos más importantes:

APAPO.- Situado a los 15° 53' de latitud y 63° 24' de longitud. Es importante por ser un punto de control de la parte alta de la subcuenca del río Grande, y además que aguas abajo empieza la llanura, y estar

dicho lugar en una cañada apropiada para la construcción de una presa, con la cual se generará energía eléctrica: se podrá contar con agua para riego de amplias zonas agrícolas; suministrar agua potable; tener un control de inundaciones aguas abajo de la presa: etc.

El estudio de la presa va fué realizado por el proyecto "Río Grande- Rositas, efectuado por varias instituciones.

LA REGION DEL CHAPARE.- Ubicada al Norte del departamento de Cochabamba: es importante por tener pendientes fuertes, por lo que se podría implementar microcentrales en cascada del tipo del valle de Zongo en La Paz. Además, por tener las más altas precipitaciones y clima tropical se podrían implementar zonas apropiadas para la agricultura en la zona llana de esta región.

LA SUFUCENCA DEL RIO PIRAY.- Situada en el departamento de Santa Cruz: es importante puesto que periódicamente se producen turbiones, y es necesario un estudio detallado con el fin de tener una regulación para evitar futuras inundaciones en la zona, ya que se debe proteger especialmente a la ciudad de Santa Cruz.

LA UNION DEL RIO GRANDE CON LOS RIOS ICHELO Y CHAPARE.- Es importante dicha zona, puesto que se tendría un control de estos tres ríos importantes en lo referente a la navegación fluvial, y un punto de control de crecidas, ya que aguas abajo está la ciudad de Trinidad, la cual sufre también de inundaciones. Además que se debe implementar una red básica de estaciones para en lo futuro contar con información para cualquier proyecto en esta zona y en el departamento del Beni.

NORTE DE POTOSI.- Es necesario hacer estudios, puesto que se debe dotar de agua a dicha zona, por la presencia de sequías en determinados períodos, y debido a que no es una zona con grandes precipitaciones, requiere una solución inmediata.

1.2.3 TOPOGRAFIA, EDAFOLOGIA, GEOLOGIA, COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA REGION

- TOPOGRAFIA

La cuenca del río Mamoré se caracteriza por tener 2 zonas bien definidas:

ZONA MONTAÑOSA.- Comprende las subcuencas del río Grande hasta Abapó, parte de la subcuenca Ichilo-Chapare y parte de la subcuenca Pirav-Yapacaní en el departamento de Santa Cruz: es decir la zona Sur-Oeste de la cuenca.

Comprende la cordillera de Cochabamba donde el pico más alto es el Tunari con 5035 m. Existen otros ramales conocidos como Cocapata, Mazo-Cruz, Totorá y Tiraque: todos en Cochabamba, y los del Chayanta y Azanaques en Potosí. Todas ellas con un promedio de altitud entre los 4500 a 2500 m. Siguiendo a estas cadenas montañosas, están las sierras subandinas que comprenden las siguientes serranías: Mosetenes al Norte del departamento de Cochabamba, Mataracú próxima a la ciudad de Santa Cruz, seguidas por las de Florida, Catariri, Corralones y Abapó. Su altura varía entre los 2000 a los 500 m, (ver figura Nº 1.4 Y 1.4.1).

Entre dichas cadenas montañosas y sierras, existen valles atravesados por los ríos, y en algunas zonas se hallan valles profundos o vungas como en la zona del Chapare.

ZONA DE LIANURA.- Comprende los departamentos de Santa Cruz; Norte de Cochabamba y el Beni.

Son zonas planas cuya altitud está entre los 500 a los 150 m, con pendientes muy suaves por lo que los ríos de dicha zona presentan meándros y en época húmeda se desbordan ocasionando inundaciones.

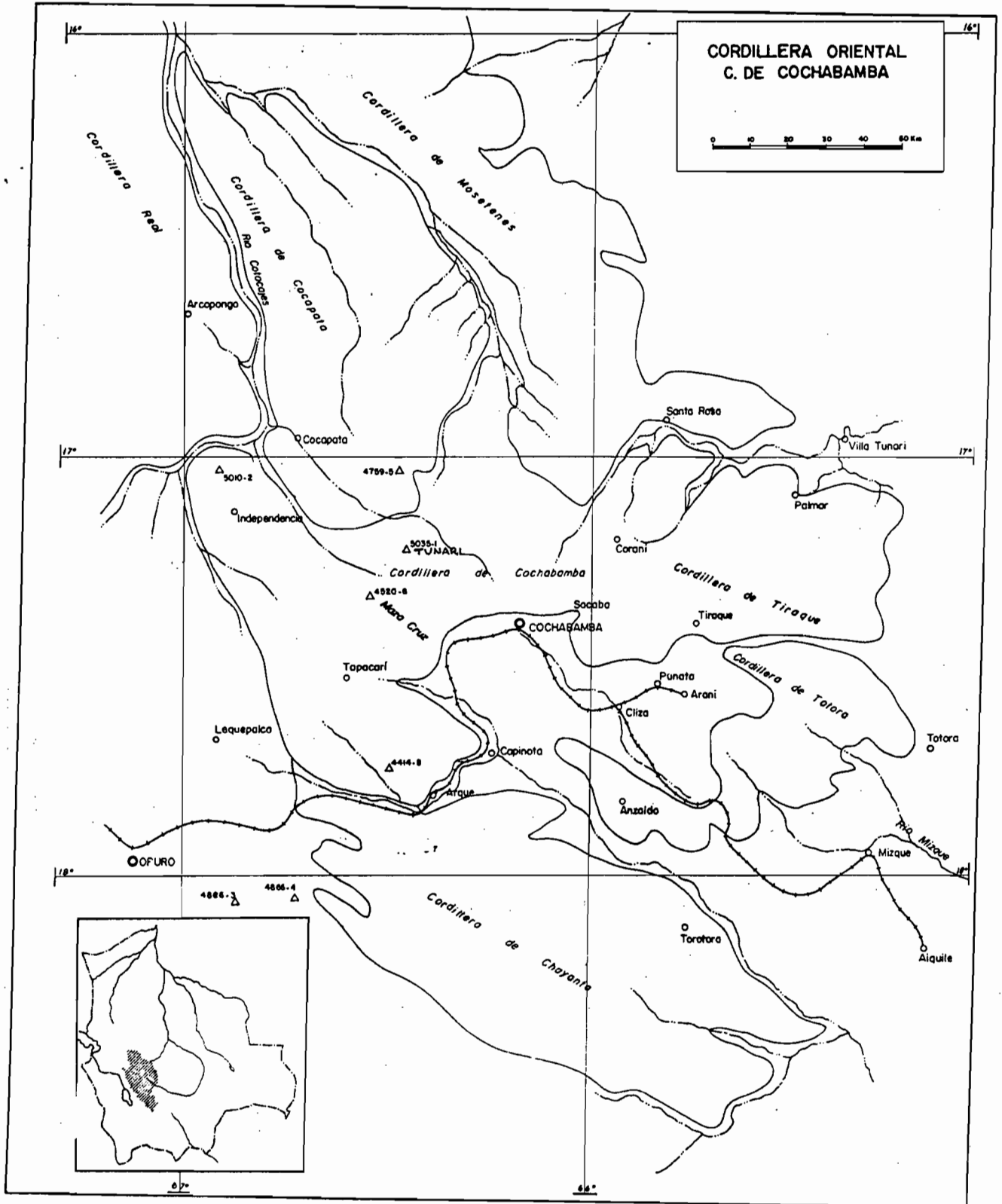


FIG. 1.4

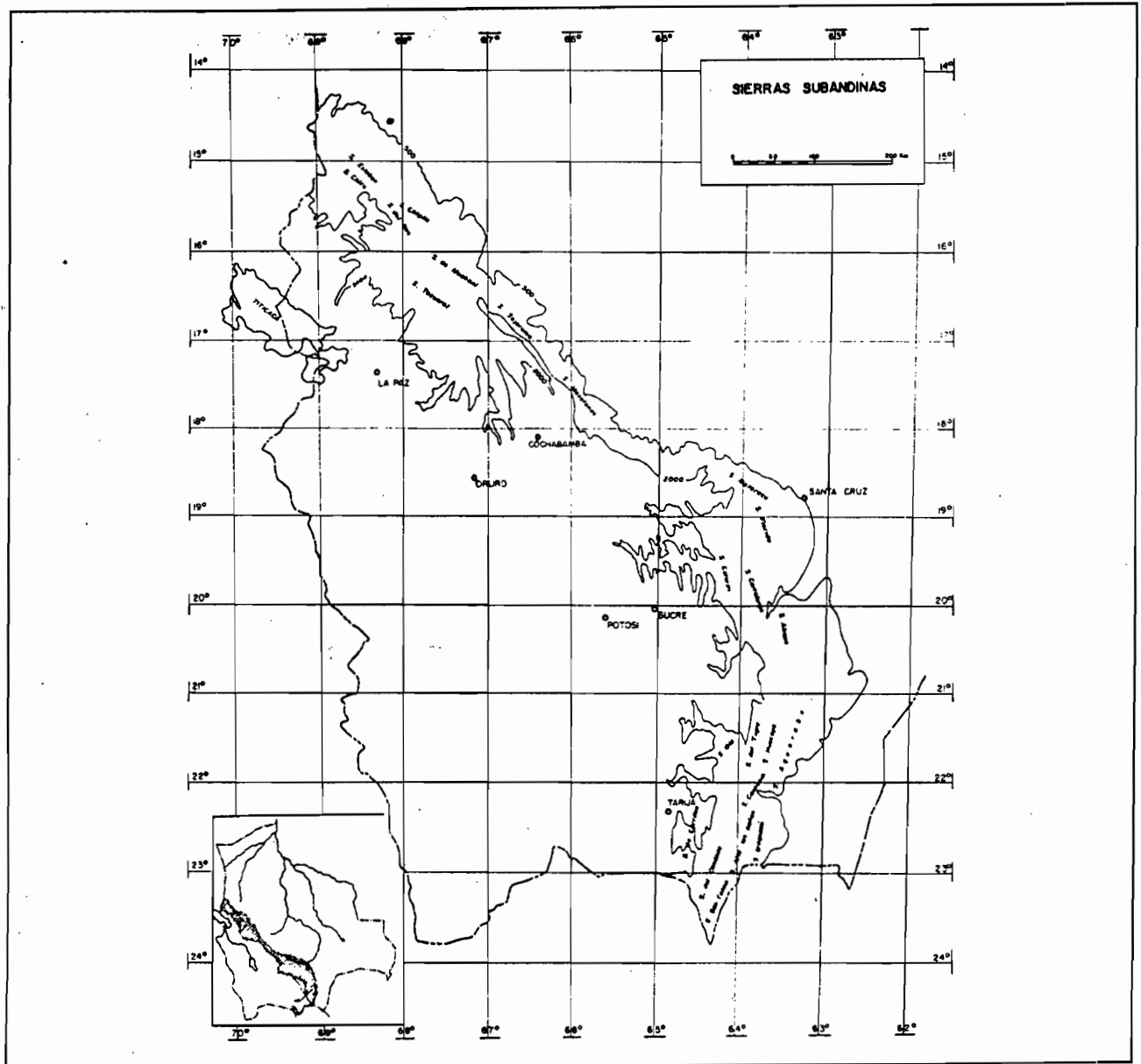


FIG. 1. 4.1

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Segun: Ing. Rodolfo Garcia Agreda B.
Ing. Rosa Viparelli de Zehender

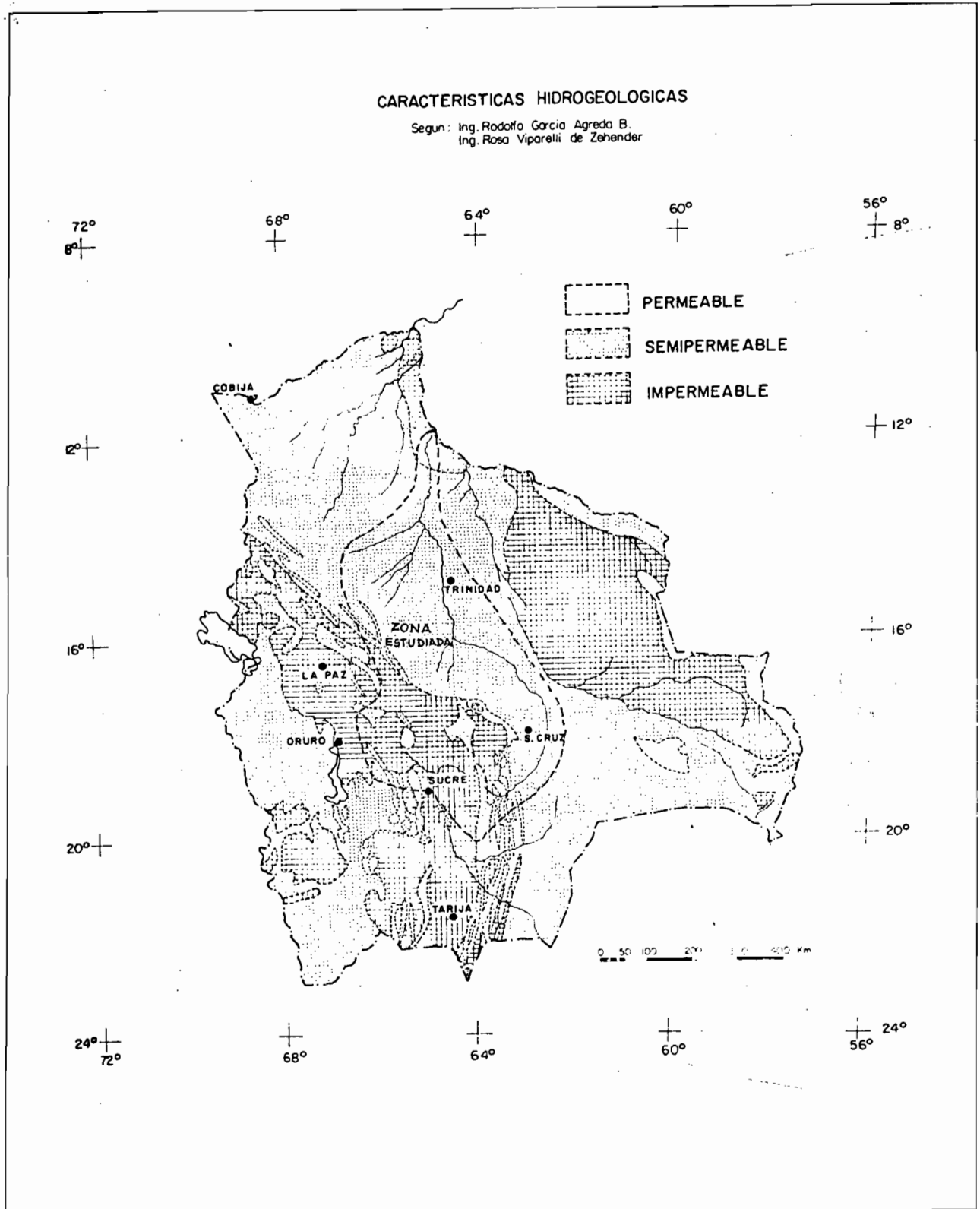


FIG. 1.5.

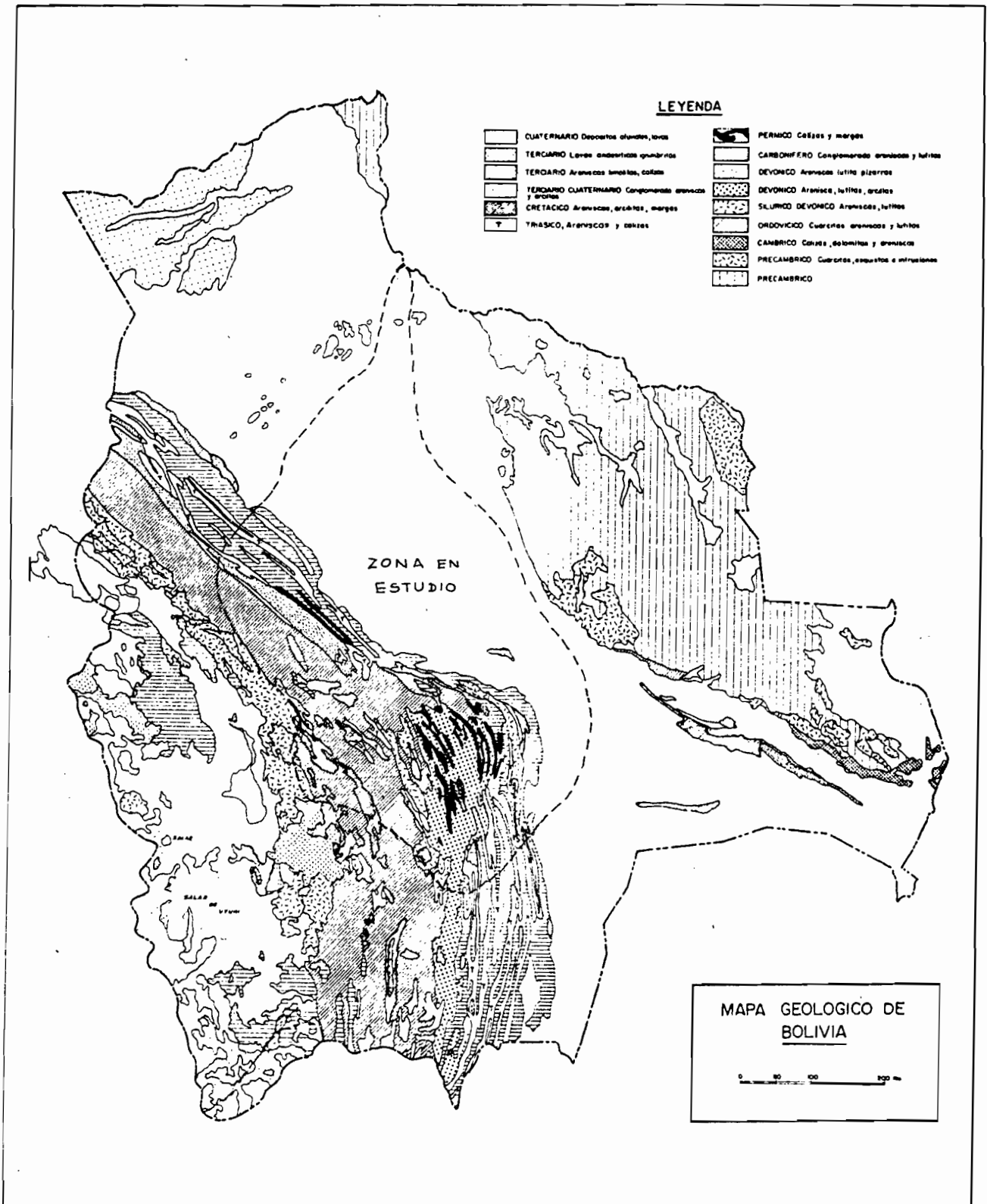


FIG. 1.6

- EDAFOLOGIA

Referido al tipo de suelo y distribución de la vegetación, los cuales permiten detectar su capacidad de infiltración, almacenamiento y tipo de cobertura vegetal, así como el uso del suelo en la región.

- GEOLOGIA

En nuestro estudio, es importante conocer la geología del lugar referido exclusivamente al tipo de estructuras hidrogeológicas, es decir a la capacidad de infiltración que se presenta en las diferentes regiones de la cuenca. Según la figura Nº 1.5, tenemos 3 tipos de terrenos de acuerdo a la capacidad de permitir el flujo de agua superficial hacia los acuíferos subterráneos; ellos son:

- i) los terrenos permeables constituidos por arena y grava sueltas
- ii) los terrenos semipermeables formados por arena, limo y arcilla poco consolidados como la llanura chaco-beniana
- iii) los terrenos impermeables constituidos por afloramientos de rocas macizas ya sean sedimentarias o ígneas como ser la cordillera oriental y el escudo brasileño.

Para tener una idea del tipo de rocas según la época de su formación, se da como referencia el mapa geológico de Bolivia, figura Nº 1.6. (2)

- COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO EN LA CUENCA

Según el mapa de cobertura vegetal y uso actual de la tierra, elaborado por el satélite Tecnológico de Recursos Naturales (figura Nº 1.7), proporciona información de la extensión y tipo de recursos naturales renovables, proporciona la ubicación espacial y extensión de pastos

y/o arbustos, bosques, tierras cultivadas, tierras húmedas y/o anegadas, eriales, nieve y hielo permanentes y rasgos culturales: esto, dentro de la clasificación de categorías que presenta el nivel I del mapa de la figura Nº 1.7 .

Para estudios con mayor detalle, se debe recurrir al mapa a escala 1:1.000.000 con su memoria respectiva.

Las tierras con bosques cubren el 51,4 % de la superficie de Bolivia, siendo una de las reservas más grandes con que cuenta el país, en recursos naturales renovables, (ver figura Nº 1.8).(2)

La cuenca del río Mamoré abarca gran parte de estas tierras con bosques y se puede decir que las áreas cultivadas, representan zonas mínimas en relación al total: del mismo modo los cuernos de agua y tierras húmedas, por lo que se concluye que la evapotranspiración real es el parámetro que predomina para superficies naturales y no así la evaporación.

1.2.4 DIVISION DE UNIDADES HIDROLÓGICAS

Teniendo en cuenta los puntos de control fluviométricos o posibles lugares donde posteriormente existirán dichos puntos, es que se efectuó la siguiente división de las subcuencas:

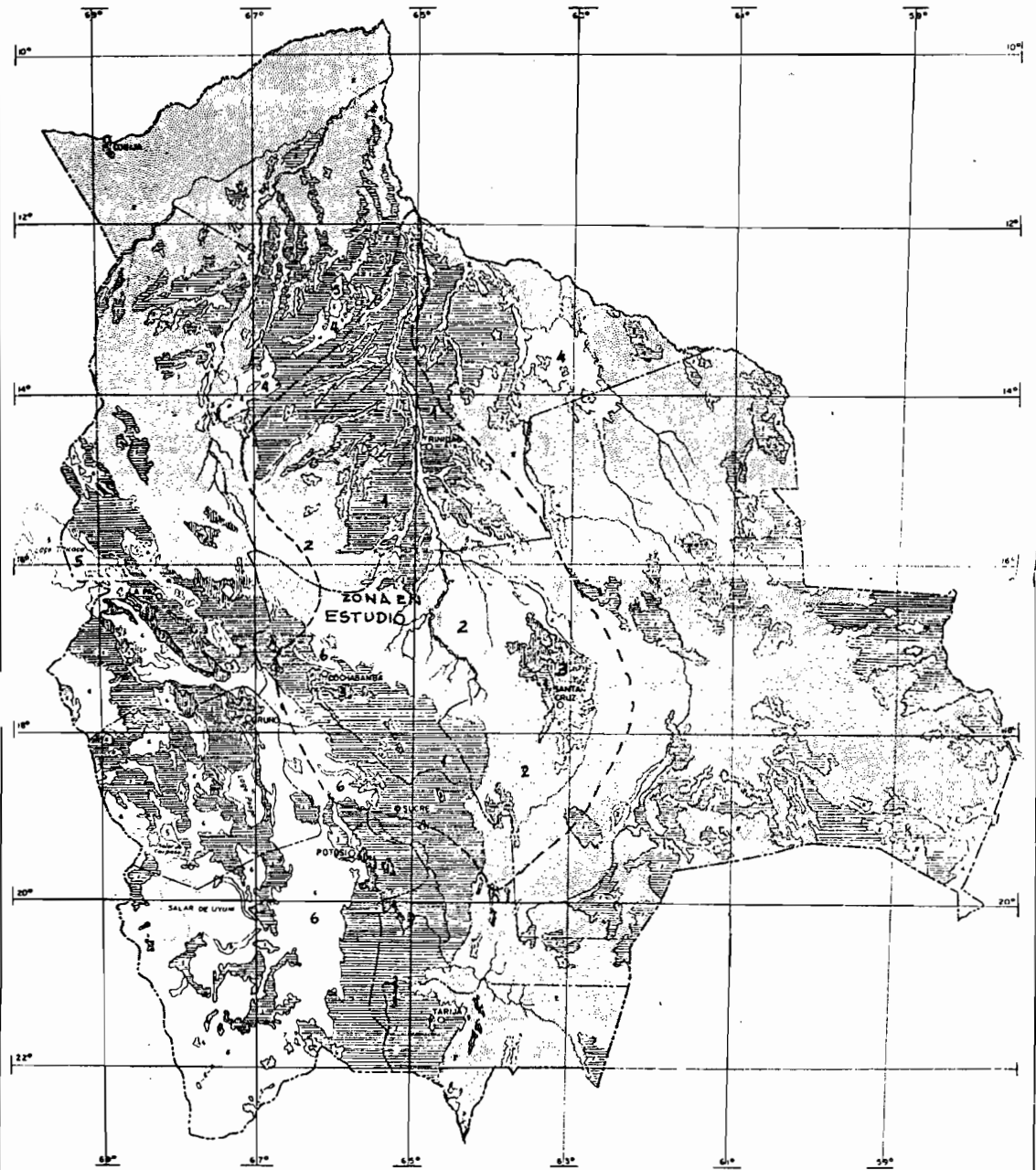
- 1) Subcuenca del río Caine ($A=10000 \text{ Km}^2$).
- 2) Subcuenca del río Chayanta ($A= 11350 \text{ Km}^2$).
- 3) Subcuenca del río Mizque ($A= 10400 \text{ Km}^2$).
- 4) Subcuenca del río Grande hasta Puerto Nava ($A= 9800 \text{ Km}^2$).
- 5) Subcuenca del río Grande hasta Abanó ($A= 17300 \text{ Km}^2$).

- 6) Subcuencas de los ríos Ichilo y Chanare ($A = 23,070 \text{ Km}^2$).
- 7) Subcuencas de los ríos Piray, Yapacaní y Grande (Santa Cruz) ($A = 46,660 \text{ Km}^2$).
- 8) Subcuenca del río Mamoré (Beni) ($A = 86,670 \text{ Km}^2$).

MAPA DE COBERTURA Y USO ACTUAL
DE LA TIERRA, BOLIVIA

(REPRODUCIDO CON AUTORIZACION DE GEOBOL)

100 80 0 100 200 Km



LEYENDA

- 1 Tierras con pastos y/o arbustos
- 2 Tierras con bosques
- 3 Tierras cultivadas
- 4 Tierras húmedas y/o anegadas
- 5 Cuerpos de aguas
- 6 Tierras eriales
- 7 Nieve ó hielo permanentes

FIG. 1.7

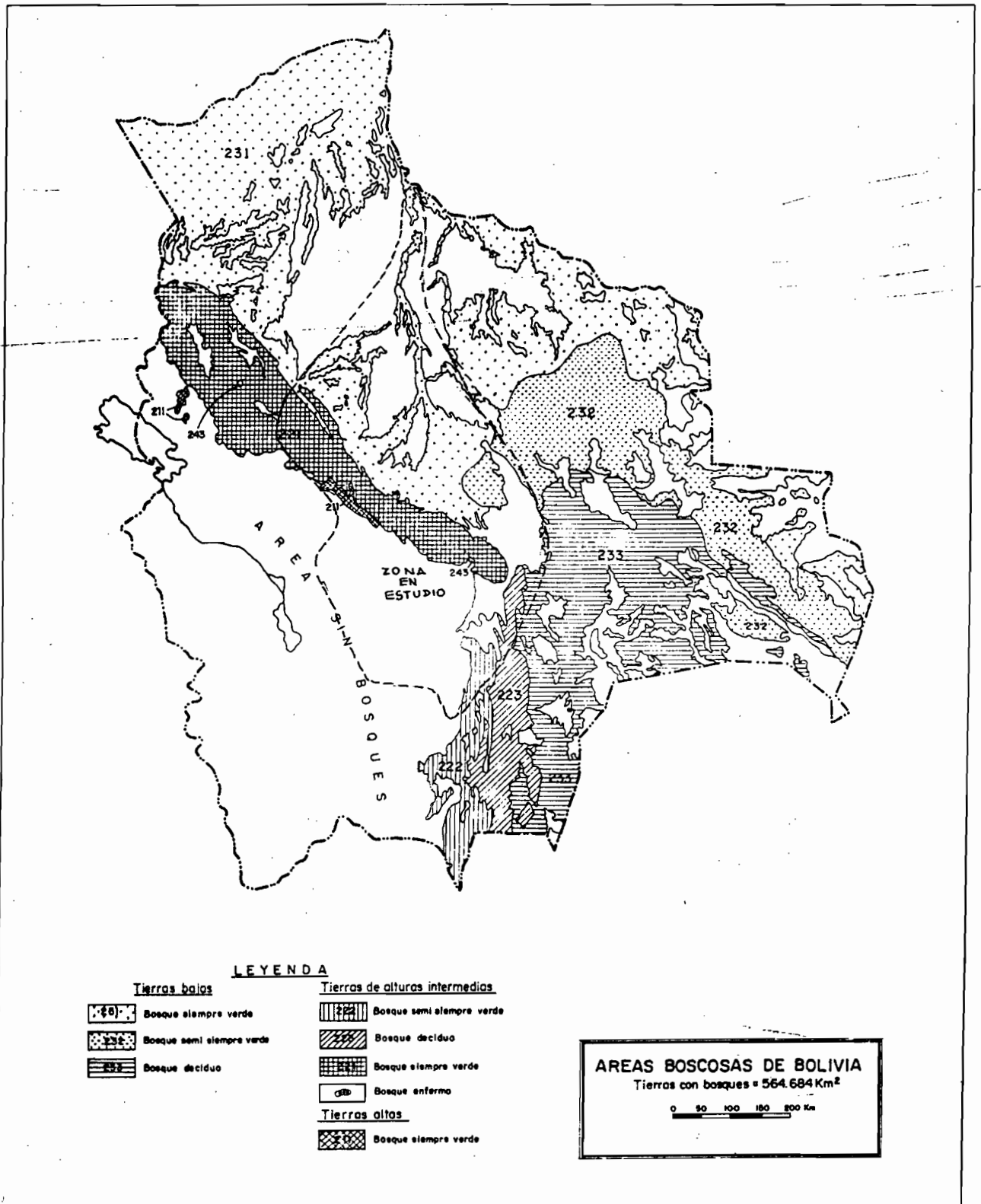


FIG. 1.8

C A P I T U L O 2

ESTUDIO DE LOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE HIDRICO.

2.1 PERIODO CONSIDERADO

El intervalo de tiempo considerado en la elaboración de un balance hídrico en una cuenca depende principalmente de la superficie y la topografía que tiene, los parámetros hidrológicos necesarios a considerarse para tipificar el fenómeno y la simultaneidad de la información existente en la red de estaciones asociada a la cuenca.

En el marco de recomendaciones de la "Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur"; el intervalo de tiempo a considerarse en el presente estudio es de 15 años, y abarca del año 1967 a 1981. Elección condicionada principalmente por la disponibilidad de información simultánea en la red de estaciones. (ver cuadros N° 2,2 , y diagramas de barras).

El período del tiempo considerado para el análisis de información es el año calendario, en razón de ser un balance hídrico medio, en el cual se considera despreciable el término variación de almacenamiento como también los errores que induce el nó considerar como período de análisis el año hidrológico, tales como la escorrentía de los primeros meses del año son generados por precipitaciones caídas el año anterior.

2.2. UBICACION DE LAS ESTACIONES POR PARAMETROS

2.2.1. CUADROS RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE PRECIPITACION

PAIS: BOLIVIA								
INVENTARIO DE ESTACIONES- PRECIPITACION								
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CODIGO ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO
1	Amazonica	Caire	PVM	Acasio	1601	6600	3020	69-61
2	"	"	TP	Angosto Molineros	1612	6530	1600	71-61
3	"	"	TP	Anzalco	1747	6530	3020	42-62, 60-61
4	"	"	TP	Arani	1734	6540	2000	57-61
5	"	"	TP	Capinota	1743	6614	2300	44-61
6	"	"	SP	Cochabamba (Aasana)	1723	6610	2540	43-63
7	"	"	PVM	Changolla	1700	6625	2543	45-61
8	"	"	PVM	Iturata	1600	6614	3020	69-63
9	"	"	PVM	La Angostura	1734	6602	2700	46-75
10	"	"	TP	La Vina	1700	6631	2620	60-61
11	"	"	TP	Raradas	1732	6625	2000	72-62
12	"	"	TP	Sacaba	1720	6610	2610	43-63
13	"	"	CU	San Benito	1730	6554	2715	60-61
14	"	"	TP	Tapacari	1731	6637	2900	70-61
15	"	"	TP	Tarata	1730	6602	2740	50-61
16	"	"	TP	Tiraque	1724	6644	3200	60-61
17	"	"	TP	Vinto	1720	6616	2520	70-61
18	Amazonica	Chayanta	PVM	Ayala	1652	6600	3470	67-62
19	"	"	PVM	Cacachaca	1647	6622	4100	40-74
20	"	"	CU	Colquechaca	1641	6600	4170	60-61
21	"	"	PVM	Cinrikasa	1614	6612	3000	61-60
22	"	"	PVM	Livicnuco	1655	6625	4100	67-74
23	"	"	PVM	Macha	1644	6557	3512	60-75
24	"	"	PVM	Pocoata	1642	6610	3300	67-77
25	"	"	CP	Sr. Pedro de B. Vista	1610	6555	2743	70-61
26	"	"	TP	Uncia	1620	6634	3000	67-61
27	Amazonica	Mizque	TP	Aiquile	1612	6510	2200	44-61
28	"	"	PVM	Chaguarani	1604	6525	2050	71-63
29	"	"	PVM	El Quine	1604	6422	2000	60-62
30	"	"	CU	Mizque	1700	6521	2620	57-61
31	"	"	PVM	Morroro	1623	6410	2140	70-62
32	"	"	CU	Pocoma	1740	6524	2050	50-61
33	"	"	TP	Pojo	1745	6445	2000	73-61
34	"	"	PVM	Pucara	1643	6411	2400	60-62
35	"	"	TP	Puente Taperas	1600	6442	1435	69-61
36	"	"	TP	Totora	1743	6505	2500	44-61
37	"	"	PVM	Villa Granado	1612	6502	2140	69-64
38	Amazonica	(Grande has	PVM	Chuqui-Chuqui	1649	6507	2500	63-60
39	"	Ta P. Navaj.	PVM	Presto	1650	6450	2400	60-60
40	"	"	CU	Puente Arca	1630	6505	1450	63-63
41	"	"	TP	Quiroga	1620	6513	1600	64-60
42	"	"	TP	Ravelo	1649	6530	3365	43-61
43	"	"	TP	Reconci6n Parpa	1649	6415	2437	42-55, 69-61
44	"	"	CP	Sucre	1503	6513	2903	40-61
45	"	"	TP	Talula	1507	6527	2700	63-61

PAIS: BOLIVIA			INVENTARIO DE ESTACIONES-PRECIPITACION					
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CODIGO ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO
46	Amazonica	(Grande Has	TP	Tarabuco	1913	0453	2304	47-55, 69-61
47	"	ta P. Nava)	TP	Yotala	1909	0515	2511	46-61
48	"	(grande has	TP	Zudñez	1907	0442	2475	46-59, 60-62
49	"	ta Abapo).	PVM	Alto Seco	1852	0404	1900	70-61
50	"	"	PVM	El Villar	1930	0422	2000	69-60
51	"	"	PVM	Itaguazurena	1947	0305	050	61-79
52	"	"	PVM	Masicuri	1855	0342	400	70-62
53	"	"	CP	Monteaguoo	1949	0300	2150	69-61
54	"	"	PVM	Nuevo Mundo	1859	0417	2220	70-60
55	"	"	CU	Padilla	1918	0418	2162	46-61
56	"	"	TP	Puerto Viejo	1855	0320	440	69-75
57	"	"	PVM	Río Azero	1930	0405	1030	70-75
58	"	"	PVM	Sopachuy	1930	0430	1950	60-60
59	"	"	TP	Tarvita	1950	0432	2246	69-61
60	Amazonica	(Chapare e	PVM	Colani	1720	0502	3300	61-64
61	"	Hichilo).	TP	Corani (represa)	1713	0502	3240	53-61
62	"	"	TP	Cristal Mayu	1715	0502	900	73-62
63	"	"	CU	Chipiriri	1650	0524	300	74-62
64	"	"	TP	Incachaca	1714	0545	2200	32-61
65	"	"	TP	Ivirizualto	1720	0514	1900	66-74, 76-61
66	"	"	TP	Ivingarzana	1665	0455	300	74-61
67	"	"	PVM	Lagunitas	1700	0537	2030	65-70
68	"	"	TP	Locotal	1710	0541	1000	67-75, 76-62
69	"	"	TP	Monte Punco	1735	0510	3411	66-74, 76-62
70	"	"	PVM	Palmar Pampa	1705	0529	1100	71-63
71	"	"	CU	Pto. Villamoel	1630	0443	175	74-60
72	"	"	PVM	San Mateo	1702	0524	440	73-63
73	"	"	TP	San Pedro	1710	0509	542	72-63
74	"	"	PVM	Siberia	1740	0330	2700	66-62
75	"	"	TP	Tocos Santos	1647	0510	325	46-62, 60-60 73-61
76	Amazonica	(Pirñi, Ya	PVM	Angostura	1610	0384	700	47-61
77	"	pacani y Gran	SU	A. de Guarayos	1642	0300	245	47-61
78	"	de. "	PVM	Cabezas	1645	0324	470	69-61
79	"	"	SU	Concepción	1607	0202	457	43-61
80	"	"	CU	Col. A. Gomez	1639	0301	309	69-61
81	"	"	TP	Col. ukimawa 1.	1713	0253	252	60-79
82	"	"	TP	Col. ukimawa 2	1725	0254	203	71-60
83	"	"	TP	Col. ukimawa 3	1732	0255	300	67-75
84	"	"	CP	Col. San Juan	1700	0304	350	67-61
85	"	"	PVM	El Patuju	1720	0319	292	59-79
86	"	"	CP	Gral. Saavedra	1714	0310	320	52-61
87	"	"	TP	Ingenio La Belgica	1733	0313	340	64-79
88	"	"	PVM	La Victoria	1730	0303	344	69-79
89	"	"	CP	Mairana	1600	0307	1300	47-61
90	"	"	TP	Puesto Fernández	1700	0414	230	70-61
91	"	"	PVM	Quirusillas	1620	0307	1300	66-62
92	"	"	PVM	Saraipata	1610	1302	1620	64-61

PAIS: BOLIVIA		INVENTARIO DE ESTACIONES-PRECIPITACION						
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CODIGO ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO
93	Amazonica	Piraf, Yacani y Grande	Cu	Santa Cruz (Aasana)	1745	0310	413	43-03
94	"	"	PVM	Santa Rosa (FLURIDA)	1753	0418	1500	00-02
95	"	"	TP	San Javier	1020	0230	710	49-01
96	"	"	Cu	San Julian	1044	0239	305	73-01
97	"	"	PVM	Taruná	1005	0323	400	72-01
98	"	"	PVM	Trigal	1000	0409	1500	07-01
99	"	"	Cu	Vallegrande	1020	0407	1500	43-01
100	Amazonica	Mamoré	SU	Guayaramerin	1001	0525	120	43-03
101	"	"	SU	Magdalena	1320	0409	141	42-01
102	"	"	SU	Riberalta	1101	0005	130	44-03
103	"	"	SU	San Borja	1452	0045	193	43-02
104	"	"	SU	San Ignacio de Moxos	1450	0530	100	40-01
105	"	"	TP	San Joaquin	1303	0449	140	43-03
106	"	"	SU	Santa Ana	1345	0535	144	43-03
107	"	"	SU	Trinidad	1451	0457	157	43-03

2.2.2 CUADROS RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE TEMPERATURA

PAIS: BOLIVIA		INVENTARIO DE ESTACIONES- TEMPERATURA						
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CODIGO ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO
1	Amazonica	Caine	TP	A. Molineros	0112	0530	1000	70-02
2	"	"	TP	Anani	1734	0540	2000	07-02
3	"	"	TP	Capinota	1743	0014	2300	00-02
4	"	"	TP	Clisa	1755	0500	2700	00-71
5	"	"	SP	Cochabamba (Aasana)	1723	0010	2040	43-02
6	"	"	TP	Secaba	1720	0010	2010	43-02
7	"	"	Cu	San Benito	1730	0504	2715	00-02
8	"	"	TP	Tapacari	1751	0537	2500	77-02
9	"	"	TP	Tarata	1730	0001	2740	00-02
10	"	"	TP	Tiraque	1724	0544	3200	00-02
11	"	"	TP	Vinto	1720	0010	2520	70-02
12	Amazonica	Chayanta	Cu	Colquechaca	1041	0000	4170	70-02
13	"	"	TP	Ravelo	1040	0531	3200	00-02
14	"	"	CP	San Pedro de B. Vista	1010	0509	2743	73-00
15	"	"	TP	Uncia	1020	0034	3000	73-02
16	Amazonica	mizque	TP	Aiquile	1012	0510	2200	00-02
17	"	"	Cu	mizque	1750	0521	2020	00-02
18	"	"	Cu	Pocoña	1740	0524	2000	00-02
19	Amazonica	(Grande Hasta TP		Redención Parpa	1049	0415	2437	42-04, 74-02
20	"	Puesto Nava)	CP	Sucre	1903	0513	2503	43-03
21	"	"	TP	Talula	1907	0527	2700	70-02
22	"	"	TP	Tarabuco	1913	0453	2304	43-02

PAIS: BOLIVIA			INVENTARIO DE ESTACIONES-TEMPERATURA					
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CWIGU ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	ALTITUD	LONGITUD	PERIODO DE REGISTRO
23	Amazonica	(Grande Has	TP	Yotala	1909	6515	2511	47-62
24	"	ta.P.Nava)	TP	Zugáñez	1907	6442	2475	72-79
25	Amazonica	(Grande Has	CP	Monteagudo	1949	6366	2156	69-62
26	"	ta Abapo)	TP	Muyuparipa	1952	6346	1117	43-55,75-62
27	"	"	Cu	Padilla	1916	6418	2162	66-61
28	"	"	TP	Puesto Nava	1646	6426	1653	76-62
29	"	"	TE	Tarvita	1956	6432	2246	76-62
30	Amazonica	(Ichilo y	TP	Candelaria	1716	6456	3366	76-62
31	"	Cnapare)	TP	Corani (represa)	1713	6502	3246	76-62
32	"	"	Cu	Chipiriri	1666	6524	366	74-62
33	"	"	TP	Iviruzu	1726	6514	1966	76-62
34	"	"	TP	Ivingarzana	1656	6456	366	74-62
35	"	"	Cu	Puerto Villarroel	1656	6443	173	76-66
36	"	"	TP	San Pedro	1716	6566	942	76-62
37	"	"	TP	Tocos Santos	1647	6516	329	55-61
38	"	"	"	Villa Tunari	1666	6522	437	76-62
39	Amazonica	(Grande, Ya	Su	A. de Guarayos	1642	6366	246	76-62
40	"	pacani y	Su	Concepción	1667	6262	457	43-62
41	"	Piraf)	CP	Col. San Juan	1766	6364	366	66-62
42	"	"	CP	Gral. Saavedra	1714	6316	346	55-61
43	"	"	CP	Mairana	1666	6367	1366	43-62
44	"	"	Cu	San Julian	1644	6239	366	73-62
45	"	"	Cu	Sta. Cruz (Aasena)	1745	6316	413	43-62
46	"	"	Cu	Vallegrande	1626	6467	1966	43-62
47	Amazonica	Maroné	Su	Magdalena	1326	6465	141	42-62
48	"	"	Su	San Borja	1452	6645	193	43-62
49	"	"	Su	San Ignacio de Moxos	1466	6536	166	49-62
50	"	"	TP	Sandoaquin	1365	6445	146	43-62
51	"	"	Su	Santa Ana	1345	6536	144	43-61
52	"	"	Su	Trinidad	1461	6467	157	43-62

2.2.3 CUADROS DE RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE FLUVIOMETRICA

PAIS: BOLIVIA			INVENTARIO DE ESTACIONES-FLUVIOMETRICAS					
Nº	CUENCA	SUBCUENCA	CWIGU ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO
1	Amazonica	Gaine	HP	A. Molineros	1612	6536	166	71-66
2	"	Chayanta	HP	Huayrapata	1625	6622	166	72-74
3	"	Grande	HP	Puente Arce	1636	6565	1456	64-65,66-62
4	"	Mizque	HP	Puente Taperas	1665	6442	1459	63-65,69-66
5	"	Mizque	HP	Puesto Nava	1646	6426	1653	74-75
6	"	Grande	HP	Puesto Nava	1646	6426	1653	71-75
7	"	Grande	HP	Abapó	1661	6526	366	71-61

2.3 PRECIPITACION

2.3.1 DEFINICION

Se denomina precipitación al agua que proviene de la humedad atmosférica y cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve o granizo).

La exactitud de su medición y su evaluación es determinante en el resultado de un balance hídrico. Ya que se puede considerar como el parámetro más importante que interviene en él.

2.3.2 EVALUACION DE LA PRECIPITACION

La evaluación de la precipitación, está afectada principalmente por el carácter puntual de las mediciones que se realizan en los instrumentos que constituyen la red pluviométrica. Además de ello, su precisión depende de la densidad de la red, calidad de los instrumentos, instalaciones y observadores; siendo estos los principales factores de error.

El proceso de evaluación está orientado a realizar:

- análisis de consistencia y ajuste de las estadísticas
- relleno y ampliación de los registros
- evaluación de la precipitación espacial

2.3.3 ANALISIS DE CONSISTENCIA Y AJUSTE DE LAS ESTADISTICAS

Consiste en realizar una verificación de la estadística pluviométrica que se vá a utilizar en el sentido de que la estación haya sido observada bajo un criterio homogéneo durante el tiempo que considera el balance y que su instalación no haya sufrido variaciones de ningún tipo.

A este fin se realiza un test, basado en el método de las curvas doble acumuladas (CDA).

El procedimiento consiste en calcular el promedio de las

Nota.- En el estudio se tomó este cuadro como base, pero es necesario complementarlo para que tenga mayor confiabilidad, como se verá más adelante.

- d) En un gráfico se lleva en el eje de abscisas los valores de PPA y en el de ordenadas los de P_i de la estación X
- e) Si los puntos presentan una sola tendencia, o sea se puede trazar por ellos una recta sin quiebres, quiere decir que la estadística de la estación X es consistente.
- f) Si los puntos presentan varios quiebres, quiere decir que la estadística no es consistente y se elimina del PPA.
- g) Con las estadísticas seleccionadas se calcula un nuevo PPA y se repite el proceso a partir de b).
- h) Si una estadística presenta varias tendencias, o sea, tiene varios quiebres, en general se supone que el último período es el mejor observado, ya que la técnica de observación y los instrumentos deben mejorar con el tiempo, o bien que representa la tendencia actual y futura, por lo tanto es la válida, caso de la fig. 2.1. Sin embargo deberá analizarse cada caso por separado, pues ocurre que en algunas estaciones el último período no es representativo por descalibración del instrumento o problemas de observación.
- i) Las precipitaciones que tienen diferente pendiente que la del último período, se ajustan multiplicándolas por el factor:

$$\beta_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_i}$$

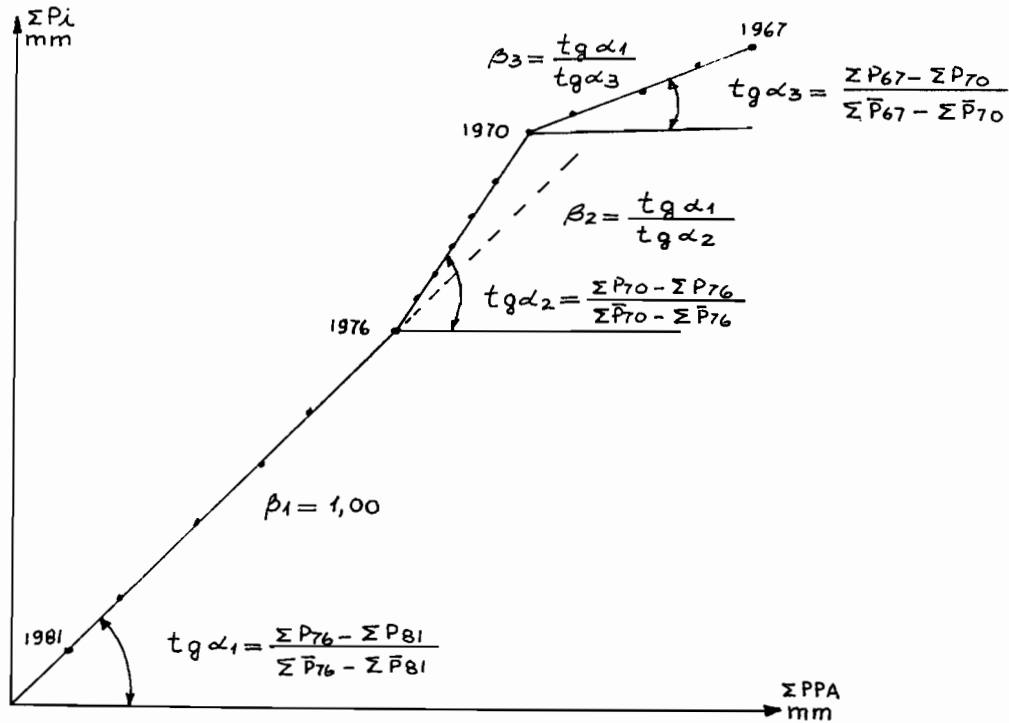


FIG. 2.1 Curva doble acumulada

Para la verificación de la consistencia de las estadísticas pluviométricas de una región meteorológicamente homogénea, se compara cada una de ellas, por el método de las CDA con el PPA, ajustándose aquellas que no sean consistentes.

Al aplicar este método, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- cuando a una estadística larga le falten algunos valores intermedios, con el fin de no desecharla y aplicarle este método, se sugiere rellenarla de acuerdo al punto 2.3.4
- el cambio de pendiente debe estar bien definido y determinado, al menos, por un período de 5 años consecutivos, ya que generalmente los puntos presentan suaves ondulaciones respecto de la tendencia media, debido a las dispersiones lógicas que se producen en este tipo de observaciones.
- en zonas montañosas este método puede usarse con cautela, por la gran influencia que ejerce el efecto orográfico, basándose en investigaciones previas.

2.3.4 AMPLIACION Y RELLENO DE ESTADISTICAS PLUVIOMETRICAS

Es esencial que en el balance hídrico intervengan el máximo número de registros pluviométricos, por lo cual es necesario establecer métodos que permitan estimar precipitaciones anuales del período 67-81, de aquellas estaciones que tienen incompleta su estadística.

El método utilizado es el de correlación lineal para estimar valores anuales, entre las precipitaciones anuales de la estación X en estudio y las del PPA o bien de una estación pluviométrica cercana que cuente con una estadística consistente y bien observada; que puede usarse como estación base.

Para efectuar rellenos de estadísticas, ó sea estimar valores a nivel mensual o diario, se pueden utilizar, además de la correlación lineal, los criterios siguientes:

- i) Si en una zona plana se presenta la situación de la figura 2.2 en la que las estadísticas de las estaciones A y B están completas y la estación X está incompleta, en este caso tenemos:

$$P_X = P_A + \frac{P_B - P_A}{a+b} a$$

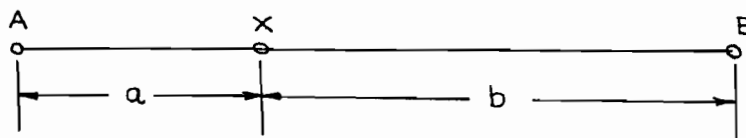


FIG. 2.2.

- ii) Si los valores de precipitación entre las estaciones índices y la que vá a completarse difieren en no más de 10 % hasta con una media aritmética:

$$P_X = \frac{1}{3}(P_A + P_B + P_C)$$

en general:

$$P_X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

- iii) Si el caso anterior se presenta en una zona montañosa las precipitaciones en A, B, C diferirán en más de un 10 % por lo cual la precipitación en X se obtendrá dándole diferente peso a cada estación. Para ello se aplicará la ecuación:

$$P_X = \frac{\bar{P}_X}{3} \left(\frac{P_A}{\bar{P}_A} + \frac{P_B}{\bar{P}_B} + \frac{P_C}{\bar{P}_C} \right)$$

siendo:

$\bar{P}_A, \bar{P}_B, \bar{P}_C, \bar{P}_X$ = Medias de precipitaciones anuales registradas en A, B, C y X de un período común
 P_A, P_B, P_C = Precipitación en A, B, C durante el período que falta en X

Una formula reducida de la anterior, muy usada es:

$$P_X = P_A \frac{\bar{P}_X}{\bar{P}_A}$$

- iv) Otro método es el de utilizar las correlaciones con estaciones vecinas, ponderando las precipitaciones de acuerdo al coeficiente de correlación. La ecuación es:

$$P_X = \frac{P_{XA} r_{XA} + P_{XB} r_{XB} + P_{XC} r_{XC}}{r_{XA} + r_{XB} + r_{XC}}$$

siendo:

P_X = valor estimado en X

P_{XA} , P_{XB} , P_{XC} = valores estimados en X a partir de las correlaciones con A, P y C

r_{XA} , r_{XP} , r_{XC} = coeficientes de correlación

2.3.5 EVALUACION DE LA PRECIPITACION ESPACIAL

Para evaluar la precipitación espacial se utilizaron, los métodos del promedio aritmético e isoyetas.

El promedio aritmético se usó solamente para poder verificar si los resultados generados a partir de las isoyetas, están dentro del margen de los resultados del promedio aritmético.

El método de las isoyetas presenta las siguientes ventajas:

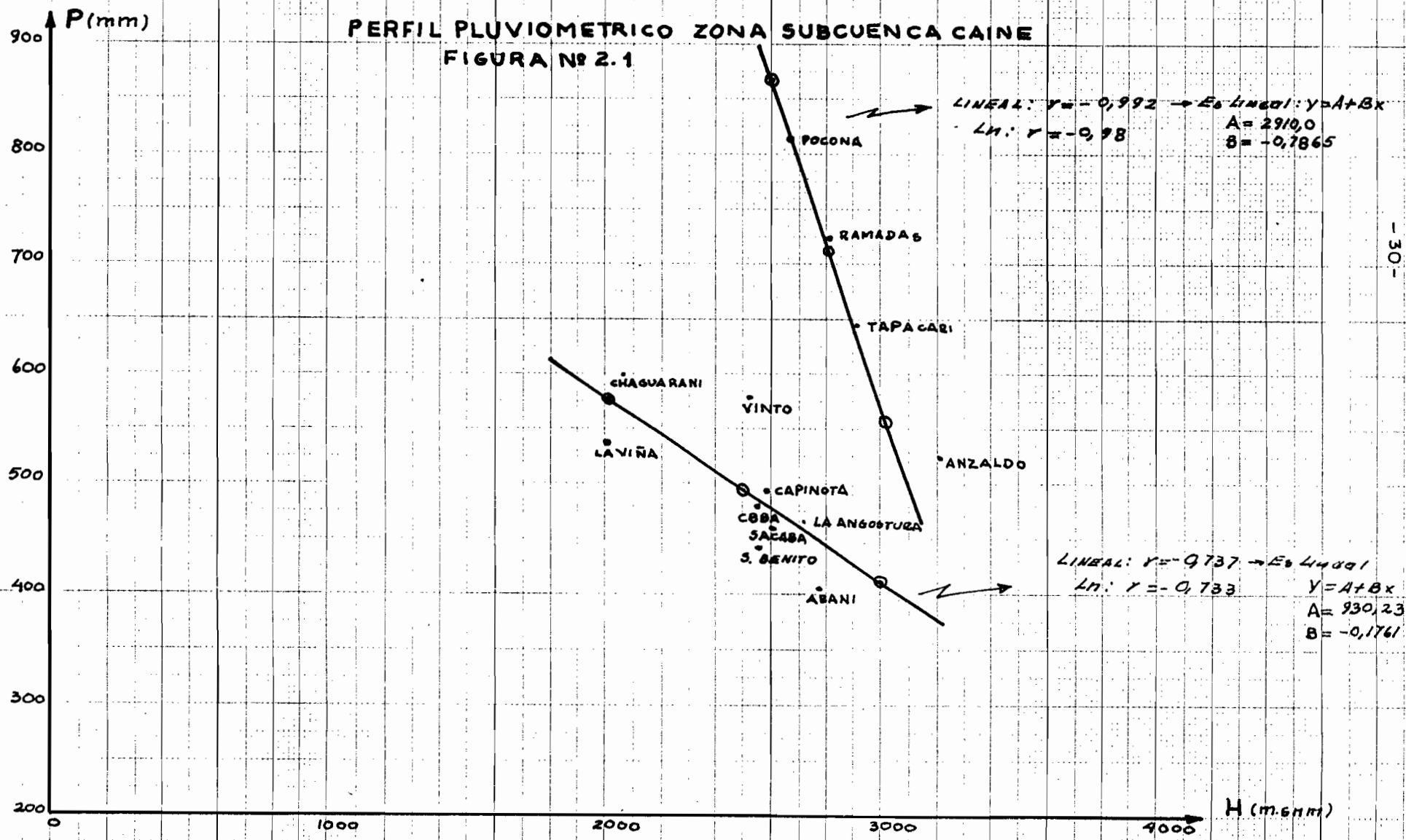
- permite estimar la variación paulatina de la precipitación en el espacio, aún en zonas montañosas
- facilita el trazado del mapa de evapotranspiración real (ETR) apoyándose en el de isotermas
- permite evaluar la precipitación caída en una cuenca y compararla con la escorrentía registrada a su salida

El trazado de isoyetas se efectuó con ayuda de un mapa de curvas de nivel.

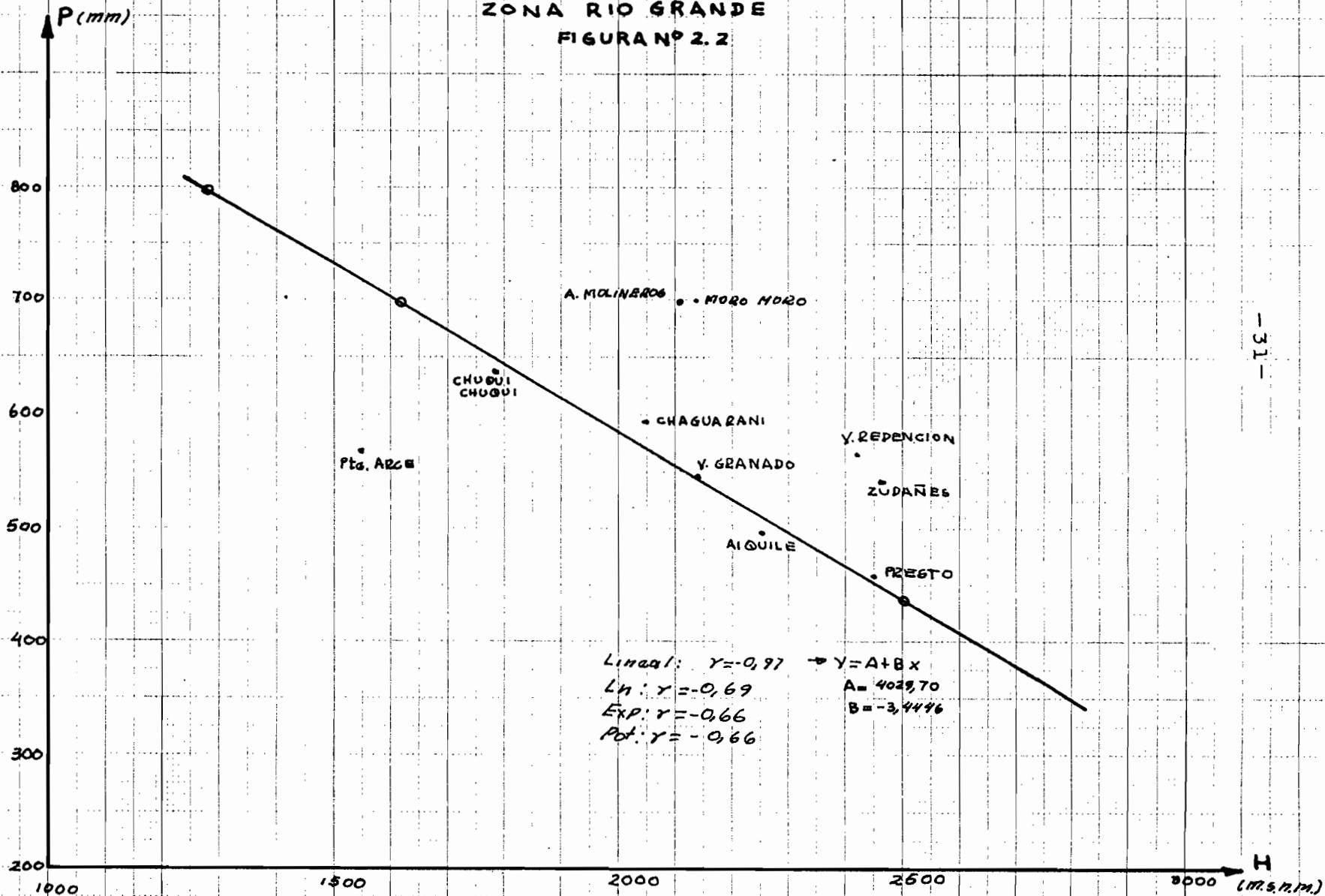
Cuando la zona es relativamente plana se supone que la precipitación varía linealmente entre dos estaciones contiguas.

Cuando la zona es montañosa y se debe extrapolar la precipitación hacia alturas en las cuales no hay control pluviométrico, es necesario calcular el perfil pluviométrico de la zona montañosa, o sea la función gráfica $P = f(H)$, siendo H la altitud. (ver figuras N^o 2.1; 2.2; 2.3; y 2.4).

PERFIL PLUVIOMETRICO ZONA SUBCUENCA CAINE
 FIGURA Nº 2.1

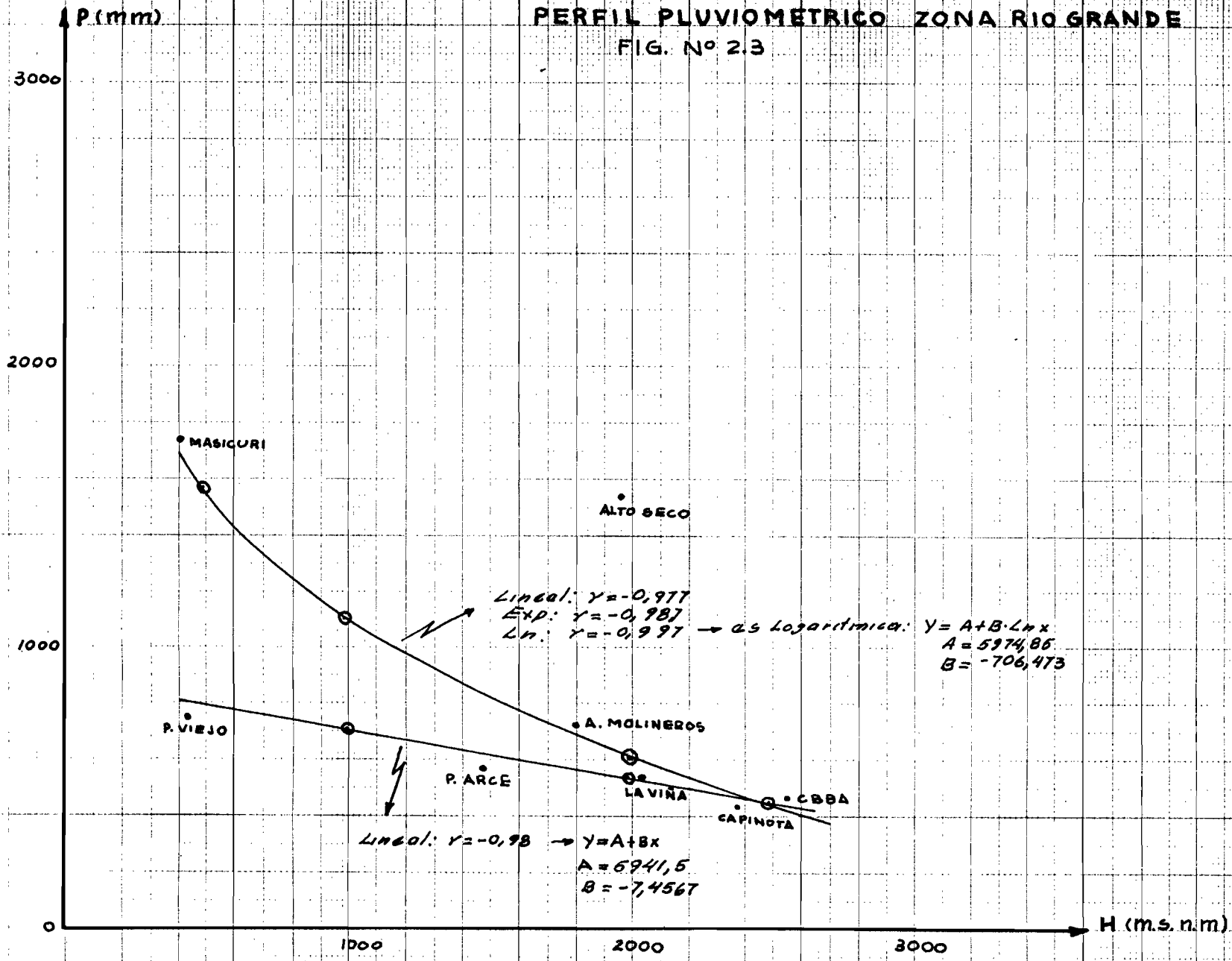


PERFIL PLUVIOMETRICO
ZONA RIO GRANDE
FIGURA Nº 2.2

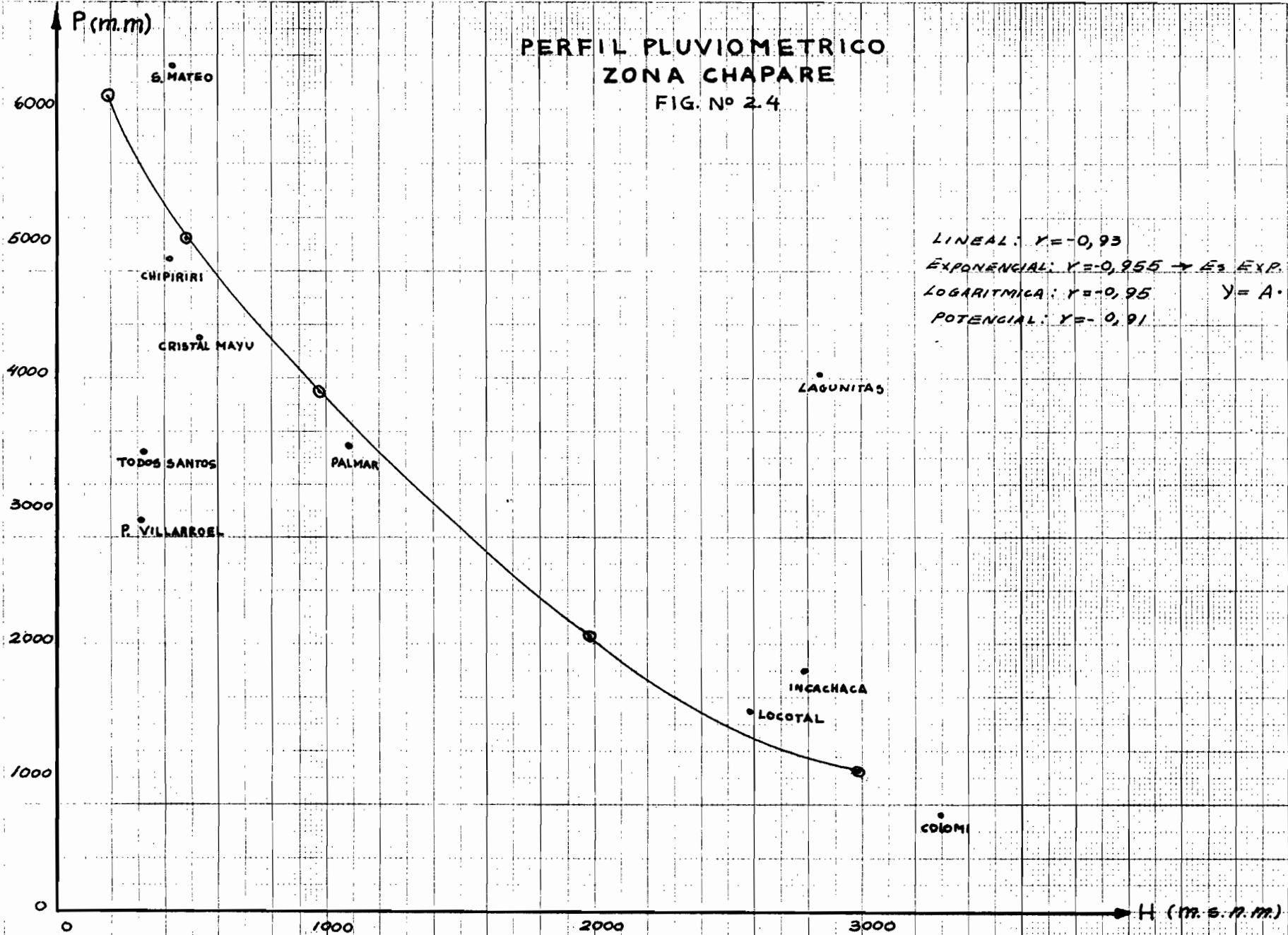


PERFIL PLUVIOMETRICO ZONA RIO GRANDE

FIG. Nº 2.3



PERFIL PLUVIOMETRICO ZONA CHAPARE FIG. Nº 2.4



2.3.5.1 TRAZADO DE ISOYETAS

Concluida la verificación de la consistencia, y ampliación de las estadísticas, se procede al trazado de isovetas en un plano a escala 1:1.000.000.

La gradación de las isovetas están de acuerdo a la siguiente escala: 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 4000, 4800, 5600, 6400, 8000 milímetros.

El cálculo de la precipitación media de la cuenca se efectúa con la siguiente ecuación:

$$\langle \bar{P}_C \rangle = \frac{\left(\frac{\bar{P}_m + \bar{P}_1}{2}\right)A_1 + \sum_1^{n-1} \left(\frac{\bar{P}_i + \bar{P}_{(i+1)}}{2}\right)A_{(i+1)} + \left(\frac{\bar{P}_n + \bar{P}_M}{2}\right)A_{(n+1)}}{AC}$$

donde:

\bar{P}_C = precipitación media de la cuenca

\bar{P}_m = precipitación mínima

\bar{P}_i = valor de la isoyeta i

\bar{P}_M = precipitación máxima

A_i = área de la superficie comprendida entre las isovetas

AC = área de la superficie de la cuenca, siendo:

$$AC = \sum A_i$$

2.3.6 PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

En el presente acápite se darán los procedimientos, métodos empleados y cuadros resumen de cada subcuenca componente de la cuenca del río Mamoré.

2.3.6.1 SUCUENCA DEL RIO CAINE

Usando las técnicas anteriores, se procedió al cálculo del PPA, conformado por las siguientes estaciones: Cochabamba (AASA NA), Capinota y La Angostura.

Con el PPA se amplió aquellas estaciones en las que existía buena correlación lineal; en las otras se empleó la técnica de ampliación, estación con estación; previo relleno mensual y posterior verificación de consistencia por el método del GDA.

Las estaciones de ferrocarril (Aguas Calientes, Cona Cona, Parotani), no se consideraron por no disponerse de sus registros originales.

En la estación Anzaldo se amplió el año 81 mediante el promedio anual en sí misma de los años 67-80, puesto que no existía buena correlación con ninguna otra estación.

Se logró 17 estaciones verificadas con 15 años de registro dentro de la subcuenca; el resumen de dichas estaciones está en la tabla siguiente:

TABLA 2.1: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO CAINE

CBBA.	LA	SAN	TIRAQUE	TARATA	RAMADAS	VINTO	TAPALCAR.		
AÑO AASANA (1)	SACABA	ANGOSTURA (1)	BENITO						
81	498,2	618,3*	459,3	637,6	1117,9	919,6	510,3	839,0	
80	308,5	300,8*	350,2	383,7	722,6	495,4	356,5	575,3	
79	666,8	906,8	581,6	587,0	1416,2	799,6	798,1	712,7	
78	626,9	726,5	547,0	554,3	952,4	939,0	815,4	674,8	
77	454,4	410,1	416,5	468,3	839,4	762,1	497,1	755,0	
76	474,6	432,0	415,4	339,7	532,4	750,0	569,4	658,4*	
75	454,7	416,9	406,3	377,3	862,1	777,5	598,7	673,4*	
74	477,5	461,5	740,7	489,3	695,6	768,7	666,9	668,6*	
73	384,8	309,6	454,5	327,9	495,4	570,5	547,9*	601,4	
72	486,4	475,3	491,6	426,7	431,0	669,5	610,2*	558,8	
71	393,6	396,4	464,3	375,7	503,0	659,1*	538,2	634,3	
70	494,0	337,3	353,4	347,6	825,0	648,3*	531,7	416,7	
69	414,0	322,5	384,0	526,3	718,0	673,8*	529,3*	616,1*	
68	591,0	430,5	480,5	455,0	1020,0	773,8*	630,9*	671,4*	
67	415,2	375,5	291,5	269,6	417,4	616,8*	472,6*	585,3*	
P	476,0	458,9	463,1	448,7	529,8	769,9	721,5	578,2	642,8

AÑO	CAPINOTA (1)	ANZALDO	ARANI	CHANGOLLA	LA VIÑA	ANGOSTO MOLINEROS	ITURATA	ACASIO
81	605,7	511,7*	460,8	894,6*	289,8	993,2	2441,7	362,8
80	316,7	385,5	268,6	593,9	339,0	444,9	842,0	498,5
79	550,6	804,7	547,5	1542,9	645,5	880,0	1504,4	1044,2
78	590,0	636,1	487,6*	982,3	693,1	972,7	917,7	1080,7
77	433,3	527,7	486,4	946,5	582,1	667,1*	1204,7	940,1*
76	415,4	359,8	365,5	502,2	583,7	699,5*	847,3	1021,0
75	392,0	432,4	391,9	544,9	404,0	665,2*	1205,3	866,5
74	624,8	419,2	416,1	1137,2*	630,5	904,5	1123,1	1112,0
73	474,9	363,1	338,8	684,3	517,1	455,1	935,1	812,8
72	518,3	481,6	334,8	872,9	474,9	647,2	1073,4	841,1
71	360,9	662,5	341,9	680,1	553,9	671,1	810,8	690,9
70	339,7	572,8	411,8	886,5	501,5	656,5*	684,3	715,7
69	462,0	495,7	350,0	472,8	566,0	587,6*	544,2	679,7
68	485,5	645,0	560,0	765,3	717,2	757,1*	942,0*	844,3*
67	387,7	503,5	296,0	617,3*	539,3*	614,9*	855,3*	812,7*
P	463,8	520,1	403,8	808,2	534,5	708,2	1062,1	888,2

* valores generados con regresión lineal

(1) componentes del PPA.

Con los valores de precipitación media encontrados, se procedió al trazado de isoyetas, obteniéndose la siguiente tabla, (previa obtención de las áreas parciales con planímetro):

TABLA 2.2 : SUBCUENCA RIO CAINE

No. DE ISOYETA	PRECIPITACION DE LA ISOYETA (mm)	P ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km2)	VOLUMEN PREC. ENTRE ISOYETAS (Km2.mm)
MINIMA	500	500	1.300	650.000
1	600	550	3.500	1.925.000
2	700	650	2.910	1.891.500
3	800	750	1.740	1.305.000
4	1.000	900	1.300	1.170.000
5	1.000	1.000	140	140.000
MAXIMA	1.200	1.100	100	110.000
			10.990	7.191.500

Precipitación media subcuenca río Caine:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{V_T}{A_T} = \frac{7.191.500}{10.990} = 654,4 \text{ mm}$$

2.3.6.2 SUBCUENCA DEL RIO CHAYANTA

No se usó el PPA, por no existir estaciones con registro de 15 años completos, por lo que se usó el procedimiento de elegir estaciones base. A este fin se rellenó dichos registros a 13; completándose la serie a 15 años mediante promedio anual estacional de estaciones base con su propio registro anual, generándose así los dos años faltantes.

Con estas estaciones base se amplió las demás estadísticas por regresión lineal y verificando su consistencia con las CDA.

Se desecharon las estaciones de Ocurí y Chuqinta por tener estadísticas cortas y coeficientes de correlación bajos.

Se obtuvieron 9 estaciones en la subcuenca y se tomaron estaciones de apoyo de la cuenca endorreica del lago Poopó, adya-

cente a la del río Mamoré, ellas son: Oruro, Tacagua y Tolapalca.

La tabla resumen de estaciones es la siguiente:

TABLA 2.3: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO CHAYANTA

AÑO	AYOMA	MACHA	POCOATA	SN. PEDRO					
				COLQUE CACHA	DE BUENA VISTA	CHIRUKA- SA	UNCIA	LIVICHUCO	CACACHACA
81	487,2	399,0*	584,5 *	676,0	738,7	664,2*	700,3	600,9 *	474,3 *
80	341,2	307,0*	453,7 *	486,5*	651,0	460,7	948,7	193,0 *	313,9 *
79	582,4	364,2*	535,0 *	604,3	858,8	897,3	535,7	817,2 *	558,3 *
78	476,2	451,3*	658,8 *	783,7	854,7	774,6 *	652,1	569,9 *	461,6 *
77	450,9	297,8*	440,6 *	467,4	886,8	805,2 *	549,8*	780,9 *	544,6 *
76	428,2*	356,1*	523,5	495,3*	922,9	839,5	573,5*	531,6 *	447,4 *
75	393,0*	469,2*	684,3	699,4*	1206,9	1076,1	633,0	625,9 *	484,0 *
74	435,1	605,1	879,5	733,2*	1282,0	1161,3	989,8	900,3 *	535,5
73	590,1	500,5	542,5	617,3*	938,0	973,8	666,3	730,5	505,4
72	438,2	310,0	473,3	573,1*	883,5 *	802,0	696,2	494,3	589,7
71	475,7	272,1	505,8	650,4	1078,9	923,0	487,3	367,1	469,8
70	639,3	295,4	377,4	629,3*	783,2 *	706,6	681,7	459,5	338,1
69	381,3	213,8	493,6	478,2	737,3*	662,9	578,5	269,9	249,9
68	512,1	371,5	504,6	782,8*	950,5	871,6	683,3	825,6	515,2
67	391,9	208,6	308,8	301,1	874,2	788,2	656,1	518,1	417,8
P	468,2	368,1	531,1	598,5	909,8	827,1	668,2	579,0	463,0

* valores generados con regresión lineal

Del mismo modo, se trazó las isoyetas con los valores de precipitación media, generando la siguiente tabla:

TABLA 2.4: SUBCUENCA RIO CHAYANTA

No. DE ISOYETA	PRECIPITACION DE LA ISOYETA	P ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km ²)	VOLUMEN ENTRE ISOYETAS (Km. mm)
MINIMA	400	400	550	220.000
1	500	450	1.050	447.000
2	600	550	2.200	1.210.000
3	700	650	2.050	1.332.500
4	800	750	1.860	1.395.000
MAXIMA	800	800	3.640	2.912.000
			11.350	7.546.500

Precipitación media subcuenca río Chayanta:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{7.546.500}{11.350} = 664,9 \text{ mm}$$

2.3.6.3 SUBCUENCA DEL RIO MIZQUE

Se realizó el PPA, formado por Aiquile y Mizque, el que solamente tiene buena correlación con algunas estaciones, razón por la cual en las otras se rellenó y se amplió entre estaciones y verificandolas con CDA.

Se eliminaron por no tener registros consistentes las siguientes estaciones: Tin Tin, Vacas, Monte Puncu, Saipina, Comarapa y Puesto Nava.

Se obtuvo 11 estaciones cuyo resumen es el siguiente:

TABLA 2.5: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO MIZQUE

AÑO	AIQUILE (1)	CHAGUARA NI	MIZQUE (1)	POJO	VILLA GRANADO	PUNTE TAPERAS
81	667,8	596,0	611,3	551,9	743,6	500,5
80	409,0	426,0	452,7	396,3	524,9	363,2
79	698,4	862,0*	878,5	533,8	702,2	418,8
78	572,9	778,6	769,7	481,7	670,7	379,6
77	497,5	538,5	564,2	424,4	518,1	307,1
76	521,1	601,0	616,4	634,3	552,2	306,1
75	562,2	682,5	495,1	501,9	441,7	316,1
74	398,7	474,0	556,5	579,4	605,3	494,8
73	410,7	538,1	388,0*	437,3	437,2	280,9
72	457,5	703,0	605,2	654,5*	702,7	359,7
71	441,9	550,0*	528,3	512,5*	437,2*	308,2
70	529,5	587,0*	507,2*	688,2*	488,5*	328,4*
69	366,3	478,0*	511,5	491,8*	413,6*	255,9*
68	593,5	622,0*	678,3	757,3*	599,2*	318,7*
67	389,0	520,0*	550,0	507,4*	442,4*	267,5*
P	501,1	597,1	580,9	509,7	551,9	347,1

AÑO	POCOMA	TOTORA	EL QUIÑE	MORO MO- RO	PUCARA
81	725,8	691,5	663,9	940,3	978,8
80	600,0	502,4	655,0	741,7	697,8
79	942,0	800,6	506,5	734,7	963,5
78	991,0	762,1	500,5	963,5	918,7
77	845,0	565,8	513,8	666,7	837,0
76	864,3	777,7	361,1	706,3	856,9
75	772,4	760,2	262,8	520,2	772,2
74	880,0	810,5	354,5	731,2	831,6*
73	720,0*	597,7	443,2	690,9*	673,6
72	715,0*	654,5	424,7	675,7*	806,2
71	725,0*	512,5	411,4	487,6	744,3
70	988,0	688,2	281,5	482,2	704,4
69	701,0	491,0	343,3	608,6*	776,7*
68	1116,0	757,3	581,0	804,6*	864,4*
67	614,0	507,4	563,4	790,1*	857,9*
P	813,3	658,7	457,8	702,9	818,9

(1) componentes del PPA

* valores generados con regresión lineal

A partir de los valores medios de precipitación se trazaron las isoyetas, obteniéndose la participación media espacial, de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 2.6: SUBCUENCA RIO MIZQUE

No. DE ISOYETA	PRECIPITACION DE LA ISOYETA (mm)	P ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km ²)	VOLUMEN PREC. ENTRE ISOYETAS (Km2.mm)
MINIMA	400	400	80	32.000
1	500	450	320	144.000
2	600	550	3.500	1.925.000
3	700	650	3.400	2.210.000
4	800	750	2.550	1.912.500
5	1000	900	270	243.000
6	1200	1100	200	220.000
7	1400	1300	80	104.000
MAXIMA	1600	----	----	-----
			10.400	6.790.500

2.3.6.4 SUPCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

Zona con pocas estadísticas y registros cortos; las mejores estaciones son: Sucre y Fuente Arce, por lo que se las consideró como estaciones base, por lo tanto no fue posible trabajar con el PPA.

Por la topografía del lugar en algunos casos la correlación entre estaciones están por debajo de 0,71; lo que se explica por la tendencia orográfica del lugar.

Además la red de estaciones no incluye registros en determinados sectores de la subcuenca, lo cual asociado a la orografía del lugar, impone usar la mayor cantidad de registros disponibles.

Se presentó el caso de la necesidad de desechar algunos valores de una estadística por no ser congruentes con los valores observados en la serie, al no hallarse además una explicación física de este fenómeno. en su lugar se adoptó los valores generados con regresión lineal y corregidas con la CDA si existían quietres. También se tuvo que recurrir al promedio anual en una misma estación para poder lograr el período de 15 años, por la baja correlación con otras estaciones.

Se logró 9 estaciones dentro de la subcuenca y 2 estaciones de apoyo al sur de la misma, ellas son : Yotala y Talula.

El resumen de las estaciones de precipitación media anual es el siguiente:

TABLA 2.7: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NA-
VA

AÑO	SUCRE	RAVELD	CHUQUI CHUQUI	PRESTO	PUENTE ARCE	QUIROGA
81	791,7	1241,9	565,0*	518,8 *	594,8	636,9 *
80	625,6	535,3	555,7	446,4 *	627,8	511,0
79	816,6	1125,7 *	616,0	527,6	633,8	857,0
78	929,9	1105,7	586,5	552,5	659,0	609,9
77	765,8	1276,4	584,1	397,2	614,0	430,9
76	563,1	665,7	439,2	472,4	613,8	744,7
75	831,1	1118,1	690,0	493,7	652,0	860,5
74	865,6	1158,5	611,5	690,1	648,5	544,2 *
73	531,3	896,3	526,3	403,6	480,0	611,2
72	495,8	708,7	1310,1	338,2	532,0	639,2
71	485,8	521,6	1023,2	426,3	438,0	782,0
70	512,0	640,7	630,3	474,7	600,4	709,3
69	490,0	620,0	464,9	310,8	472,5	470,0
68	739,7	1182,4	542,2	496,1 *	643,2	562,5
67	534,6	553,0	467,0	406,7 *	357,9	585,4 *
P	665,2	889,9	640,8	463,7	571,2	637,0

AÑO	TARABUCO	ZUDAÑEZ	REDENCION		YOTALA
			PAMPA	TALULA (1)	
81	757,0	532,6	407,3	810,1	442,0
80	465,3	452,4	354,9	513,3	333,8
79	570,3	577,1	559,7	757,7	551,7
78	851,3	817,5	835,0	764,9	438,7
77	630,0	337,0	515,5	727,1	840,3
76	605,2	448,9	448,4	437,5	426,4
75	557,6	557,7	661,6	565,5 *	699,0
74	728,4	728,2	843,8	790,0 *	608,5
73	842,8	477,5	513,5	725,2	468,9
72	608,0	555,1	547,8	565,3	604,3
71	661,0*	590,2	624,0	529,6	570,2
70	373,5	515,5	713,5	533,8	577,5
69	517,0	542,4	424,2	457,1	290,2
68	630,3	570,4 *	590,6 *	801,7	827,3
67	585,3	506,5 *	508,6 *	495,5	546,8 *
P	625,5	547,3	569,9	631,6	548,4

* valores generados con regresión lineal
(1) estaciones de apoyo

Con las precipitaciones medias se trazaron las isoyetas según la tabla siguiente:

TABLA 2.8: SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

No. DE ISOYETAS DE LA	PRECIPITACION ENTRE ISOYETAS TA. (mm)	P ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km2)	VOLUMEN ENTRE ISOYETAS (Km2.mm)	PREC.
MINIMA	500	500	150	75.000	
1	600	550	3.300	1.815.000	
2	600	600	370	222.000	
3	700	650	4.680	3.042.000	
4	800	750	1.050	787.500	
MAXIMA	1.000	900	250	225.000	
			9.800	6.166.500	

Precipitación media de la subcuenca río Grande hasta Puesto Nava:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{6.166.500}{9.800} = 629,2 \text{ mm}$$

La precipitación media considerando las subcuencas aguas arriba (Caine y Chayanta), es la siguiente:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{(629,2 * 9.800) + (664,9 * 11.350) + (654,4 * 10.990)}{32.740} = 650,4 \text{ mm}$$

2.3.6.5 SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA ABAPO

Subcuenca con deficiente red pluviométrica y distribución heterogénea; con registros cortos por lo que no se empleó el PPA; los rellenos y ampliaciones se efectuaron entre estaciones.

En algunas estaciones se procedió a la ampliación anual en sí misma para tener el período de 15 años requerido y tener mejor información para el trazado de isoyetas.

Por sus registros cortos y baja correlación lineal se eliminaron las siguientes estaciones: Azurduy, Muyupampa, Aimiri, Bejucal, Florida y Abapó.

Para suplir la estación Abapó, se trabajará con Puerto Viejo y Cabezas.

Se obtuvieron 11 estaciones en la subcuenca y una de apoyo (Itaguazu - renda); cuya tabla resumen es la siguiente:

TABLA 2.9: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA ABAPO.

AÑO	PADILLA	EL VILLAR	TARVITA	RIO AZERO	MONTE AGUDO	NUEVO MUNDO
81	692,1	759,1 *	1023,0	841,2*	458,2	1087,9 *
80	532,2	607,3	727,0	1016,1*	890,8	873,4
79	620,2	512,3	892,3	1035,9*	1206,2	1705,0
78	586,2	649,5	1020,9	999,4*	849,3	1047,3
77	603,8	682,5	840,8	989,6*	825,2	1225,0
76	716,1	622,7	827,4	1020,8*	902,4	979,1
75	395,5	474,4	890,8*	913,5	711,8	1012,9
74	821,2	959,2	823,3	1435,1	1285,1	1028,8
73	587,1	849,2	1054,9	1298,4	1298,6	1242,7
72	699,4	722,7	549,1	800,0	516,7	1000,8
71	819,3	789,1	1012,7	862,0	321,9	1100,4
70	623,3	856,0 *	1017,5	813,5	650,0*	985,8
69	401,1	452,5 *	886,6*	698,7*	652,0*	1065,8*
68	544,6	546,1 *	923,5 *	973,8*	796,8*	1082,4*
67	800,2	712,8 *	903,5*	984,6*	787,0*	1065,8*
P	629,5	679,7	892,9	820,6	792,3	1066,9

AÑO	ALTO SECO	MASICURI	PUERTO VIEJO	SOPACHUY	VILLA SERRANO	ITAGUA-ZURENDA
81	1735,1	3113,5	964,3 *	992,2 *	948,6	1253,1 *
80	1195,8	1435,9	664,8 *	971,3	713,1	635,0 *
79	1705,0	2478,5	812,0 *	795,4	742,9	804,8
78	1493,5	1756,8	672,1	1213,4	793,7	461,2
77	1552,2	1587,4	955,4	988,9	750,2	489,7
76	1265,2	1356,6	694,1	986,9	660,9	547,3
75	1416,7	1611,6	537,2	788,3	731,6	399,8
74	1986,5	2102,5	749,8	870,4	821,9	677,2
73	1672,2	1399,4	691,4	910,8	719,5	649,8
72	1732,0	1538,5	658,1	802,4	732,4	641,5
71	1589,2	1307,0	821,6	840,1	813,9	642,3
70	1241,1	1254,3	891,7	780,2	957,9	582,4
69	1532,3*	2156,2 *	662,8 *	656,8	552,0	471,3
68	1555,1*	1664,5 *	724,5 *	889,1 *	827,6	729,4
67	1558,6*	1374,8 *	665,6 *	769,9	836,8	482,9
P	1548,7	1745,2	744,3	883,7	773,5	631,2

* valores generados con regresión lineal

Con las precipitaciones medias se trazaron las isoyetas según la tabla siguiente:

TABLA 2.10 : SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA ABAPO

No. DE ISOYETAS DE LA ISOYETA	PRECIPITACION (mm)	P ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km2)	VOLUMEN PREG. ENTRE ISOYETAS (Km2.mm)
MINIMA	700	700	800	560.000
1	800	750	4.200	3.150.000
2	800	800	2.530	2.024.000
3	1.000	900	2.750	2.475.000
4	1.200	1.100	2.780	3.058.000
5	1.400	1.300	2.230	2.899.000
6	1.600	1.500	1.430	2.145.000
MAXIMA	1.600	1.600	580	928.000
			17.300	17.239.000

Precipitación media de la subcuenca río Grande hasta Abapó:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{17.239.000}{17.300} = 996,4 \text{ mm}$$

La precipitación media considerando las subcuencas aguas arriba (Caine, Chayanta, Mizque y Grande hasta Abapó), es la siguiente:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{(996,4 * 17300) + (650,4 * 32140) + (652,9 * 10.400)}{59.840}$$

$$\langle \bar{P}_c \rangle = 750,9 \text{ mm}$$

2.3.6.6 SUBCUENCAS RICS ICHILO Y CHAPARE

Se realizó el estudio de las dos subcuencas en forma conjunta, en razón de que la subcuenca del río Ichilo posee pocas estaciones, y los regímenes climáticos de ambas subcuencas son semejantes.

No se empleó el PPA, por ser una zona de fuerte gradiente pluviométrico. Por esta razón se realizó los rellenos mensuales y ampliaciones anuales entre dos estaciones, partiendo con Corani y bajando paulatinamente hasta Todos Santos. Esto con el fin de tener zonas homogéneas entre las estaciones tratadas.

En algunas estaciones se efectuó el promedio anual en sí misma, para completar el período de 15 años, y se corrigió los valores anuales que distorcionaban la serie con regresión lineal y CDA.

Por sus estadísticas cortas y correlaciones bajas se eliminaron las siguientes estaciones: Yana Mayo, Candelaria, Jatun Chaco, Villa Tunari, Puerto Grether, La Jota y Vibora.

Se logró 16 estaciones cuyo resumen se presenta en la tabla siguiente:

TABLA 2.11: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCAS RIOS ICHILO Y CHAPARE

AÑO	COLOMI	CORANI	INCALHACA	LOCOTAL	LAGUNITAS	PALMAR PAMPA	SAN MATEO	CHIPIRIRI
81	595,2	2801,0	1596,2	2579,0	3568,5 *	3112,3	5131,7	5400,3
80	413,9	1963,0	1252,2	2375,7	3478,2 *	3037,6	5307,3	5059,9
79	873,9	2455,4	1660,8	2609,5	4779,5 *	4114,7	6601,9	4157,6
78	528,0	2352,1	1612,6	2422,1	3708,0 *	3227,8	5540,7	4273,3
77	741,0	2750,2	1996,6 *	2718,9 *	4383,1	3786,6	7924,3	6324,2
76	614,7	2379,2	1658,3 *	2525,3 *	3922,1	3229,4	7010,4	6314,7
75	707,5	3015,0	2238,0 *	2857,5 *	4108,5	3808,3	6386,2	4224,8
74	634,5	2505,5	1822,0	2646,3	3723,9	3465,7	6752,1	4997,2
73	745,4	3445,5	2592,9	3382,3	4777,9	3738,2	7085,5	5123,3 *
72	659,7	2607,0	1600,0	2595,7	4019,7	3718,6	6739,7 *	5249,5 *
71	756,7	2728,2	2318,3	2815,8	4830,6	4001,1	7177,6 *	5573,3 *
70	895,5	2615,5	2366,3	2887,8	4169,9	3292,3	6079,0 *	5864,3 *
69	599,4	2178,0	1765,8	1852,5 *	3111,4	2888,1 *	5452,5 *	6916,0 *
68	736,6	2269,0	1557,8 *	2559,3 *	3953,3	3434,6 *	6299,5 *	3589,1 *
67	493,2	2057,8	1056,0	2323,7 *	3672,7	3252,4 *	6017,1 *	3114,0 *

P	666,3	2541,5	1806,2	2610,1	4013,8	3473,8	6360,4	4944,1
---	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

AÑO	TODOS SANTOS	PTO. VI- LLARROEL	IVIR - GARZAMA	SÁN PEDRO	IVIRIZU ALTO	MONTE PUNCO	SIBERIA	MAYU CRISTAL
81	3752,5	3108,3 *	3707,5	3338,3	3737,8	831,1	997,7	4250,4
80	3389,6	3126,1	3660,6	3217,7	4060,7	464,5	611,6	3753,5
79	2591,0	2389,6	2395,9	2406,0	4587,6	723,8	699,3	4547,5
78	2481,9	2331,2	2645,4	2753,9	4008,4	673,9	934,4	3320,8
77	4516,2	3394,9	4043,6	3983,5	2863,5 *	708,7	1062,1	5295,3
76	3126,5	2818,4 *	3269,8	2720,9	4212,3 *	697,5	692,4	4615,2
75	3262,5	2571,6	3182,9	3136,2	3768,7 *	698,4	581,6	4914,0
74	3497,6	3094,8 *	3687,2	2952,1	3965,4 *	744,1	879,2	4122,6
73	3585,8	2993,4 *	3534,1 *	3270,0	3689,0	658,3	976,6	4607,4
72	3701,8	3055,8 *	3628,3 *	3363,4	3028,4	793,3	756,3	4640,1 *
71	4000,9 *	3216,8 *	3871,3	3602,5	5110,1	615,3	794,6	4736,0 *
70	4269,8 *	3361,3 *	4089,6	3817,6	4751,1	537,2	909,6	4223,0 *
69	5241,3 *	3883,9 *	4878,7	4594,8	3453,7	521,5	772,6	3919,4 *
68	2149,5	2220,9 *	2367,6	2121,4	3079,5 *	611,3	929,8	4330,0 *
67	1729,1	1994,7 *	2026,1	1785,1	3999,6 *	622,8	824,6 *	4193,0 *

P	3419,7	2970,8	3399,2	3137,6	3887,7	660,1	828,2	4364,5
---	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	--------

* valores generados con regresión lineal

Con los valores de precipitación media se efectúan el trazado de isoyetas, y se obtuvo la tabla siguiente:

TABLA 2.12 SUBCUENCAS RIOS ICHILO Y CHAPARE

No. DE ISOYETAS	PRECIPITACION P DE LA ISOYETA (mm)	ENTRE ISOYETAS (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (Km2)	VOLUMEN PREC. ENTRE ISOYETAS (Km2.mm)
MINIMA	500	-----	-----	-----
1	600	550	50	27.500
2	700	650	60	39.000
3	800	750	150	112.500
4	1.000	900	600	540.000
5	1.200	1.100	1.070	1.177.000
6	1.400	1.300	1.250	1.625.000
7	1.600	1.500	1.550	2.325.000
8	2.000	1.800	2.170	3.906.000
9	2.400	2.200	2.600	5.720.000
10	2.800	2.600	6.580	17.108.000
11	3.200	3.000	3.040	9.120.000
12	4.000	3.600	2.120	7.632.000
13	4.800	4.400	1.130	4.972.000
MAXIMA	4.800	4.800	700	3.660.000
			23.070	57.664.000

Precipitación media de las subcuencas Ichilo y Chapare:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{57.664.000}{23070} = 2499,5 \text{ mm}$$

2.3.6.7 SUBCUENCAS PIRAY, YAPACANI Y GRANDE (SANTA CRUZ)

El estudio de las subcuencas se realizó en conjunto para facilitar el trazado de las isoyetas considerando a toda la red pluviométrica en su conjunto.

Para un mejor análisis se dividió las subcuencas en dos regiones:

- i) La región montañosa de Santa Cruz, en la cual se empleó la metodología de relleno mensual y ampliación anual, entre dos estaciones y verificando su consistencia por la CDA, para tener estaciones con 15 años de registro.

ii) La región de la llanura cruceña, en la que se halló el PPA, formado por las estaciones siguientes: Santa Cruz- AASANA, Ingenio La Belgica , General Saavedra y Colonia San Juan. Se verificó la consistencia del PPA con sus componentes, observandose que la estación Colonia San Juan distorsionaba la serie por lo que se la eliminó del PPA. Los rellenos mensuales se efectuaron entre estaciones y la ampliación se la realizó con el PPA.

Se obtuvieron 19 estaciones dentro las subcuencas y 4 de apoyo (San Julian, San Javier, Concepción, y Ascención de Guarayos), se presentan en la tabla siguiente:

TABLA 2.13: RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCAS PIRAY, YAPACANI Y GRANDE (SANTA CRUZ).

AÑO	CABEZAS	CNL. A. GOMEZ	ANGOSTU- RA	TARUMA	SAMAIPATA	QUIRUSI- LLAS	VALLE GRANDE	TRIGAL
81	1126,8	881,8	1458,1*	1355,5	910,4	1153,7	451,2	646,7
80	636,0	544,6	1049,6*	1067,5	697,9	811,5	432,3	537,1
79	877,2	762,2	1319,4	1135,9	886,1	710,3	642,7	569,2
78	688,8	618,7	1135,0	1021,3	832,3	944,0	829,2	432,5
77	1089,5	789,3	1237,7	1200,1	786,9	1048,3	608,8	745,7
76	579,2	486,8	972,0	1012,8	731,1	868,0	575,0	602,9
75	442,6	515,2	772,6	1099,9	739,3	903,2	347,3	874,9
74	726,3	657,3	801,1	1057,4	711,0	1007,4	527,0	797,3
73	753,3	695,5	937,2	953,4	808,0	976,7	691,4	598,3
72	745,5	771,4	737,3	954,8	761,2	841,5	590,3	311,5
71	954,6	623,0	742,9	552,4*	846,7	924,6	511,3	401,2
70	870,9	606,9	565,4	541,6*	816,3	675,0	678,9	602,9
69	632,8	608,8	630,4	631,2*	678,1	684,0	350,7	428,0
68	733,9	636,6*	676,6	625,7*	883,9	819,0	618,4	593,3*
67	637,4	590,9*	804,5*	682,0*	735,8	938,3	492,2	586,2
P	766,3	651,9	953,0	926,1	788,3	887,1	556,4	582,5

AÑO	MAIRANA	STA. CRUZ AASANA (1)	GRAL. SAAVEDRA (1)	INGENIO LA BELGI CA (1)	COLONIA SAN JUAN	LA VICTORIA	COLONIA OKINAWA 1	COLONIA OKINAWA 2
81	824,3	2120,3	2062,3	1857,1*	3215,1	2004,7*	1515,2*	1978,3*
80	654,8	1333,9	1660,9	1341,8*	2214,4	1299,3*	1163,8*	1610,9*
79	550,1	1153,3	1385,9	1080,5	1541,9	1132,1	1134,8	1231,8*
78	756,2	1207,3	1333,9	1386,6	2040,5	1141,3	1448,7	1649,4*
77	761,2	1790,2	1333,3	1399,1	1893,2	1354,5	1389,4	1078,9
76	569,9	1160,3	1212,9	1160,0	1562,7	1199,5	998,1	1172,2
75	633,3	1303,1	1087,8	1320,0	1611,0	1288,0	1160,5	1130,7
74	691,5	1355,9	1321,7	1129,4	1769,2	1291,5	932,8	1262,9
73	555,9	848,2	1224,7	932,4	1734,7	1115,0	794,0	838,9
72	713,6	1173,3	1361,7	1222,5	2030,7	1302,0	829,7	1295,0
71	751,5	848,0	711,2	539,3	1854,2	632,5	720,0	678,0
70	705,0	711,0	622,1	639,7	1202,9	645,6	923,3	654,8*
69	733,0	1106,4	918,3	1004,6	2057,7	1088,0	827,2	998,7*
68	645,2	938,9	1071,6	954,7	1749,9	945,0*	736,1	977,8*
67	745,5	1235,2	1132,8	1254,0	1868,7	1210,7*	594,7	1191,5*
P	686,1	1219,2	1229,4	1165,6	1889,8	1176,6	1011,2	1183,3

AÑO	COLONIA OKINAWA 3	PUESTO EL PATUJU FERNANDEZ	SANTA ROSA (FLO)	SAN JULIAN (2)	SAN JAVIER (2)	CONCEP- CION (2)	ASLENCION DE GUARA- YOS (2)	
81	1561,7*	1829,1*	1893,1	868,6	1639,9	1813,1	1463,8	1684,2
80	1183,4*	1525,2*	1497,2	953,5	1357,9	1694,2	1229,1	1535,0
79	677,0	1358,0	1414,1	831,7	1016,7	1414,3	1186,4	1626,6
78	950,0	1333,1	1358,3	800,2	1167,2	1543,5	1191,0	1372,8
77	1224,7*	1130,9	1293,3	1172,7	1545,9	1725,4	1110,5	2085,6
76	1005,0*	923,1	869,3	917,2	893,1	1413,2	1065,1	1282,1
75	935,0	1218,5	997,6*	809,1	1163,9	1223,9	1003,8	1425,9
74	1118,7	1040,4	1219,9*	985,0	1157,6*	1407,3	1505,7	1635,3
73	881,0	1142,2	1127,9*	839,2	1059,5	1126,4	985,3	1495,4
72	925,6	1562,9	1257,9*	852,0	914,3*	1117,1	847,1	1475,9
71	520,2	791,3	639,9*	762,0	812,9*	996,1	869,6	1140,1
70	400,3	665,4	555,2*	889,0	674,3*	830,8	1087,8	887,0
69	856,8	1016,3	836,6*	620,8	491,9*	613,2	954,6	739,2
68	762,3	1246,2	982,3*	881,0	981,9*	1201,3	1166,3	937,3
67	958,7	1193,7	1040,4*	1030,2	1036,5*	1262,8	969,5	1018,0
P	930,7	1198,4	1132,2	946,5	1061,1	1292,2	1109,0	1356,0

(1) componentes del PPA

(2) estaciones de apoyo

* valores generados con regresión lineal

Con las precipitaciones medias se efectuó el trazado de las isoyetas, obteniéndose la siguiente tabla:

TABLA 2.14 : SUBCUENCAS RIOS PIRAY, YAPACANI Y GRANDE

No. DE ISOYETA	PRECIPITACION DE LA ISOYETA (mm)	P DE LA ISOYETA (mm)	AREA ENTRE ISOYETA (Km)	VOLUMEN PREC. ENTRE ISOYETAS (Km ² .mm)
MINIMA	500	-----	-----	-----
1	600	550	680	374.000
2	700	650	1.250	812.500
3	800	650	1.900	1.425.000
4	1.000	900	9.620	8.658.000
5	1.200	1.100	9.410	10.351.000
6	1.400	1.300	4.120	5.356.000
7	1.600	1.500	3.360	5.040.000
8	2.000	1.800	6.140	11.052.000
9	2.400	2.200	8.080	17.776.000
MAXIMA	2.800	2.600	2.100	5.460.000
			46.660	66.304.500

Precipitación media de las subcuencas Piray, Yapacani y Grande:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{66.304.500}{46.660} = 1421,0 \text{ mm}$$

Precipitación media anual con las subcuencas aguas arriba:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{(750 * 59.840) + (1421,0 * 46660)}{106.500} = 1044,5 \text{ mm}$$

2.3.6.8 SUBCUENCA DEL RIO MAMORE (BENI)

Es la subcuenca más grande de todas, comprende gran parte de la llanura beniana. Posee 4 estaciones en la subcuenca y 5 de apoyo, siendo la red muy escasa, pero los registros de las estaciones son muy buenas. Sólo se tuvo que rellenar en forma mensual las estaciones de Santa Ana, San Joaquin y Magdalena, puesto que las demás están completas.

Se tomó estaciones de apoyo de la subcuenca del río Beni, adyacente a la del río Mamoré.

La tabla resumen de precipitaciones medias anuales es la siguiente:

TABLA 2.15 : RESUMEN DE ESTACIONES SUBCUENCA RIO MAMORE

AÑO	RURRENA- BAQUE (1)	MAGDALENA (1)	RIBERAL- TA (1)	SAN BOR - JA	SN. IGNA CIO DE MOXOS	SAN JOAQUIN (1)	SANTA ANA	TRINIDAD
67	1776,7	1183,2	1523,0	1680,0	1527,3	1267,4	1466,8	1685,7
68	1850,5	1356,8	1591,9	1515,6	1917,8	996,7	1381,4	1537,3
69	1961,4	1402,5	1280,2	1397,8	1980,2	1392,7	2063,1	1807,9
70	2417,9	1489,2	1580,1	1430,2	1548,3	1144,0	1394,1	1485,6
71	2138,5	1829,7	1484,5	1737,0	1684,5	1305,9	1657,3	1533,4
72	2264,6	1847,8	1753,1	1673,0	1894,3	1437,0	1604,5	1553,2
73	2840,7	1512,9	2557,6	2482,7	1913,5	1589,7	1400,3	1895,4
74	2735,4	1576,2	1837,9	1683,4	1760,1	1509,7	1387,0	1403,6
75	2661,8	1798,4	2055,2	2392,6	2511,0	1476,2	1347,9	2032,7
76	3380,8	1444,8	1765,9	1948,3	1936,8	1406,0	1876,7	1869,9
77	3228,6	1813,2	1615,0	1703,9	2132,0	2039,8	1832,4	1686,3
78	2505,9	2050,7	2152,8	2255,3	2034,6	2138,7	1490,6	1725,7
79	1972,6	1644,5	2541,1	1712,4	1481,9	1583,4	1321,2	1441,6
80	2913,0	1829,2	2135,7	2730,7	2291,9	2239,7	1398,9	2140,6
81	2569,0	1473,4	2429,0	3907,2	2392,5	1742,3	2263,2	2022,0
P	2481,2	1616,8	1886,9	2016,7	1933,8	1551,3	1592,4	1721,4

(1) estaciones de apoyo

Con los valores de precipitación media se trazó las isoyetas, interpondo con las estaciones de las subcuencas Ichilo-Chapare y las de Santa Cruz; muy distantes entre sí, siendo esta al presente la única forma de efectuar dicho trazado por la falta de estaciones en la zona.

Para efectuar el planimetrado se dividió la subcuenca en dos partes, por la gran extensión de la misma, hallandose la siguiente tabla:

TABLA 2.16: SUBCUENCA RIO MAMORE (HASTA PUERTO SILES)

No. DE ISOYETA	PRECIPITACION DE LA ISOYETA	P ENTRE ISOYETAS	AREA ENTRE ISOYETAS	VOLUMEN PREC. ENTRE ISOYETAS
MINIMA	1.400	-----	-----	-----
1	1.600	1.500	7.900	11.850.000
2	2.000	1.800	39.730	70.514.000
3	2.400	2.200	16.140	35.508.000
4	2.800	2.600	6.310	16.406.000
5	3.200	3.000	3.670	11.010.000
6	4.000	3.600	8.800	31.680.000
7	4.800	4.400	3.800	16.720.000
MAXIMA	4.800	4.800	200	960.000
			86.550	195.648.000

Precipitación media anual subcuena río Mamoré:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \frac{195.648.000}{86.550} = 2.260,5 \text{ mm}$$

Precipitación total media de la cuena del río Mamoré hasta Puerto Siles, con subcuenas anteriores:

$$\langle \bar{P}_c \rangle = \underline{\underline{1.687,1 \text{ mm}}}$$

2.3.7 PROCEDIMIENTO DEL ANALISIS DE AMPLIACION, RELLENO Y CONSISTENCIA DEL REGISTRO DE UNA ESTACION PLU - VIOMETRICA (EJEMPLO DE APLICACION)

A fin de mostrar el tratamiento efectuado de la información contenida en los registros de precipitación; se desarrolló aquí como procedimiento tipo, el análisis de ampliación, relleno y consistencia de la estación Tarumá perteneciente a la subcuenca del río Piray (Santa Cruz).

El PPA fué generado en base a las estaciones: Santa Cruz AASANA, General Saavedra e Ingenio La Belgica, (Ver grafico #10).

Del contraste realizado para años comunes entre el PPA y Tarumá se obtiene un coeficiente de correlación lineal, $r=0,16$. La razón de tener un coeficiente tan bajo está en que los años 73 y 74 de Tarumá no siguen la serie anual de datos. Tomando años comunes sin estos años, tenemos que $r=0,85$, el cual nos indica buena correlación lineal. Y a partir de ella se corrigen los años 73,74 y se generan los años faltantes en Tarumá.

Datos corregidos :

primitivos:	73: 1379,0	generados: 1057,4
	74: 1562,6	953,4

A Tarumá le faltan los años 67-71, para completar los 15 años del período; por lo que generamos dichos valores:

71	x= 699,5	tenemos,	y= 835,6
70	x=657,6	"	y= 819,3
69	x=1009,8	"	y= 956,4
68	x= 988,4	"	y= 948,1
67	x=1207,3	"	y=1033,3

Con este procedimiento se completó el registro de Tarumá. procediéndose luego al análisis de consistencia mediante la CDA entre el PPA y Tarumá.

Como consecuencia de este análisis se observa que debe efectuarse un ajuste, (ver grafico # 10).

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{7,0}{10,0} = 0,70$$

$$\rightarrow \beta_1 = \frac{0,70}{1,0588} = 0,66$$

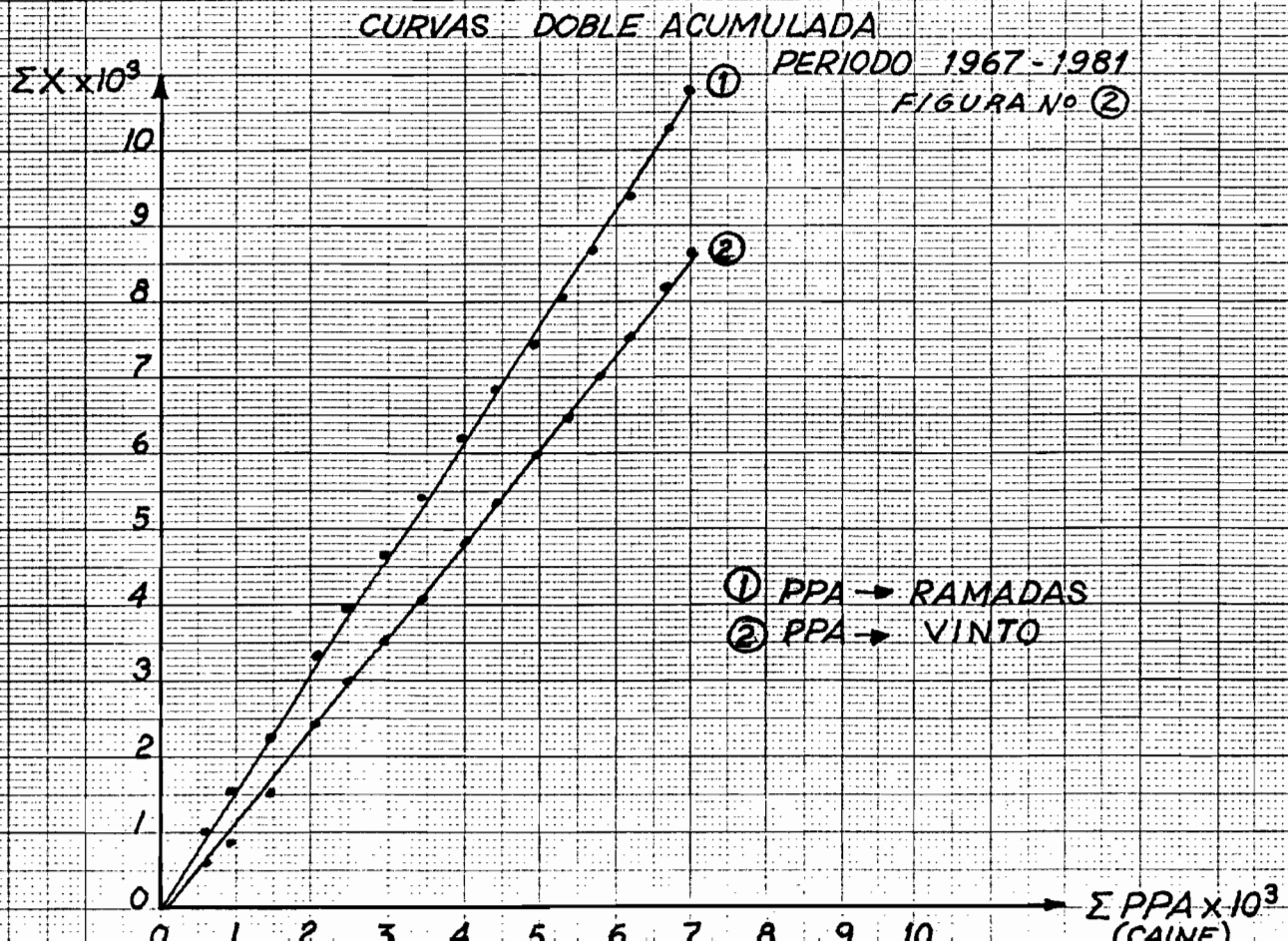
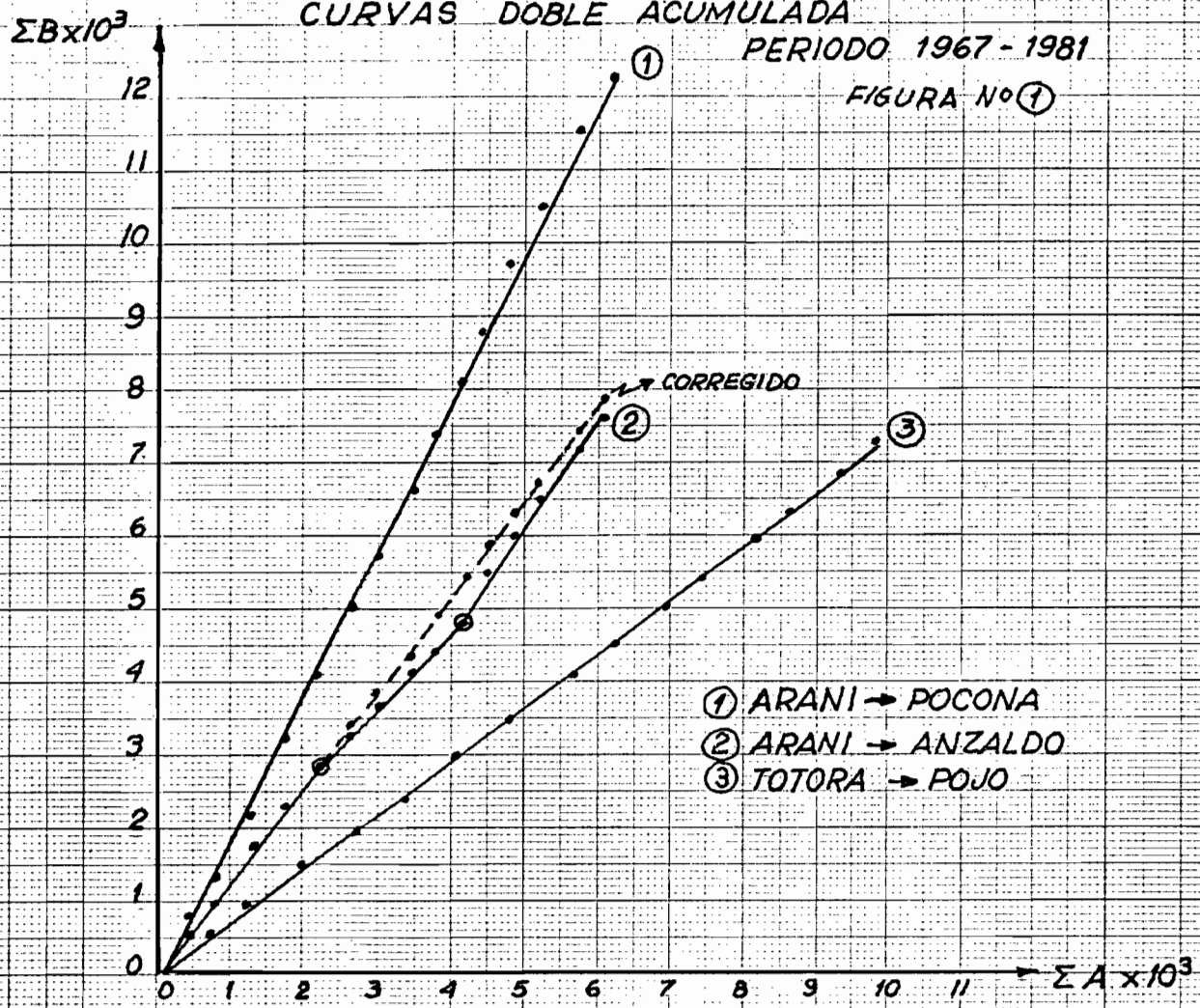
$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{9,0}{8,5} = 1,0588$$

Finalmente realizado el ajuste con el factor β_1 , se obtiene el registro final, (precipitación ajustada de Tarumá), como se muestra en la tabla siguiente:

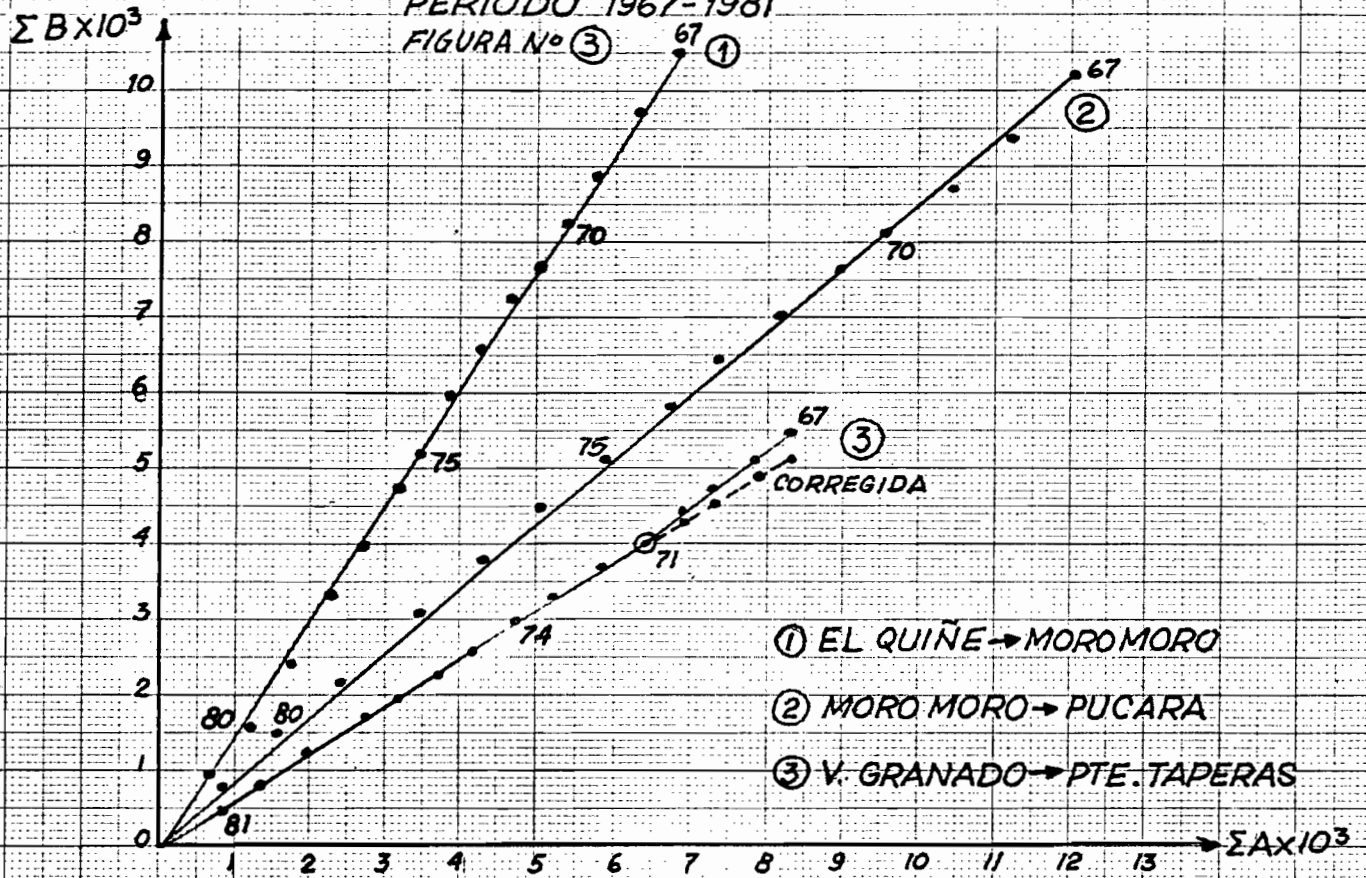
TAFIA 2.17

AÑO	PRECIPITACION		ACUMULADOS		AJUSTE TARUMA	ACUMUL. AJUSTADO TARUMA	PRECIP. AJUSTADA TARUMA
	PPA	TARUMA	PPA	TARUMA			
81	2013,2	1355,5	2013,2	1355,5			1355,5
80	1445,5	1067,5	3458,7	2423,0			1067,5
79	1207,6	1135,9	4666,3	3658,9			1135,9
78	1309,4	1021,3	5975,7	4580,2			1021,3
77	1507,5	1200,1	7483,2	5780,3			1200,1
76	1177,7	1012,8	8660,9	6793,1			1012,8
75	1236,9	1099,9	9897,8	7893,0			1099,9
74	1269,0	953,4*	11166,8	8846,4			953,4
73	1001,9	1057,4*	12168,7	9903,8			1057,4
72	1252,5	954,8	13421,2	10858,6			954,8
71	699,5	835,6*	14120,7	11694,2	552,4	11411,0	552,4
70	657,6	819,3*	14778,3	12513,5	541,6	11952,6	541,6
69	1009,8	956,4*	15788,1	13469,9	631,2	12583,8	631,2
68	988,4	948,1*	16776,5	14418,0	625,7	13209,5	625,7
67	1207,3	1033,3*	17983,8	15451,3	682,0	13891,5	682,0

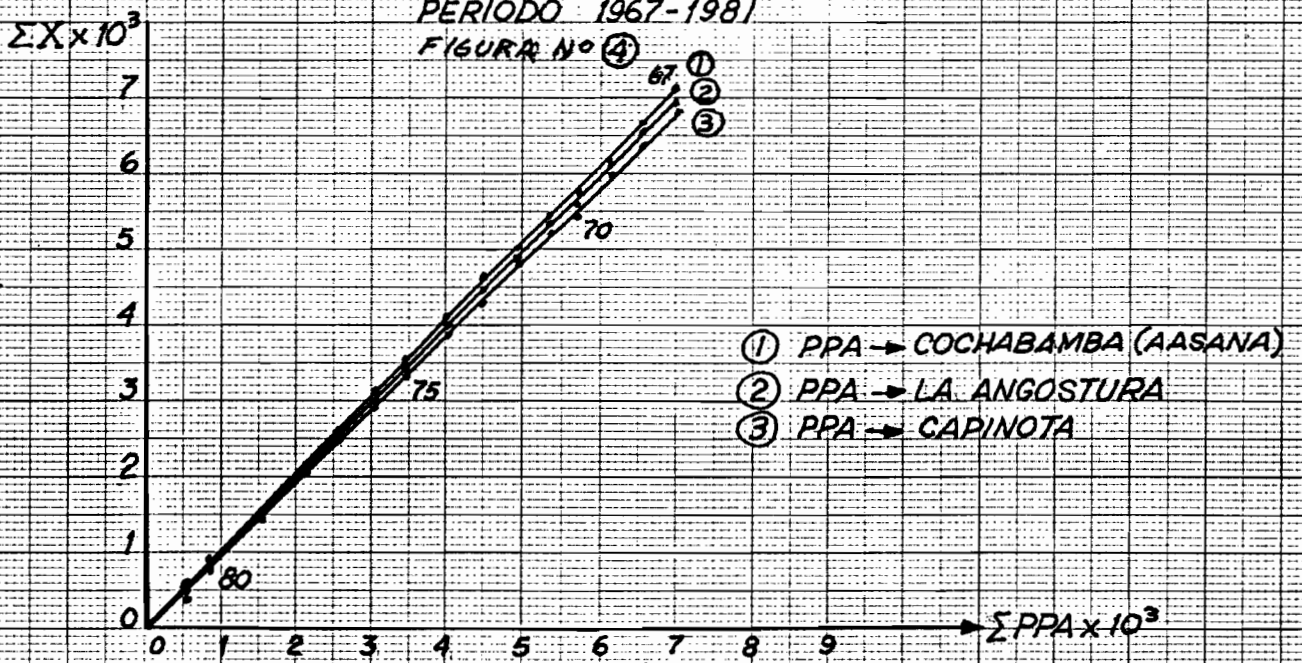
En aquellos casos en que no era posible generar PPA, se utilizó una estación base, con información consistente y comprobada como PPA.



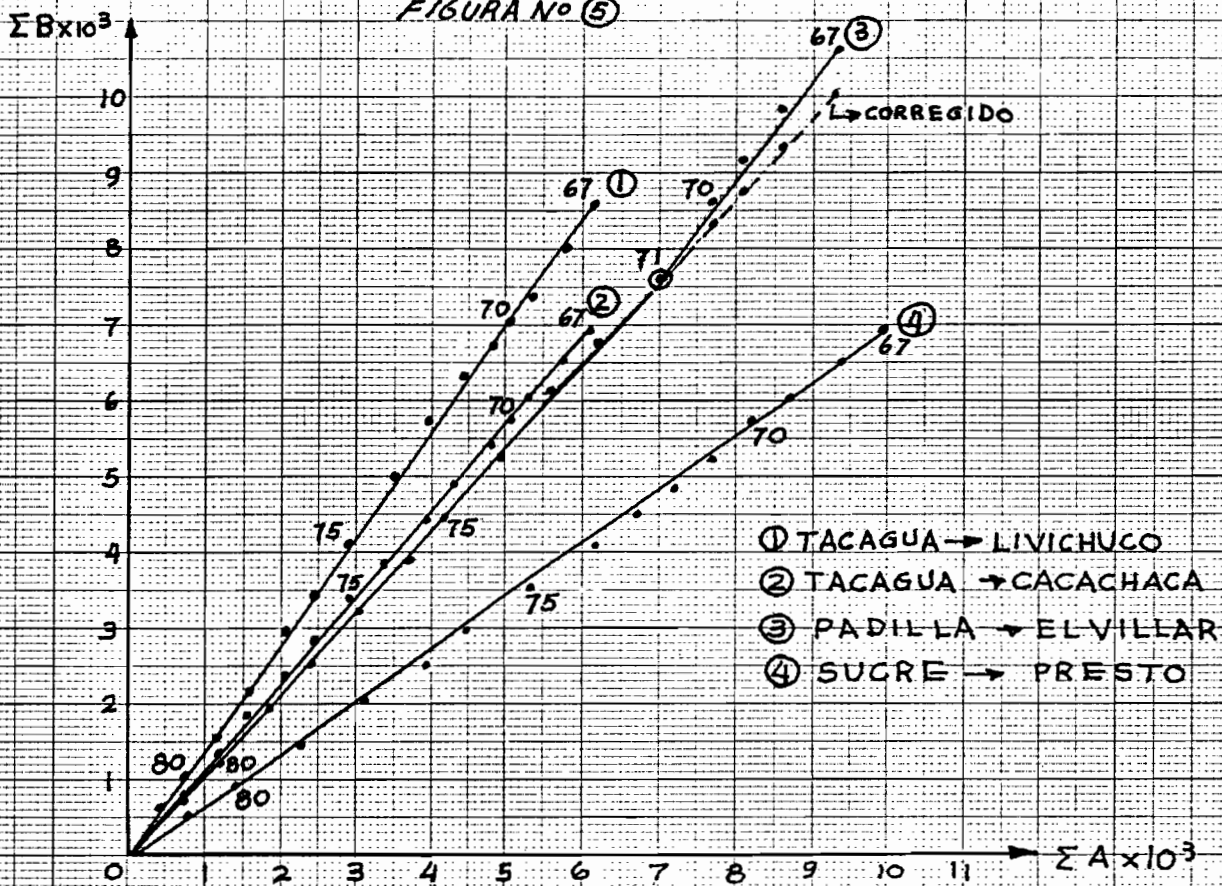
CURVAS DOBLE ACUMULADAS
SUB CUENCA MIZQUE
PERIODO 1967-1981
FIGURA N° ③



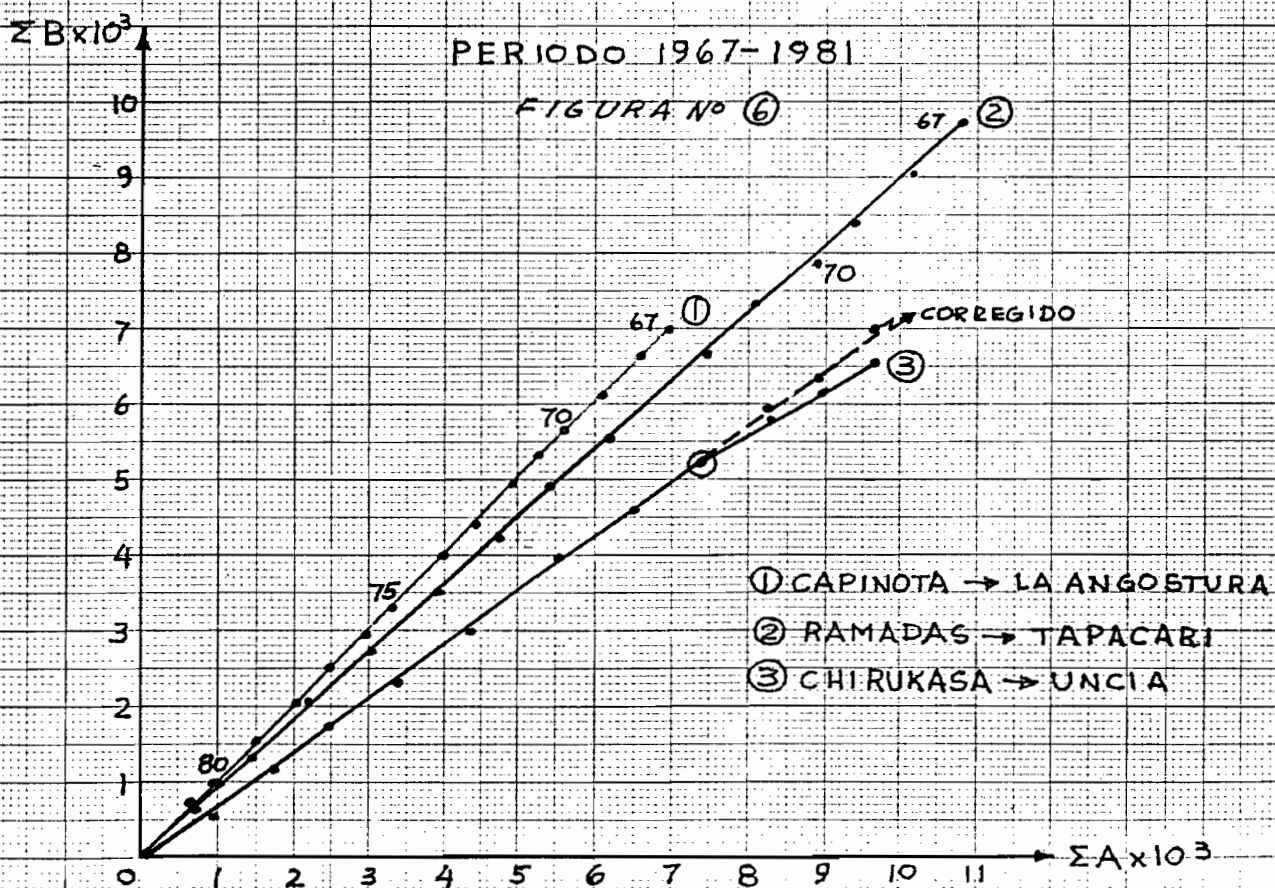
SUB CUENCA CAINE
PERIODO 1967-1981
FIGURA N° ④



- 52 -
 CURVAS DOBLE ACUMULADA
 PERIODO 1967-1981
 FIGURA No 5



CURVAS DOBLE ACUMULADA
 PERIODO 1967-1981
 FIGURA No 6

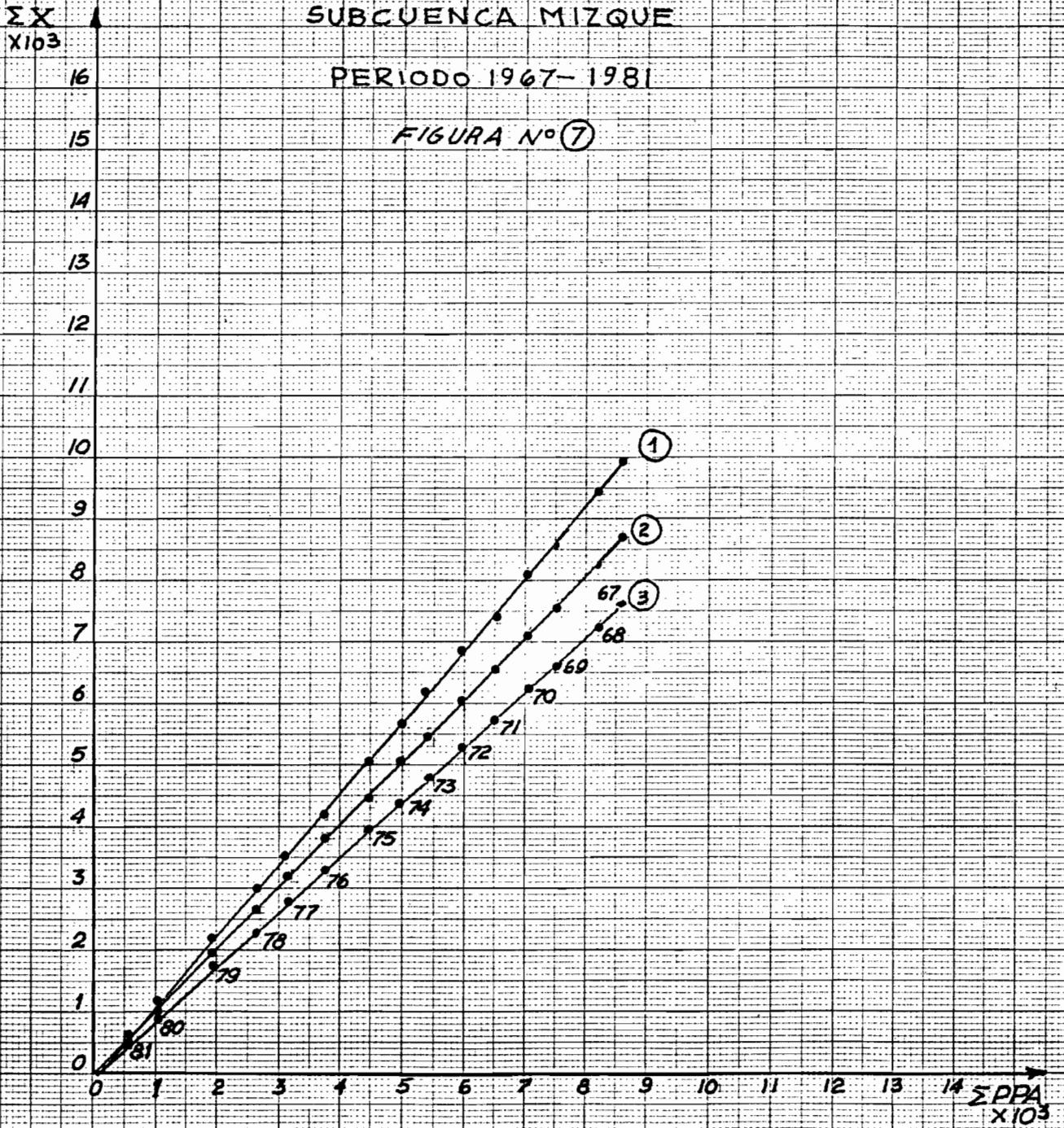


CURVAS DOBLE ACUMULADAS

SUBCUENCA MIZQUE

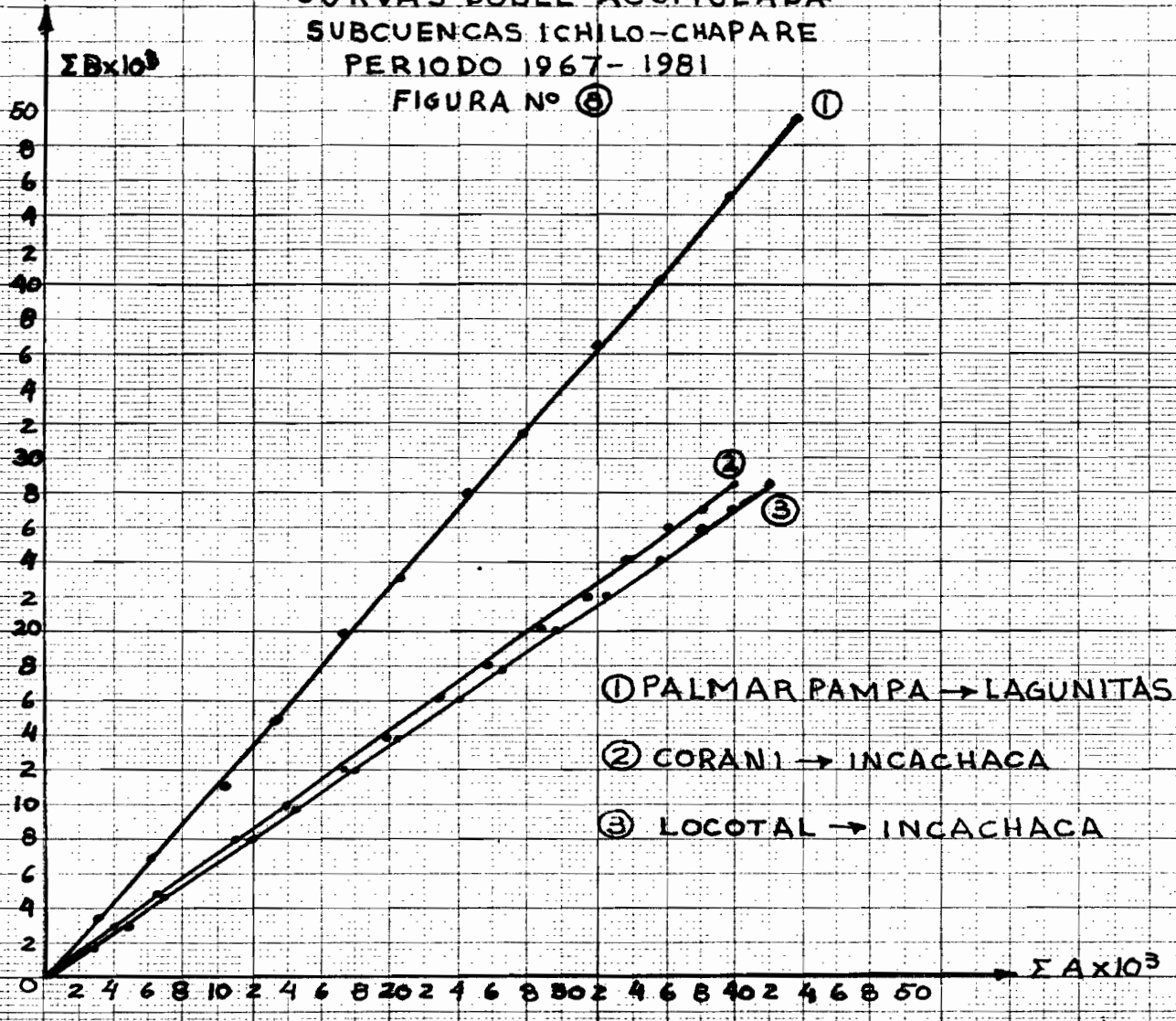
PERIODO 1967-1981

FIGURA N° ⑦



- ① PPA → TOTORA
- ② PPA → MIZQUE
- ③ PPA → AIQUILE

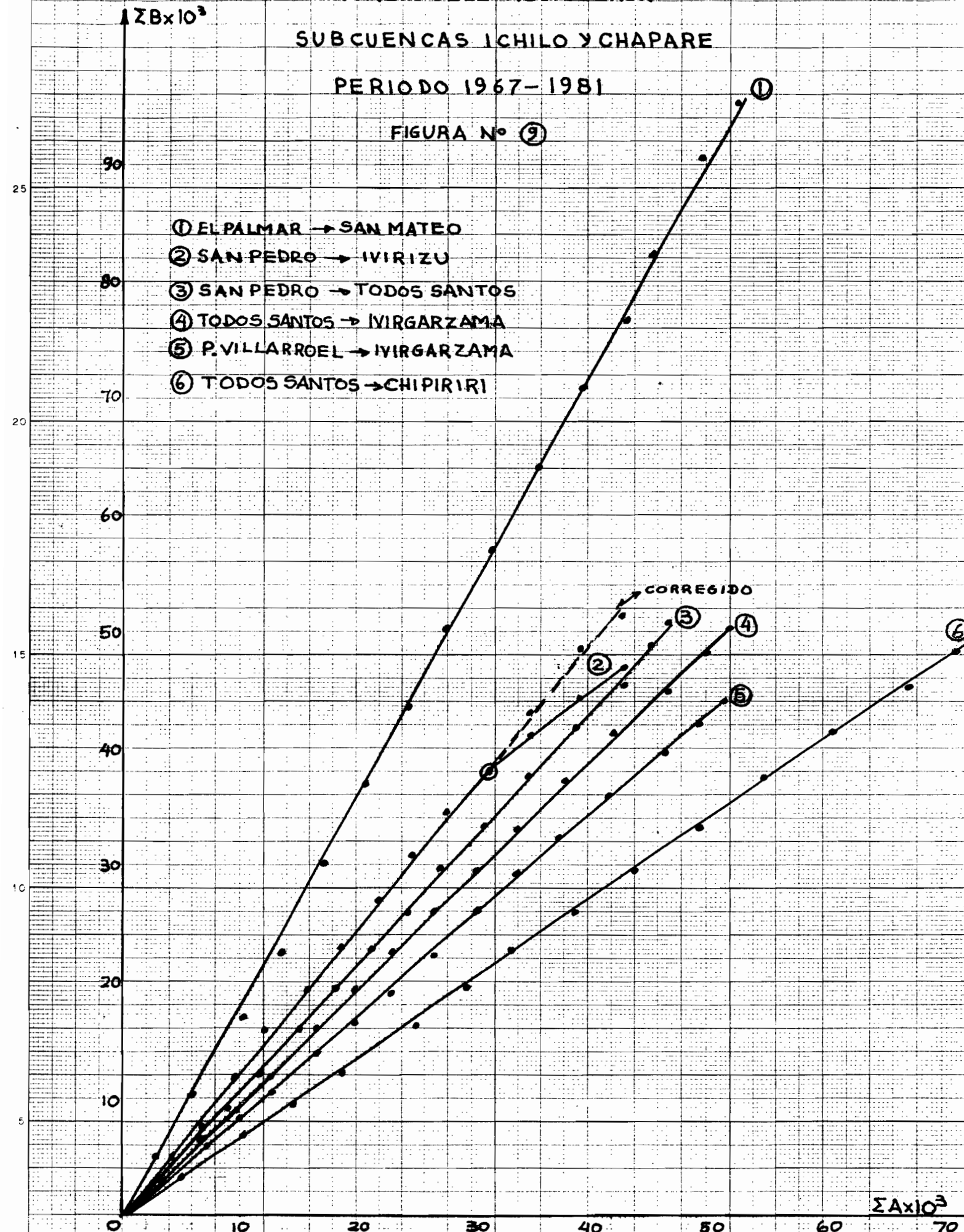
- PL -
CURVAS DOBLE ACUMULADA
SUBCUENCAS ICHILO-CHAPARE
PERIODO 1967-1981
FIGURA N° ⑤



CURVAS DOBLE ACUMULADA
SUBCUENCAS ICHILO Y CHAPARE
PERIODO 1967-1981

FIGURA N° 9

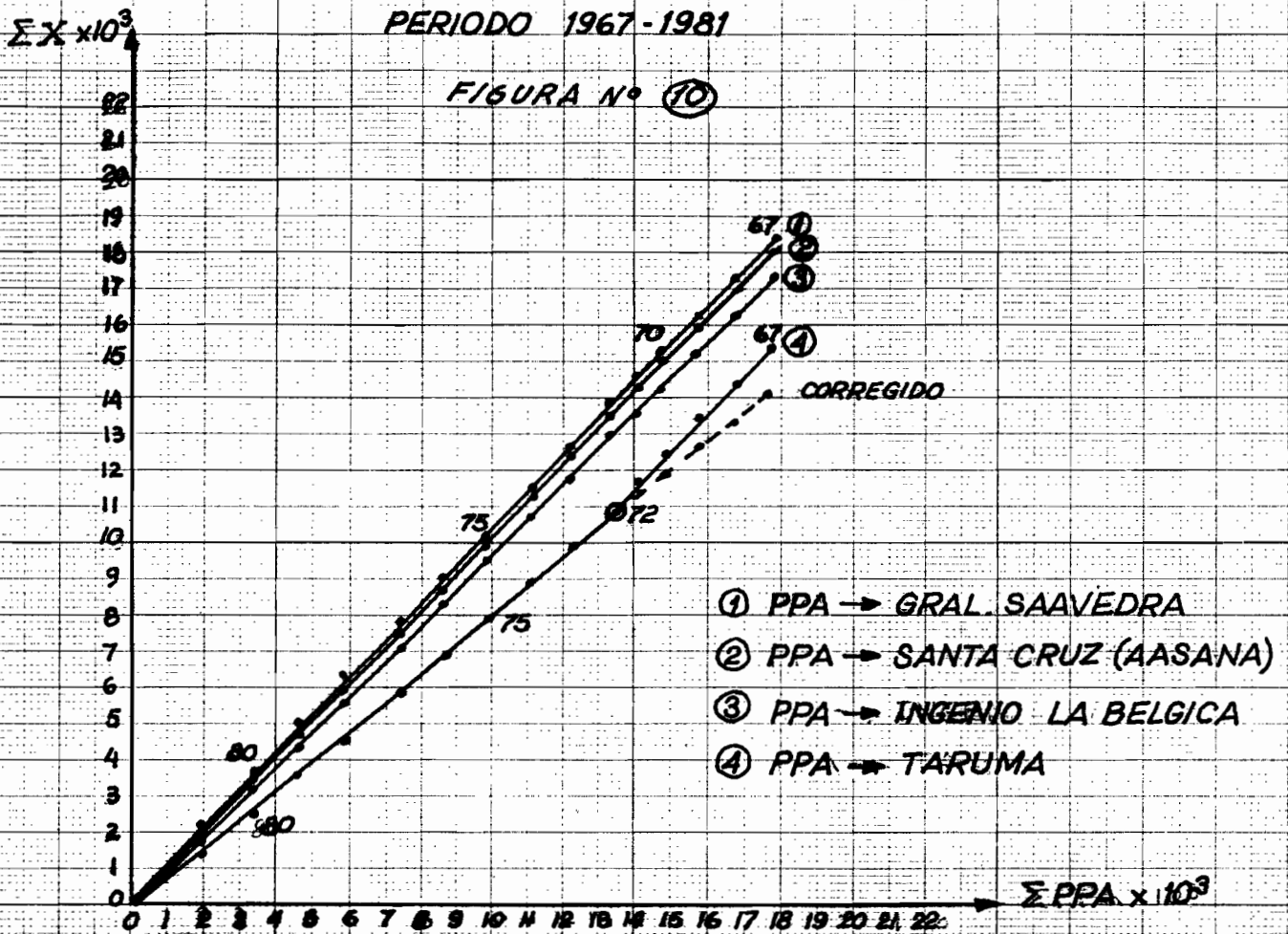
- ① EL PALMAR → SAN MATEO
- ② SAN PEDRO → IVIRIZU
- ③ SAN PEDRO → TODOS SANTOS
- ④ TODOS SANTOS → IVIRGARZAMA
- ⑤ P. VILLARROEL → IVIRGARZAMA
- ⑥ TODOS SANTOS → CHIPIRIRI



CURVAS DOBLE ACUMULADA (SANTA CRUZ)

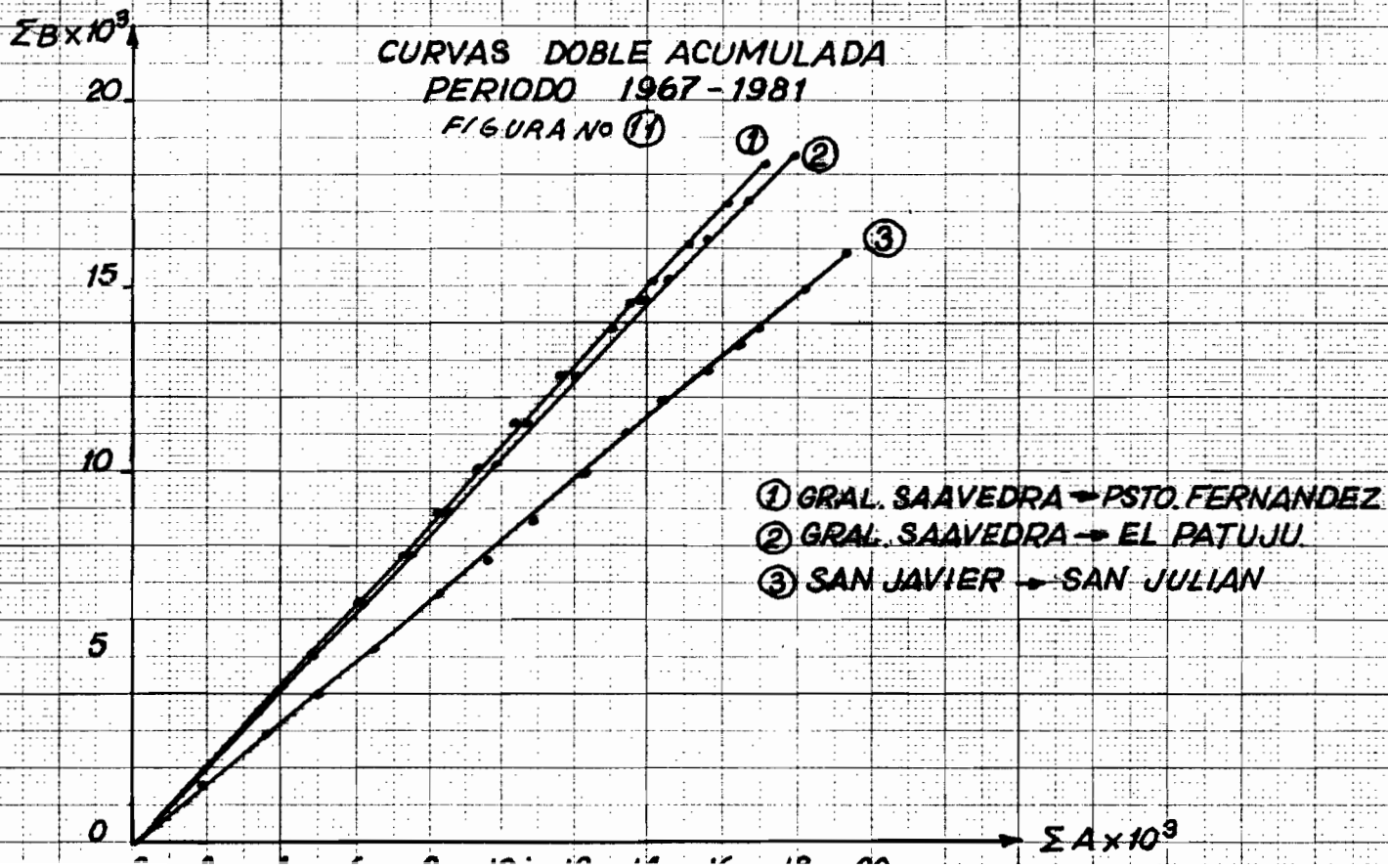
PERIODO 1967-1981

FIGURA N° 10



CURVAS DOBLE ACUMULADA PERIODO 1967-1981

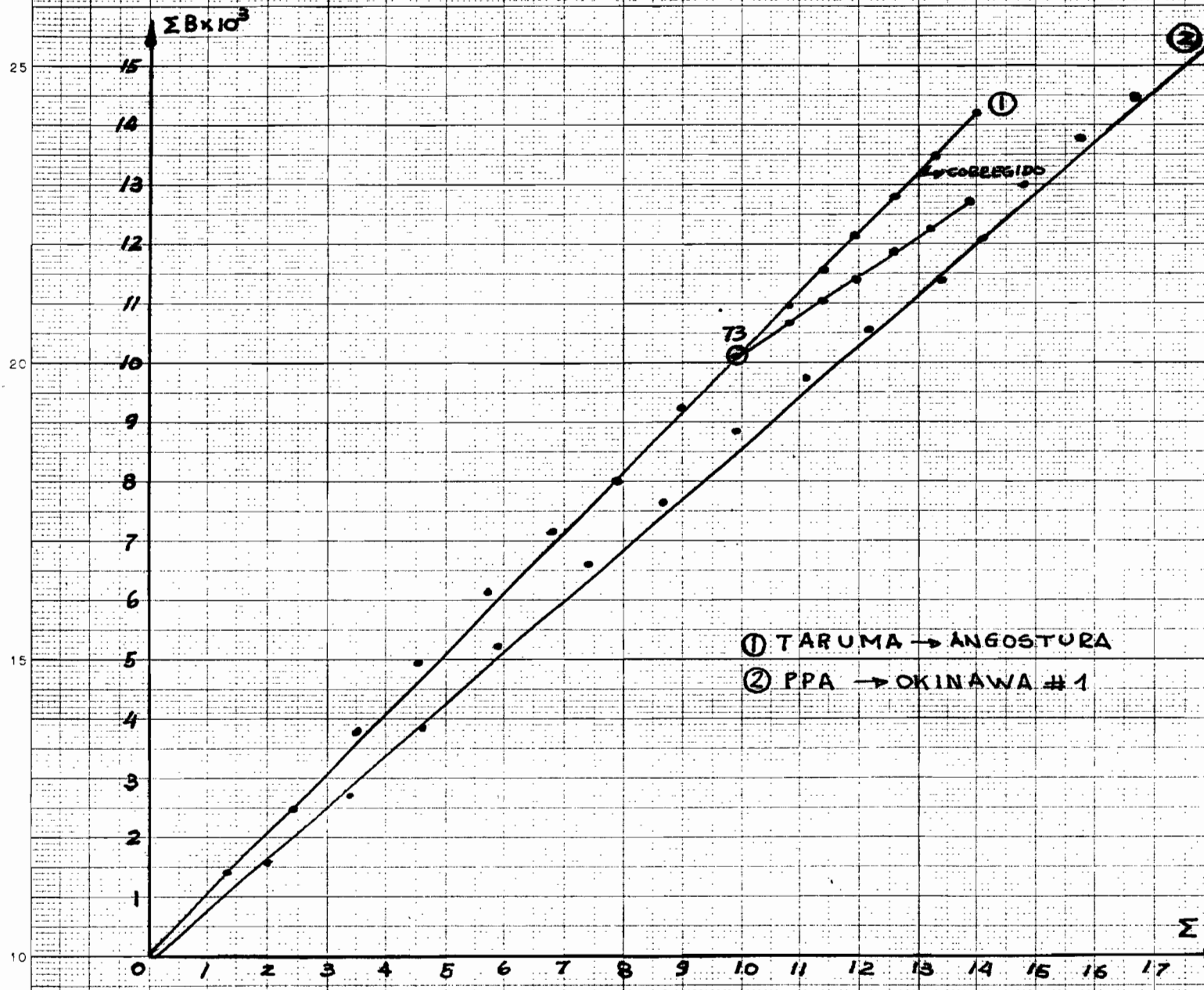
FIGURA N° 11



CURVAS DOBLE ACUMULADA (SANTA CRUZ)

PERIODO 1967-1981

FIGURA N° 12

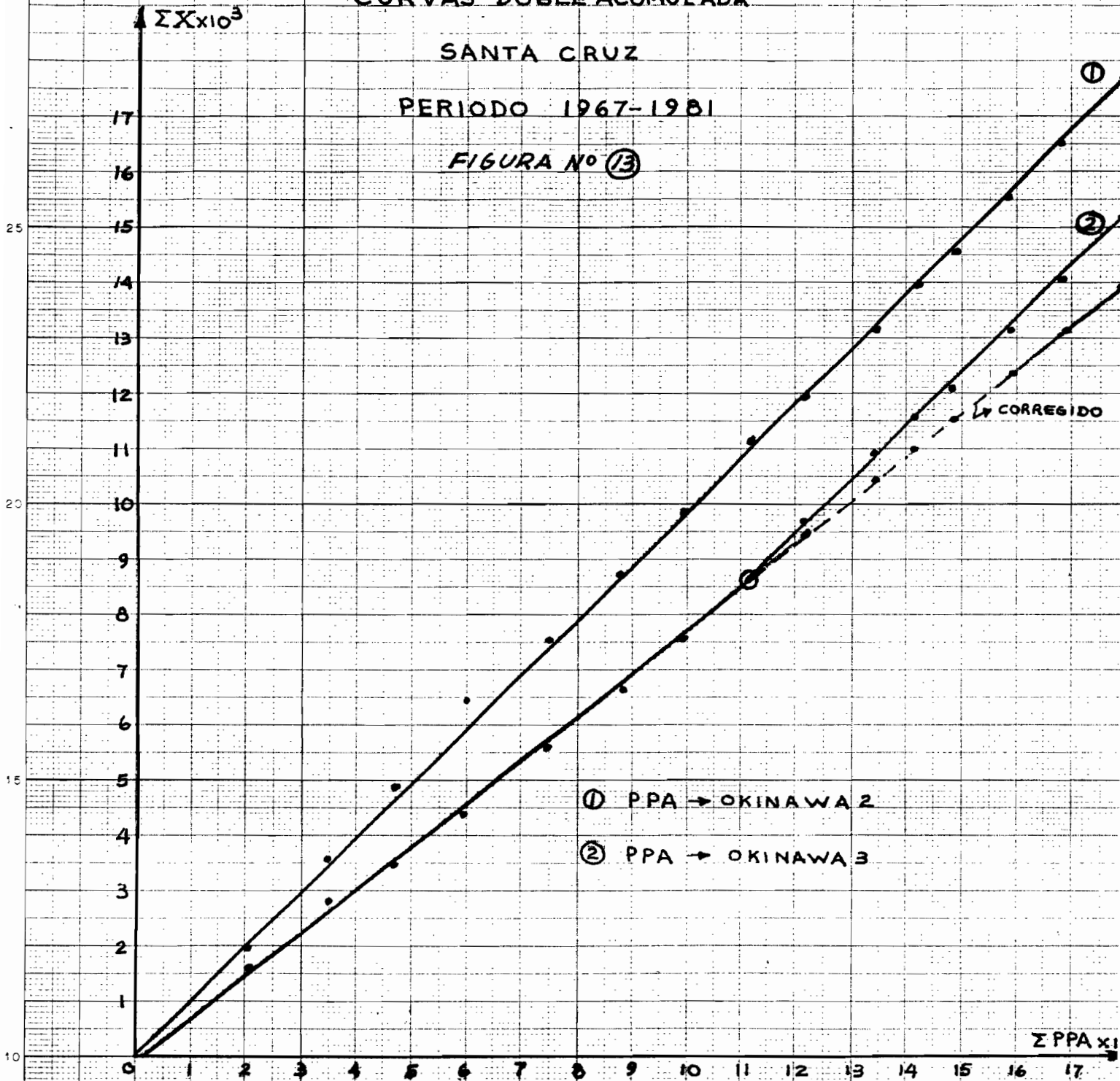


CURVAS DOBLE ACUMULADA

SANTA CRUZ

PERIODO 1967-1981

FIGURA N° 13



① PPA → OKINAWA 2

② PPA → OKINAWA 3

CORREGIDO

2.4 EVAPOTRANSPIRACION

Para el balance hídrico se debe estimar la evapotranspiración real (ETR); y la evaporación en lagos y embalses.

En nuestro estudio solo se estimó ETR, en razón que para estimar el parámetro Evaporación, las lagunas y embalses artificiales tienen un area muy pequeña en relación al tamaño de la cuenca. Otro de los factores para omitir el parámetro evaporación es la escasa o ninguna disponibilidad de información para evaluar dicho parámetro.

2.4.1 EVAPOTRANSPIRACION REAL (ETR)

Es la cantidad de agua que realmente pasa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración.

2.4.2 ESTIMACION DE LA ETR

Su estimación se efectúa mediante fórmulas empíricas, lo que dificulta su precisión, ya que intervienen en ella, además del error de la fórmula misma y de los parámetros meteorológicos que se utilizan, el tipo de cubierta vegetal de la cuenca.

Se debe tener en cuenta que existen dos tipos de superficies, una natural y otra de riego, por lo cual, el cálculo de la ETR debe efectuarse con la fórmula más recomendable. En el caso que la superficie regada sea muy pequeña en relación al total, se puede aplicar únicamente la que se indica para superficies naturales.

Para el estudio se tienen las siguientes fórmulas:

- i) Superficies naturales
 - Turc
 - Thornthwaite y Mather
 - Penman

- ii) Superficies regadas

- Flaney y Criddle
- Grassi y Christiansen

La formula elegida para nuestro estudio es la de Turc, ya que las superficies de riego son pequeñas en relación a la total y por que solo usa los parámetros de precipitación y temperatura medias anuales.

Dicha formula indica lo siguiente:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

donde:

ETR = Evapotranspiración real anual en mm

P = Precipitación anual en mm

L = Parámetro heliotérmico que tiene la expresión:

$$L = 300 + 25\theta + 0,05\theta^3$$

siendo:

θ = Temperatura media anual en °C.

Con esta fórmula se obtienen valores que pueden estar afectados por errores porcentuales altos en cuencas de alta montaña (hielo y nieve) o de alta pluviosidad. Sobreestima la ETR en aproximadamente un 30 %, especialmente en zonas donde la precipitación supera los 2500 mm y la altitud es mayor que 1000 mts. (Segun Guia metodológica).

2.4.3 PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

La elaboración del mapa de isólinas de evapotranspiración real (ETR), se realiza en base a la superposición de mapas de isólinas de precipitación y temperatura. Calculandose la ETR en los puntos de intersección y/o intermedios de las líneas de isoyetas e isotermas, procediendose luego a aplicarle la formula de Turc a cada punto. Con los valores de ETR así generados, se procede al proceso de interpolación.

El trazado de isotermas anuales se efectuó por los métodos usuales; con el cuidado de efectuar el perfil térmico en las zonas altas de la cuenca, ya que en esas zonas se carece de datos de temperatura, y calcular el gradiente térmico vertical (GT) en °C/100 m. (ver figura N°15).

A continuación tenemos los cuadros resumen de las isolneas de ETR divididas por subcuenca, previo cálculo de las áreas entre isolneas con planímetro:

2.4.3.1 ETR POR TURC SUPCUENCA RIO CAINE

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (Km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (Km ² .mm)
MINIMA	500	450	4.060	1.827.000
1	600	650	5.900	3.245.000
MAXIMA	700	750	1.010	656.500
Σ			10.970	5.728.500

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{5.728.500}{10.970} = 522,2 \text{ mm}$$

2.4.3.2 ETR POR TURC SUPCUENCA RIO CPAYANTA

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (Km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (Km ² .mm)
MINIMA	400	350	4.500	1.575.000
1	500	450	5.030	2.263.500
2	600	550	1.380	769.000
MAXIMA	700	650	450	292.500
Σ			11.350	4.890.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{4.890.000}{11.350} = 430,4 \text{ mm}$$

2.4.3.3 ETR POR TURC SUPCUENCA RIO MIZQUE

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (Km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (Km ² .mm)
MINIMA	500	450	4.800	2.160.000
1	600	550	3.930	2.161.500
2	700	650	1.400	910.000
3	800	750	150	112.500
MAXIMA	1000	900	70	63.000
			10.350	5.407.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{5.407.000}{10.350} = 522,4 \text{ mm}$$

2.4.3.4 ETR POR TURC SUPCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (Km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (Km ² .mm)
MINIMA	500	450	900	405.000
1	600	550	7.100	3.905.000
MAXIMA	700	650	1.800	117.000
			9.800	5.480.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{5.480.000}{9.800} = 559,2 \text{ mm}$$

2.4.3.5 ETR POR TURC SUPCUENCA RIO GRANDE HASTA APAFO

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (Km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (Km ² .mm)
MINIMA	600	550	450	247.000
1	700	650	900	585.000
2	800	750	3.550	2.662.500
3	1000	900	6.500	6.850.000
MAXIMA	1000	1000	5.900	5.900.000
			17.300	15.245.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{15.245.000}{17.300} = 881,2 \text{ mm}$$

2.4.3.6 ETR POR TURC SUBCUENCAS ICHILO Y CEAPARE

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (km ² .mm)
MINIMA	500	450	170	76.500
1	600	550	540	297.000
2	700	650	1.550	1.007.500
3	800	750	2.500	1.875.000
4	1000	900	3.100	2.790.000
5	1200	1.100	3.700	4.070.000
6	1400	1.300	6.500	8.450.000
MAXIMA	1600	1.500	5.030	7.545.000
			23.090	26.106.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{26.106.000}{23.090} = 1130,8 \text{ mm}$$

2.4.3.7 ETR POR TURC SUBCUENCAS RICS PIRAY, YAPACANI Y GRANDE

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (km ² .mm)
MINIMA	800	750	13.700	10.276.000
1	1000	900	11.780	10.602.000
2	1200	1100	9.760	10.736.000
MAXIMA	1400	1300	11.370	14.781.000
			46.610	46.394.000

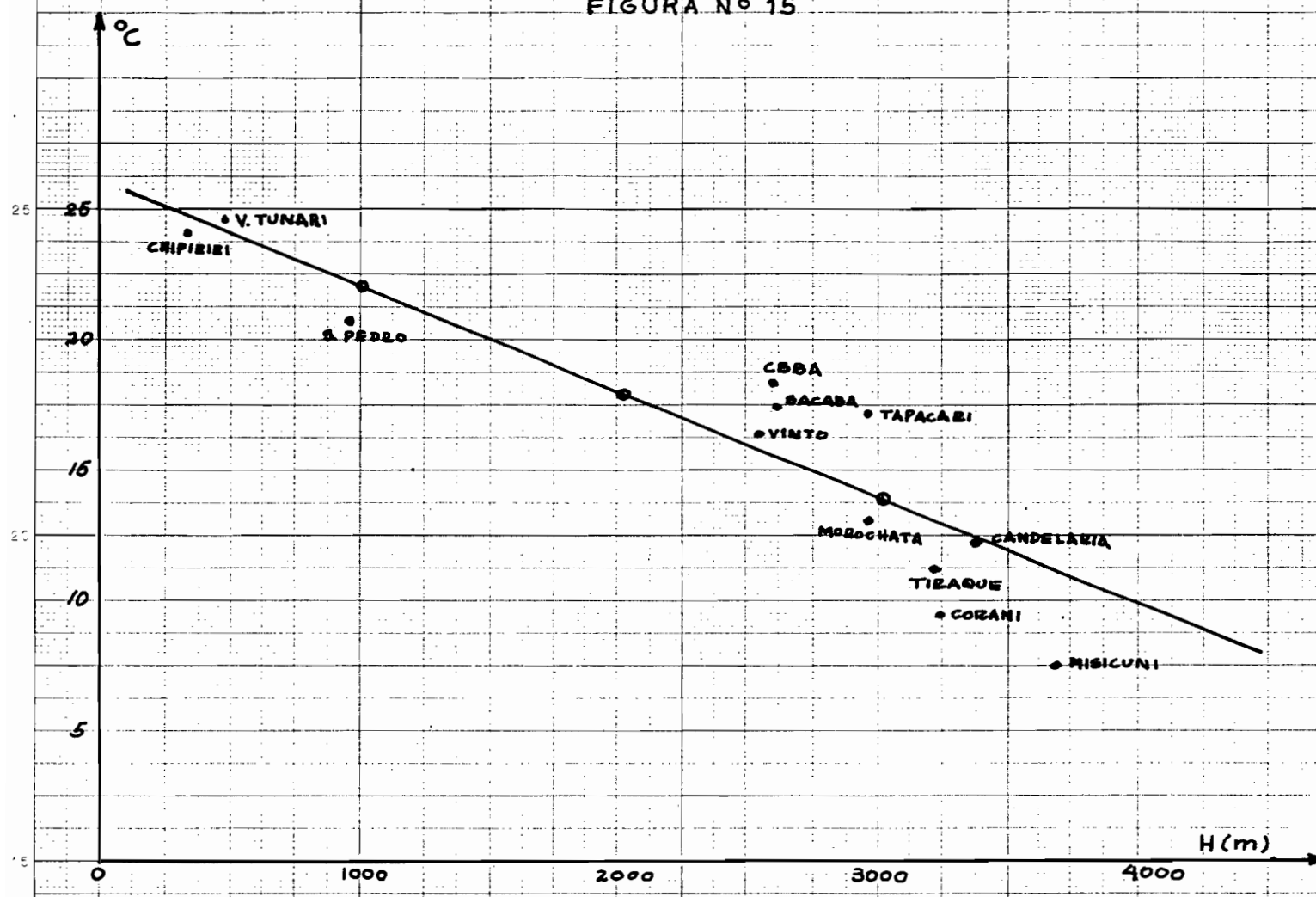
$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{46.394.000}{46.610} = 995,4 \text{ mm}$$

2.4.3.8 ETR POR TURC SUBCUENCA RIC MAMORE

Nº DE ISOLINEA	ETR DE LA ISOLINEA (mm)	ETR ENTRE ISOLINEAS (mm)	AREA ENTRE ISOLINEAS (km ²)	VOLUMEN ETR ENTRE ISOLINEAS (km ² .mm)
MINIMA	700	—	—	—
1	800	750	200	150.000
2	1000	900	870	783.000
3	1200	1100	1.700	1.870.000
4	1400	1300	52.220	67.886.000
MAXIMA	1600	1500	31.680	47.520.000
			86.670	118.209.000

$$\langle \overline{ETR_c} \rangle = \frac{118.209.000}{86.670} = 1363,9 \text{ mm}$$

PERFIL TERMICO ZONA CORDILLERA DEL TUNARI - CHAPARE - VALLE DE COCHA BAMBIA FIGURA N° 15



- 1) Regresión Lineal: $r = -0,924$
- 2) Regresión Ln : $r = -0,86$
- 3) Regresión exponencial: $r = 0,17$
- 4) Regresión de Potencia: $r = 0,05$

→ Es lineal: $y = A + Bx$

- $x = 1000 \rightarrow y = 23,2$
- $x = 2000 \rightarrow y = 17,8$
- $x = 3000 \rightarrow y = 13,4$

$$G.T. = \frac{\theta_B - \theta_A}{H_A - H_B} \times 100 \quad [^{\circ}\text{C}/100\text{ m}]$$

$$G.T. = \frac{20 - 15}{1494,9 - 2634,5} \times 100 = -0,438 \quad ^{\circ}\text{C}/100\text{ m.}$$

EVAPOTRANSPIRACION REAL PROMEDIO ANUAL DE TODA LA CUENCA
DEL RIO MAMCRE

$$\langle \overline{ETR}_c \rangle = \frac{\sum ETR_i * A_i}{A_c}$$

$$\langle \overline{ETR}_c \rangle = 1051,9 \text{ mm}$$

2.5 ESCORRENTIA

El término escorrentía se refiere al escurrimiento superficial de régimen natural.

Las estadísticas fluviométricas al ser obtenidas a partir de mediciones, están expuestas a errores producidos en las diferentes etapas que deben cumplirse hasta obtener los caudales médios diarios, mensuales y anuales. Sin embargo, de todos los parámetros que intervienen en el balance hídrico, la escorrentía superficial es la que puede obtenerse con mayor precisión.

En el presente estudio se tienen datos de caudales a lo largo del río Grande hasta Atapó (ver cuadro 2.2.3), es decir en la zona montañosa de la cuenca. En las subcuencas Ichilo y Chapare se cuentan también con datos de caudales, pero son de afluentes que resultan poco representativos respecto al total de las subcuencas.

Las subcuencas Ichilo-Chapare, Piray-Yapacaní y Grande así como la del río Mamoré, al no tener registros de caudales; mediante el balance hídrico se generó dicho parámetro.

2.5.I ANALISIS DE LA CONSISTENCIA Y CORRECCION DE LAS ESTADISTICAS FLUVIOMETRICAS

Antes de utilizar una estadística fluviométrica, es necesario analizar su consistencia, o sea verificar que durante el período de registro ha sido bien observada la estación hidrométrica, bien calculada su estadística y que el régimen de la cuenca controlada no se ha modificado durante todo ese período.

El método usado es el de las curvas Nobles acumuladas (CDA), explicado en el punto 2.3.4 Precipitación.

Como el método de las CDA se aplica comparando estadísticas fluviométricas entre sí o con precipitaciones, es conveniente utilizar como unidad de escorrentía, mm, ya que es independiente del tamaño de la cuenca y por tanto son del mismo orden de magnitud los valores que se comparan.

2.5.1.1 ANALISIS POR COMPARACION DE ESCORRENTIAS

Cuando una cuenca es hidrológicamente homogénea y se tienen estadísticas fluviométricas en varios lugares, se procede en forma análoga a las precipitaciones; es decir obtener un Patrón de escorrentía (PR), y aplicando el método de las CDA, se seleccionan aquellas que por comparación con este PR aparecen como más consistentes. Con las estadísticas seleccionadas se construye el PR definitivo, comparándose con él cada una de las estadísticas que lo integran.

Con el método CDA, se comparan todas las estadísticas de la cuenca o región hidrológicamente homogénea con este PR.

Cuando la CDA no presenta quiebres, quiere decir que el registro fluviométrico es consistente.

Cuando existe quiebre es necesario investigar la causa de dicho quiebre, que puede ser por:

- a) Error en la obtención de la estadística debido a:
 - error al efectuar o calcular los aforos, especialmente cuando son caudales altos que determinan la parte alta de la curva de descarga,
 - modificación de la sección hidrométrica o del limnómetro,
 - curva de descarga mal determinada,
 - lecturas limnimétricas mal leídas,

- error en el cálculo de los caudales medios diarios, mensuales o anuales.

b) Cambios producidos en el terreno, debidos a :

- construcción, aguas arriba de la estación fluviométrica, (obras hidráulicas como embalses, captaciones, etc),
- puesta en riego de grandes superficies, aguas arriba de la estación fluviométrica,
- modificación de la cubierta vegetal de la cuenca, como forestación, deforestación, erosión de la cuenca y otros
- traslado de la estación a otro lugar del río,

En caso que no se detecte la causa del quiebre, no es conveniente modificar la estadística a través de un índice de corrección.

Nota.- En el presente estudio no se usó el método del PR, anteriormente descrito, por la poca cantidad de estadísticas fluviométricas, en su lugar, se utilizó el método siguiente del punto 2.5.1.2

Cuando no sea posible calcular un PR promedio de varias estadísticas fluviométricas se selecciona una estadística fluviométrica base (RB), que en nuestro caso es Puente Arce, utilizada como patrón.

Como en el caso de la precipitación se acepta como válida, la tendencia del último período y sería la que existe actualmente.

2.5.1.2 ANALISIS POR COMPARACION CON PRECIPITACIONES

En el caso que no existan suficientes estadísticas fluviométricas con las condiciones necesarias para formar un PR, el

análisis de las estadísticas fluviométricas se puede efectuar comparandolas, por el mismo método de las CDA, con el PPA de la cuenca o con una estadística pluviométrica base.

En este caso, la relación entre la escorrentía anual y la precipitación anual no siempre es lineal, los puntos presentan algunas dispersiones a la tendencia general, que es la que interesa. (ver figura N° 16).

La existencia de una sola tendencia indica que la estación fluviométrica es consistente; en caso contrario, o sea si existen quiebres, hay que investigar, como el punto anterior, la razón de la inconsistencia,

En zonas áridas o semiáridas, en las cuales la precipitación anual es muy variable, al no ser lineal la relación escorrentía-precipitación se producen altas dispersiones alrededor de la tendencia definida por la CDA.

En este caso se establece una relación:

$$R_O = f(P_O)$$

siendo:

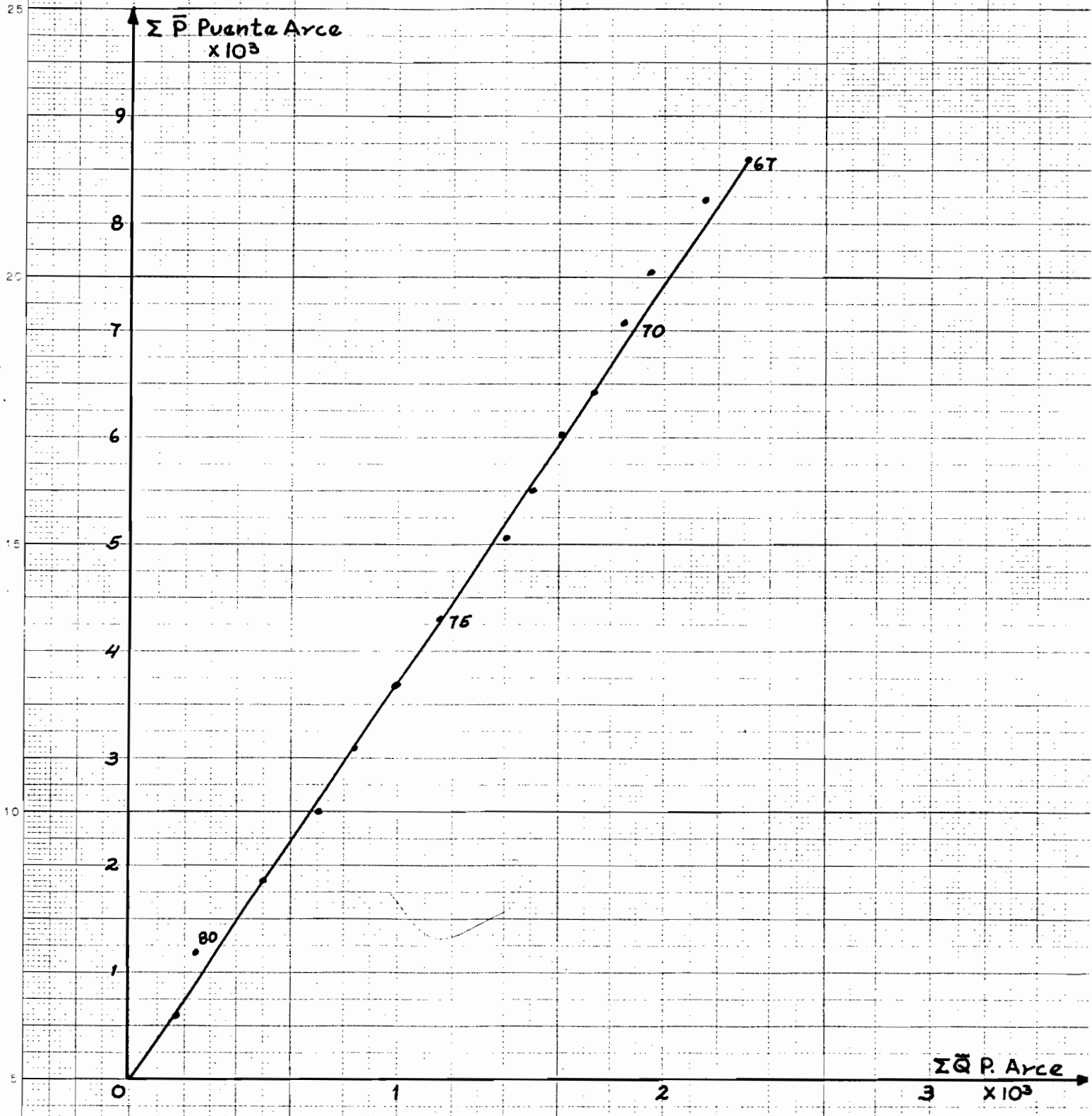
R_O = Escorrentía anual observada

P_O = Precipitación anual observada

Para cada año, en función de P_O se calcula la escorrentía R_c a partir de la relación dada.

Por el método de las CDA se comparan los valores de R_o y R_c . De esta forma quedan mejor determinadas las tendencias y los quiebres, muchos de los cuales desaparecen, ya que son debidos a la existencia de varios años secos o húmedos consecutivos.

ANALISIS DE CONSISTENCIA POR CDA
CAUDAL - PRECIPITACION
FIGURA N° 16



2.5.2 AMPLIACION DE ESTADISTICAS

Como el balance hídrico está previsto para un período de 15 años, es indispensable tener estadísticas con dicho período.

Cuando en un lugar se tenga una estadística incompleta faltándole uno o varios de los caudales medios anuales del período en estudio, será necesario estimar los valores que faltan.

Para ello se tienen los siguientes métodos entre otros:

i) Correlacionar los caudales medios anuales de la estadística en estudio con la estadística fluviométrica base (RB) o con una estadística consistente de una estación hidrométrica cercana. Para esta última se tendrá en cuenta el siguiente orden de prioridad:

- estación en el mismo curso del río,
- estación en un afluente cercano,
- estación de una cuenca vecina,

Las cuencas que controlen dichas estaciones a su vez deben cumplir los siguientes requisitos:

- controlar superficies de cuencas análogas debiendo ser la mayor como máximo, 10 veces la menor
- tener un régimen climatológico e hidrológico similar.

ii) Cuando no existan estaciones hidrométricas con estadística suficiente o sean de calidad dudosa, se puede efectuar correlaciones gráficas entre escorrentías anuales y precipitaciones anuales. Para las precipitaciones anuales se puede utilizar:

- PPA,

- promedio de las precipitaciones anuales de una serie de lugares de la cuenca bien controladas y consistentes.
- estadística pluviométrica de una estación de la cuenca bien controlada y consistente.

Al efectuar estas correlaciones se debe tener en cuenta que la relación $R = f(P)$ puede ser parabólica, especialmente en zonas áridas y semiáridas, pero que en algunos intervalos de P , puede ser considerada lineal.

Para completar los registros mensuales de una estación pluviométrica se pueden utilizar los mismos procedimientos anteriores.

El método usado en este estudio fué el de regresión lineal entre estadísticas pluviométricas, tomando como RP a la estación "Puente Arce" y teniendo en cuenta las prioridades indicadas anteriormente.

2.5.3 ESTIMACION DE CAUDALES PARA CUENCAS CON PCCA INFORMACION

Se aplica en aquellas subcuencas que no poseen control pluviométrico. A continuación tenemos los siguientes casos:

- i) En el caso de dos cuencas de características fisiográficas y de ambiente vegetal similares, con precipitaciones análogas se puede suponer que ambas tienen el mismo caudal específico, o sea:

$$Q_x = (A_x/A_b) Q_b$$

donde :

Q = Caudal en m^3/s

A = Area en Km^2

- ii) En un caso análogo, pero con precipitaciones medias un poco diferentes, se tiene un coeficiente que pondera la diferente pluviosidad en las cuencas, o sea, tenemos:

$$Q_x = (A_x/A_b) \langle P_x/P_b \rangle Q_b$$

donde:

$\langle P \rangle$ = Precipitación media en la cuenca en mm

- iii) En una cuenca montañosa y homogénea pluviométricamente, se puede establecer una relación del tipo:

$$R = f(\bar{H}_c)$$

siendo:

R = Escorrentía en mm o caudal específico en l/s/Km² para el período 67/81

\bar{H}_c = Altitud media de la cuenca

Esta relación se podrá establecer siempre que se tenga controlado pluviométricamente un número suficiente de cuencas, es decir, que se disponga de bastantes estaciones pluviométricas para tener pares de valores (R_i, H_i), correspondiente a cada estación, que permitan trazar gráficamente la relación.

- iv) En una situación análoga a la anterior, de cada cuenca controlada pluviométricamente se puede conocer su escorrentía R, y su precipitación media, P_c, lo que permitirá establecer una relación gráfica del tipo:

$$R = f(\langle \bar{P}_c \rangle)$$

siendo:

R = Escorrentía en mm del período 67/81

$\langle \bar{P}_c \rangle$ = Precipitación media de la cuenca durante el mismo período, medida en mm

La posibilidad de aplicar métodos de correlación regional o

modelos que tengan en cuenta otros parámetros fisiográficos y/o meteorológicos dependerá de las investigaciones desarrolladas localmente.

2.5.4 PRESENTACION DE RESULTADOS

Con las técnicas anteriormente dichas se trataron las estaciones fluviométricas detalladas a continuación: Puente Arce, Angosto Molineros, Puente Tapéras, Puesto Nava (río Grande) y Abapó. Se desechó la estación Puesto Nava (río Mizque), por tener registros mal observados, según verificación con personeros de SENAMHI. (En su caso para controlar la subcuenca del río Miz que se usó la estación Puente Taperas y mediante caudales específicos se llegó hasta la desembocadura con el río Grande).

La subcuenca del río Chayanta tiene registros en Huayrapata solo de dos años, sirvió para verificar que el valor encontrado por la diferencia entre Puente Arce menos el valor de A. Molineros era real (Ver subcuenca río Chayanta).

2.5.4.1 SUBCUENCA RIO CAINE

Esta subcuenca tiene control fluviométrico en Angosto Molineros; su registro es del 72 al 80. Se amplió la serie al período 67-81 con Puente Arce, ya que el coeficiente de correlación lineal entre ambas era de: $r = 0,95$. Una vez ampliada se procedió a verificar la CDA, encontrándose que no existen quiebres, probándose así la consistencia respectiva. (Ver registros en cuadro general de estaciones fluviométricas, y figura N° 17).

2.5.4.2 SUBCUENCA RIO CHAYANTA

Posee control en la desembocadura con el río Caine, en la estación Huayrapata, pero solamente posee 2 años de registro, por lo que se procedió de la siguiente manera:

Se usó la relación siguiente con la subcuenca río Caine:

$$Q_x = \frac{A_x \langle P_x \rangle}{A_b \langle P_b \rangle} Q_b$$

$$Q_x = \frac{11350 (664,2)}{11990 (654,4)} 56,15 = 53,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

Comparando con el promedio de los 2 años de registro de la estación Huayrapata:

$$\begin{array}{l} 73: 88,36 \text{ m}^3/\text{s} \\ 74: 145,67 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \rightarrow \text{promedio: } 117,01 > 53,94$$

Razón por la cual se desechó dicho valor, adoptando el siguiente procedimiento:

$$Q_{ch} = Q_{pa} - Q_c$$

siendo:

Q_{ch} = Caudal promedio anual en subcuenca Chayanta

Q_{pa} = Caudal promedio anual en subcuenca Grande

Q_c = Caudal promedio anual en subcuenca Caine

tenemos:

$$Q_{ch} = 154,87 - 56,16 = 98,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$88,36 < 98,71 < 145,67$$

Por lo que adoptamos este valor para la subcuenca del río Chayanta.

2.5.4.3 SUBCUENCA RIC MIZQUE

Subcuenca con controles en Puente Taperas y en Puesto Nava. Se desechó esta última, por tener registros menores de caudal que en P. Taperas, en especial en la época seca (Abril- Septiembre), debiendo ser que los caudales aguas abajo (P. Nava), sean mayores que aguas arriba (P. Taperas); razón por la cual se eliminó

Puesto Nava y se trabajó con Puente Taperas. (ver CDA fig. N°17).

2.5.4.4 SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

Subcuenca con controles en Puente Arce y Puesto Nava; aguas arriba Puente Arce y aguas abajo Puesto Nava en la unión del río Grande con el río Mizque.

A la estación fluviométrica Puente Arce le faltaba el año 67, el cual se amplió con el promedio de los años 68/80 de la misma estación, ya que se consideró a esta estación como Patrón (RE); probando su consistencia con la estación pluviométrica del mismo nombre dando buenos resultados como se muestran en el gráfico # 16.

La estación Puesto Nava tiene un registro del 71/77. Fue ampliada con Puente Arce, con la cual tiene un coeficiente de correlación de: $r=0,97$.

La CDA presentó dos rectas paralelas a partir del año 74, cuyo valor es alto según la tendencia de la serie; razón por la cual se generó otro valor para dicho año con regresión lineal, con el cual la CDA presentó una línea recta sin quiebres, probándose su consistencia. (ver figura N° 17).

2.5.4.5 SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA ABAPÓ

Esta subcuenca tiene control fluviométrico en la estación Abapó. Es muy importante ya que controla el río Grande y todos sus afluentes de la zona de montaña, pues aguas abajo comienza el llano en el departamento de Santa Cruz.

Dicha estación cuenta con un período de registro del año 72 al 81; se generaron los registros de los años 67 al 71 por regresión lineal entre Abapó y Puesto Nava cuyo coeficiente de correlación es de: $r=0,72$, sin considerar los años 73, 78 y 79, cuyos valores fueron corregidos con regresión lineal: ya que

con los valores iniciales el coeficiente r se reducía. (ver figura N° 18, CDA).

2.5.4.6 CUADRO RESUMEN DE ESTACIONES FLUVIOMETRICAS

AÑO	ANGOSTO MOLINEROS	PUENTE ARCE (RB)	PUESTO NAVA (G)	PUENTE TAPERAS	ABAPO
81	59,25*	160,90	187,34*	35,86*	285,39
80	19,52*	75,90	91,46*	16,71	173,06
79	122,10	263,40	303,02*	59,61	390,51*
78	64,42	197,50	228,68*	49,61	313,64*
77	43,26	139,20	162,82	26,92	167,88
76	49,70	137,00	173,32	38,17	251,98
75	61,75	180,52	205,02	23,87	302,93
74	89,58	248,81	286,55*	61,85	373,47*
73	36,50	117,10	138,67	22,54	220,56*
72	50,10	116,04	129,20	18,18	246,58
71	33,74*	106,33	124,11	17,09	205,50*
70	31,62*	101,80	120,67	27,19	201,94*
69	31,84*	102,27	121,21	34,42	202,50*
68	84,92*	215,79	249,30	48,80*	334,96*
67	59,10*	160,48	186,90	35,76*	270,42*
\bar{Q}	56,16	154,87	180,55	34,43	263,87

RB= estadística fluviométrica base

* valores generados con regresión lineal

Nota.- Caudal anual medio de Huayrapata: 98,71 m³/s, (calculado en punto 2.5.4.2).

2.5.4.7 CAUDALES ESPECIFICOS POR SUPCUENCAS

1) SUPCUENCA RIO CAINE

$$\text{Hasta Molineros: } q' = \frac{56,15 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ l/m}^3}{10365 \text{ km}^2} = 5,41 \text{ l/s/km}^2$$

$$\text{Hasta unión con río Chayanta: } Q' = \frac{5,41 * 600 \text{ km}^2}{1000} = 3,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_T = 56,15 + 3,25 = 59,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = \frac{59,4 * 1000}{10990} = 5,40 \text{ l/s/km}^2$$

2) SUBCUENCA RIO CHAYANTA

$$q = \frac{98,71 * 1000}{11350} = 8,69 \text{ l/s/km}^2$$

3) SUBCUENCA RIO MIZQUE

Hasta P. Taperas: $q = \frac{34,43 * 1000}{6969,6} = 4,94 \text{ l/s/km}^2$

Caudal hasta P. Nava: $Q = \frac{4,94 * 10400}{1000} = 51,41 \text{ m}^3/\text{s}$

4) SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

Como es subcuena intermedia, usamos la relación:

$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1} - \sum Q_i}{A_{i+1} - \sum A_i}$$

siendo:

Q_{i+1} = Caudal observado en el punto $i+1$

Q_i = Caudales observados en los puntos i que limitan la cuenca aguas arriba

A_{i+1} = Area de la cuenca total controlada por el punto $i+1$

A_i = Areas de las cuencas controladas por los puntos i

tenemos entonces:

$$q_{i+1} = \frac{(180,55 - 154,87) * 1000}{32140 - 22340} = 2,62 \text{ l/s/km}^2$$

5) SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA APAPO

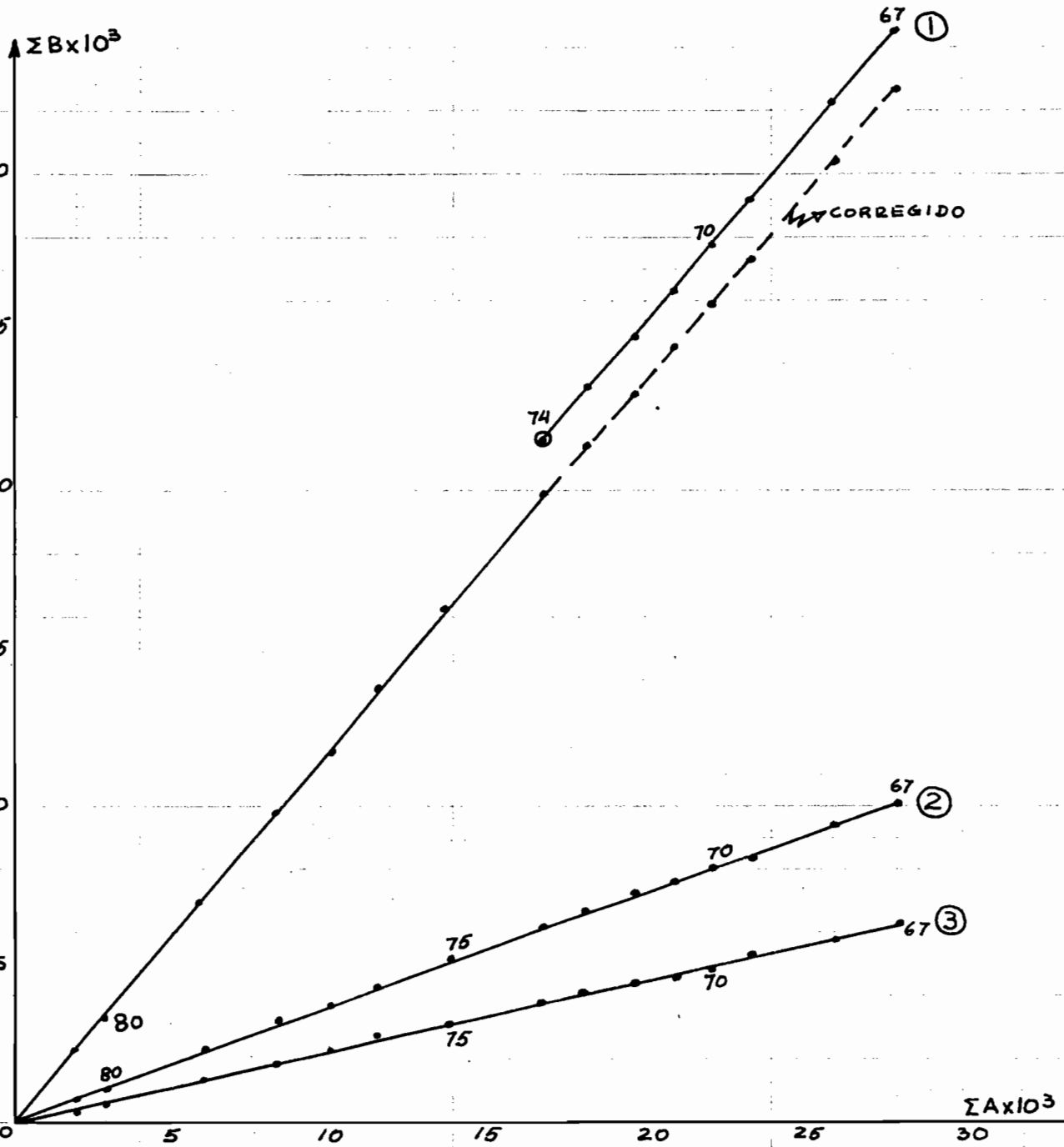
$$q_{i+1} = \frac{(263,87 - 232,04) * 1000}{59840 - 42540} = 1,84 \text{ l/s/km}^2$$

Estos valores q_{i+1} son importantes, ya que corresponden a la escorrentía de la subcuena R_{i+1} , en mm, lo que permite comparar las escorrentías observadas con las calculadas:

$$R_{i+1} = P_{i+1} - ETR_{i+1}$$

CDA- CAUDALES - PERIODO 67-81

FIGURA N° 17

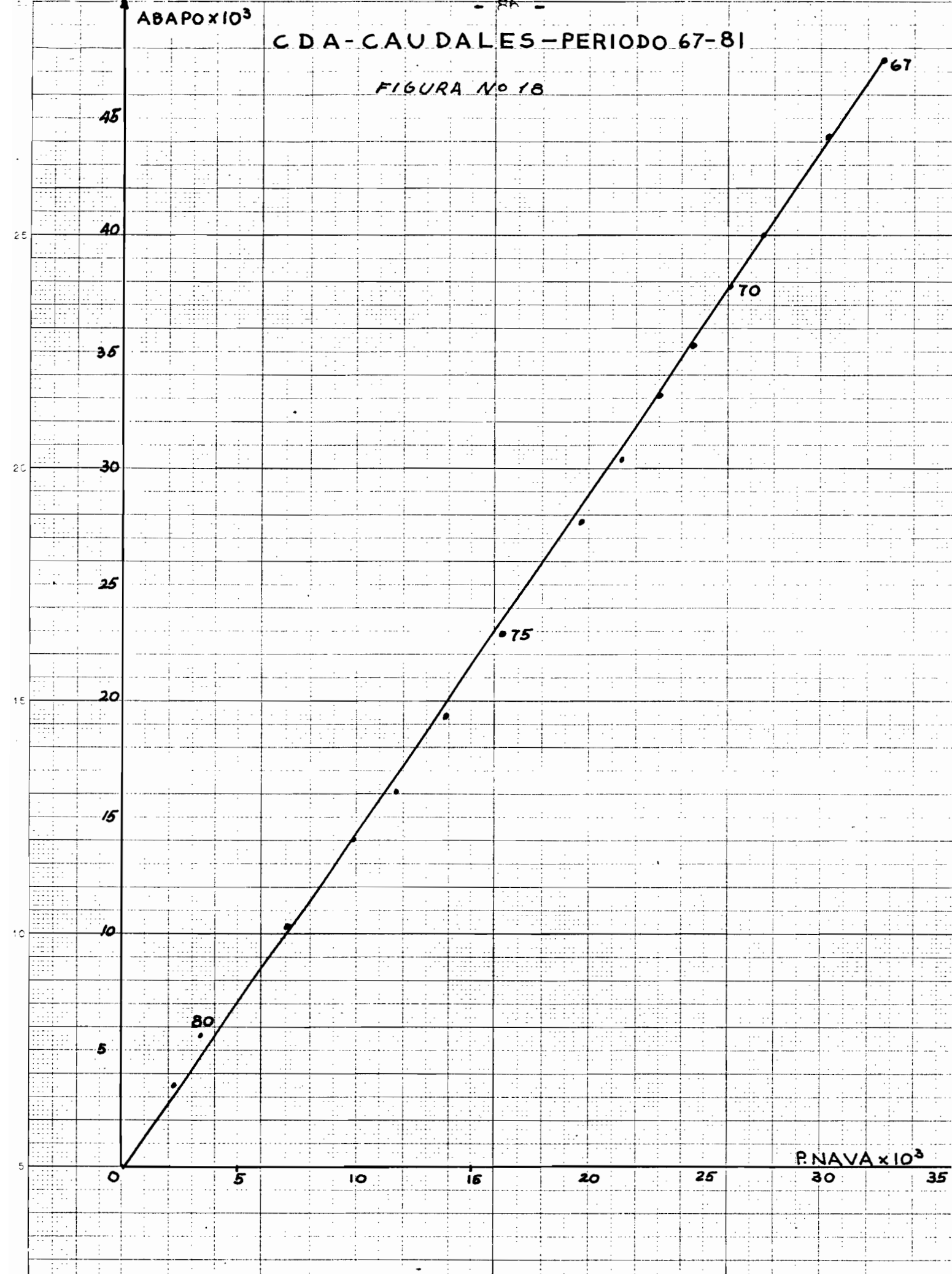


- ① PUENTE ARCE → PUESTO NAVA
- ② PUENTE ARCE → ANGOSTO MOLINEROS
- ③ PUENTE TAPERAS → PUESTO NAVA

ABAPO $\times 10^3$

CDA-CAUDALES - PERIODO 67-81

FIGURA No 18



C A P I T U L O 33

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL

Puesto que el balance hídrico se realiza para un período de 15 años (1967-1981), se puede considerar que los parámetros que representan las regulaciones, infiltración y escorrentía subterránea son despreciables con respecto a los otros términos de su ecuación.

De acuerdo a estas simplificaciones la ecuación que se utilizará tendrá la forma:

$$\langle \bar{P} \rangle = \langle \bar{R} \rangle + \langle \overline{ETR} \rangle + \eta$$

siendo:

$\langle \bar{P} \rangle$ = Precipitación en mm

$\langle \bar{R} \rangle$ = Escorrentía superficial en mm

$\langle \overline{ETR} \rangle$ = Evapotranspiración real en mm

η = Término de discrepancia

Si al aplicar la ecuación del balance hídrico en una región y después de realizar los ajustes tentativos, no puede ser verificada la condición de continuidad de masa por ser muy grande, se recomienda establecer un programa específico de investigación con el propósito de que sean detectadas sus causas, las cuales pueden ser en última instancia fuentes y sumideros del elemento agua.

Para el cálculo de la escorrentía en mm tenemos la siguiente ecuación:

$$\langle \bar{R} \rangle = (\bar{Q}_{so} - \bar{Q}_{si}) \frac{T}{A} 1000 \text{ (en mm)}$$

siendo:

Q_{so} = Caudal efluente de la cuenca en m^3/s

Q_{si} = Caudal afluente a la cuenca en m^3/s

T = $31,536 \times 10^6$ s

A = Area de la cuenca en $10^6 m^2$

Cuando una cuenca no recibe aportes superficiales de cuencas vecinas por ser cabecera de cuenca, entonces $Q_{si}=0$.

Los términos P , R , ETR , Q_{so} , Q_{si} corresponden al promedio anual del período considerado.

El método general se basa en el trazado, para cada región o cuenca, de mapas de isoyetas, isotérmicas e isolíneas de evapotranspiración y escorrentía en mm. El mapa de isolíneas de escorrentía, se remplazó por un mapa de caudales específicos, en las unidades; $(l/s/km^2)$.

El orden para realizar el balance hídrico de una cuenca dividida en subcuencas, será desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Siendo la escorrentía el componente que se mide con más precisión, para el cálculo del balance hídrico se podrán dividir las subcuencas en dos clases: las que tienen control fluviométrico y las que no lo tienen. Cada una de ellas se subdividirá según tenga o no controles que midan los otros parámetros.

En resumen tenemos:

- i) cuencas con control fluviométrico
 - cuencas con antecedentes de R , P , y ETR (#)
 - cuencas con antecedentes de R y P

- cuencas con antecedentes de R solamente
- ii) cuencas sin control fluviométrico
 - cuencas con antecedentes de P y ETR (#)
 - cuencas con antecedentes de P solamente
- iii) cuencas sin antecedentes de R, P, y ETR (#)

(#) casos que se tienen en el presente estudio.

3.1 CUENCAS CON CONTROL FLUVIOMETRICO

Son aquellas en las cuales se puede determinar, R, utilizando estadísticas observadas o ampliadas.

En el presente estudio tenemos cuencas con antecedentes de R, P y ETR. (subcuencas del río Grande hasta Abapó).

Al calcular separadamente cada uno de los parámetros P, R, y ETR se tendrá la ecuación

$$P = R + ETR + \eta$$

Los valores de P, ETR se obtienen a partir de los mapas de isoyetas y de isolíneas de ETR, así:

$$R = (P - ETR) + \eta$$

De acuerdo a lo expresado anteriormente el valor de R es el más confiable, luego no se corregirá y por tanto el término correctivo deberá repartirse entre P y ETR siempre que este sea grande, lo que equivale a modificar el trazado de isoyetas, de isotermas y de isolíneas de ETR. Esta corrección se efectuará después de una detallada investigación de los posibles factores no considerados.

3.2 CUENCAS SIN CONTROL FLUVIOMETRICO

Son cuencas en las cuales no se puede calcular en forma directa el parámetro R.

En el presente estudio se tienen antecedentes de P y ETR; (subcuencas Ichilo-Chapare; Piray-Yapacaní y Grande; y del río Mamoré); es decir la zona de estribaciones de montaña y llanura.

En este caso se tiene:

$$R = P - ETR$$

Adoptandose que la discrepancia es igual a cero:

$$\eta = 0$$

Se debe tratar de verificar el valor de R; en nuestro caso se comparará con la relación del punto 2.5.4.2 tratando en lo posible que las cuencas tengan condiciones similares, en caso contrario se verá que las diferencias son también notorias.

3.3 CUENCAS SIN DATOS

La zona con esta característica corresponde en nuestro estudio a la zona norte de las subcuencas Ichilo-Chapare; zona norte de las subcuencas de los ríos Piray-Yapacaní y Grande y la zona sur de la subcuenca del río Mamoré.

Como ya se explicó anteriormente, los parámetros de P y ETR en estas zonas, fueron obtenidos con el trazado de isoyetas, isoterms e isolíneas de ETR entre estaciones lejanas como ser (Pueblo Villarroel, Todos Santos, Chipiriri, con Trinidad, San Borja, San Ignacio de Moxos, A. de Guarayos, y Colonia San Juan; es decir continuar en forma aproximada la tendencia que seguían las diferentes isolíneas y unir las con aquellas de las zonas donde existían datos.

Esto se hizo gracias a que existe homogeneidad entre las zonas mencionadas, ya que practicamente estamos en una zona con las mismas características de geología, orografía, suelos, vegetación y aspectos como drenajes y régimen de los ríos, así como área de drenaje y pendiente.

3.4 PRESENTACION DE RESULTADOS

3.4.1 SUCUENCA RIO CAINE

$$\begin{aligned} P_c &= 654,4 \text{ mm} \\ Q &= 59,4 \text{ m}^3/\text{s} \\ A &= 10990 \text{ Km}^2 \\ ETR &= 522,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R = 59,4 \times 31536 \times \frac{1}{10990} \times \frac{1}{1000} = 170,4 \text{ mm}$$

Balance hídrico:

$$P = R + ETR + \eta$$

$$654,4 = 170,4 + 522,2 + \eta$$

$$\eta = 38,2 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 6 %

3.4.2 SUCUENCA RIO CHAYANTA

$$\begin{aligned} P_c &= 664,2 \text{ mm} \\ Q &= 98,4 \text{ m}^3/\text{s} \\ A &= 11350 \text{ Km}^2 \\ ETR &= 430,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R = 98,4 \times 31536 \times \frac{1}{11350} \times \frac{1}{1000} = 273,4 \text{ mm}$$

Balance hídrico:

$$664,2 = 273,4 + 430,4 + \eta$$

$$\eta = 30,6 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 6 %

3.4.3 SUBCUENCA RIO MIZQUE

$$\begin{aligned} P_c &= 652,9 \text{ mm} \\ Q &= 51,41 \text{ m}^3/\text{s} \\ A &= 10400 \text{ Km}^2 \\ \text{ETR} &= 522,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R = 51,41 \times 31536 \times \frac{1}{10400} \times \frac{1}{1000} = 155,9 \text{ mm}$$

Balace hídrico:

$$652,9 = 155,9 + 522,1 + \eta$$

$$\eta = 25,1 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 3,8 %

3.4.4 SUBCUENCA RIO GRANDE HASTA PUESTO NAVA

$$\begin{aligned} P_c &= 629,2 \text{ mm} \\ Q_{si} &= 154,87 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{so} &= 180,55 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{ETR} &= 559,2 \text{ mm} \\ A &= 9800 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

$$R = (180,55 - 154,87) \times 31536 \times \frac{1}{9800} \times \frac{1}{1000} = 82,6 \text{ mm}$$

Balace hídrico:

$$629,2 = 82,6 + 559,2 + \eta$$

$$\eta = 12,6 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 2%

3.4.5 SUCUENCA RIO GRANDE HASTA APAPO

$$\begin{aligned}P_c &= 996,4 \text{ mm} \\Q_{si} &= 232,04 \text{ m}^3/\text{s} \\Q_{so} &= 263,87 \text{ m}^3/\text{s} \\ETR &= 881,2 \text{ mm} \\A &= 17300 \text{ Km}^2\end{aligned}$$

$$R = (263,87 - 232,04) \times 31536 \times \frac{1}{17300} \times \frac{1}{1000} = 58,0 \text{ mm}$$

Balance hídrico:

$$996,4 = 58,0 + 881,2 + \eta$$

$$\eta = 57,2 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 5,7 %

Nota.- A partir del siguiente punto, las subcuencas no tienen control fluviométrico por lo que el balance hídrico servirá para estimar el parámetro de escorrentía R, en la hipótesis de que $\eta = 0$.

3.4.6 SUCUENCAS RIOS ICHILO Y CHAPARE

$$\begin{aligned}P_c &= 2499,5 \text{ mm} \\ETR &= 1130,8 \text{ mm} \\A &= 23070 \text{ Km}^2\end{aligned}$$

Balance hídrico:

$$\begin{aligned}R &= P_c - ETR \\R &= 2499,5 - 1130,8 \\R &= 1368,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Entonces el caudal será:

$$Q = \frac{1368,7 \times 23070 \times 1000}{31,536 \times 10^6} = 1001,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y el caudal específico:

$$q = \frac{1001,3 \times 1000}{23070} = 43,4 \text{ l/s/Km}^2$$

3.4.7 SUBCUENCAS RICS PIRAY, YAPACANI Y GRANDE

$$Pc = 1421,0 \text{ mm}$$

$$ETR = 995,4 \text{ mm}$$

$$A = 46660 \text{ Km}^2$$

Balance hídrico:

$$R = 1421,0 - 995,4 = 425,6 \text{ mm}$$

El caudal será:

$$Q = \frac{425,6 \times 46660}{31536} = 629,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entonces:

$$Q_{si} = 263,87 \text{ m}^3/\text{s} \quad ; \quad Q_{so} = 893,58 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal específico es:

$$q = \frac{629,71 \times 1000}{46660} = 13,5 \text{ l/s/Km}^2$$

3.4.8 SUBCUENCA RIO MAMCRE HASTA PUERTO SILES

$$Pc = 2260,5 \text{ mm}$$

$$ETR = 1369,6 \text{ mm}$$

$$A = 86670 \text{ Km}^2$$

Balance hídrico:

$$R = 2260,5 - 1369,6 = 890,9 \text{ mm}$$

El caudal será:

$$Q = \frac{890,9 \times 86670}{31536} = 2448,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y el caudal específico es:

$$q = \frac{2448,45 \times 1000}{86670} = 25,94 \text{ l/s/Km}^2$$

3.4.9 COMPROBACION DE CAUDALES PARA SUBCUENCAS SIN CONTROL FLUVIOMETRICO

A fin de confirmar y comprobar la bondad del orden de magnitud de los caudales estimados mediante balance hídrico en las subcuencas sin control fluviométrico, se realiza una estimación mediante otros criterios, los cuales se detallan a continuación:

- Subcuencas Ichilo- Capare

Segun registros de caudales de la estación fluviométrica Locotal en el río Santa Isabel, perteneciente a la subcuenca en estudio, tenemos lo siguiente:

Caudal promedio 67/81; $Q = 12,3 \text{ m}^3/\text{s}$
Area de drenaje: $198,7 \text{ Km}^2$

$$q = \frac{12,3 \times 1000}{198,7} = 61,9 \text{ l/s/Km}^2$$

Extendiendo este caudal específico a toda la subcuenca tenemos:

$$Q = \frac{61,9 \times 23070}{1000} = 1428,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por balance tenemos: $Q = 1001,3 \text{ m}^3/\text{s}$

La diferencia es debida a que la estación Locotal, tiene un área de drenaje muy pequeña en relación al total; pero con el fin de comprobación se concluye que el orden de magnitud del caudal obtenido por balance es correcto.

- Subcuencas Piray- Yapacaní y Grande

Comparamos con las subcuencas Ichilo- Chaparé y con Abapó usando el siguiente criterio:

Puesto que la subcuenca Piray- Yapacaní y Grande, está localizada entre las subcuencas Ichilo- Chapare y Abapó; y la tendencia del régimen de precipitación de la subcuenca Piray- Yapacaní y Grande, es intermedia a las que tienen las subcuencas Ichilo- Chapare y Abapó; de esta manera es que se utilizó el criterio, de hallar un promedio comparando con dichas subcuencas.

$$Q_x = \frac{1}{2} \left(\frac{A_x P_x}{A_B P_B} Q_B + \frac{A_x P_x}{A_C P_C} Q_C \right)$$

subcuencas de Santa Cruz subcuencas Ichilo
Chapare

$$A_x = 46660 \text{ Km}^2$$

$$P_x = 1421,0 \text{ mm}$$

$$A_b = 23070 \text{ Km}^2$$

$$P_b = 2499,5 \text{ mm}$$

$$Q_b = 1001,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Subcuenca río Grande
hasta Abapó

$$A_c = 17300 \text{ Km}^2$$

$$P_c = 996,4 \text{ mm}$$

$$Q_c = 31,86 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tenemos entonces:

$$Q_x = \frac{1}{2} \left(\frac{46660 \times 1421,0}{23070 \times 2499,5} 1001,3 + \frac{46660 \times 1421,0}{17300 \times 996,4} 31,86 \right)$$

$$Q_x = \frac{1}{2} (1151,3 + 122,4)$$

$$Q_x = 636,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por balance el caudal es: $Q = 629,71 \text{ m}^3/\text{s}$

El valor obtenido así resulta bastante semejante al que se halló por balance hídrico.

- Subcuenca río Mamoré

Comparamos con Santa Cruz:

subcuenca río Mamoré

$$A_x = 86670 \text{ Km}^2$$

$$P_x = 2260,5 \text{ mm}$$

subcuenca de Santa Cruz

$$A_b = 46660 \text{ Km}^2$$

$$P_b = 1421,0 \text{ mm}$$

$$Q_b = 629,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_x = \frac{86670 \times 2260,5}{46660 \times 1421,0} 629,7 = 1860,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por balance tenemos: $Q_x = 2448,45 \text{ m}^3/\text{s}$

La diferencia se debe a que las precipitaciones de ambas subcuencas varían en un 37 %, lo que hace que los caudales varíen en un 31 %, pero a fin de verificar en orden de magnitud, admitimos que el valor por balance es correcto.

3.5 BALANCE HIDRICO ACUMULANDO SUBCUENCAS

Se tomaron como puntos de control, las estaciones de Puerto Nava, Abapó y Puerto Siles.

3.5.1 BALANCE HIDRICO HASTA PUESTO NAVA

$$P = 650,2 \text{ mm}$$

$$ETR = 501,1 \text{ mm}$$

$$Q = 180,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_c = 32140 \text{ Km}^2$$

$$R = \frac{180,55 \times 32140}{32140} = 177,2 \text{ mm}$$

$$\text{Balance hídrico: } 650,2 = 501,1 + 177,2 + \eta$$

$$\eta = 28,3 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 4 %

3.5.2 BALANCE HIDRICO HASTA APAPO

$$Pc = 750,9 \text{ mm}$$

$$ETR = 614,1 \text{ mm}$$

$$Q = 263,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 59840 \text{ Km}^2$$

$$R = \frac{263,87 \times 31536}{59840} = 139,1 \text{ mm}$$

$$\text{Balance hídrico: } 750,9 = 139,1 + 614,1 + \eta$$

$$\eta = 2,3 \text{ mm}$$

Diferencia con relación a P: 0,3 %

3.5.3 BALANCE HIDRICO HASTA PUERTO SIJES (BALANCE DE TODA LA CUENCA DEL RIO MAMCRE)

$$Pc = 1687,1 \text{ mm}$$

$$A = 216240 \text{ Km}^2$$

$$ETR = 1051,9 \text{ mm}$$

$$Q = 4346,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R = \frac{4346,49 \times 31536}{216240} = 633,9 \text{ mm}$$

$$\text{Balance hídrico: } 1687,1 = 633,9 + 1051,9 + \eta$$

$$\eta = 1,3 \text{ mm}$$

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECCOMENDACIONES

Como conclusión se dá el resumen de los principales resultados obtenidos:

- Subcuenca río Caine

$$\begin{aligned}\langle \bar{P}_c \rangle &= 654,4 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 522,2 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 170,4 \text{ mm} \\ Q &= 59,4 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 5,41 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuenca río Chayanta

$$\begin{aligned}\langle \bar{P}_c \rangle &= 664,2 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 430,4 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 273,4 \text{ mm} \\ Q &= 98,4 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 8,69 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuenca río Mizoue

$$\begin{aligned}\langle \bar{P}_c \rangle &= 652,9 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 522,1 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 155,9 \text{ mm} \\ Q &= 51,41 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 4,94 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuenca río Grande hasta Puerto Nave

$$\begin{aligned}\langle \bar{P}_c \rangle &= 629,2 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 559,2 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 82,6 \text{ mm} \\ Q_{si} &= 154,87 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{so} &= 180,55 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 2,62 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuenca río Grande hasta Abapó

$$\begin{aligned}\langle \bar{Pc} \rangle &= 996,4 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 881,2 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 58,0 \text{ mm} \\ Q_{si} &= 232,04 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{so} &= 263,87 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 1,84 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuencas ríos Ichilo y Chanare

$$\begin{aligned}\langle \bar{Pc} \rangle &= 2499,5 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 1130,8 \text{ mm} \\ \langle \bar{R} \rangle &= 1368,7 \text{ mm} \\ Q &= 1001,3 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 43,4 \text{ l/s/Km}^2\end{aligned}$$

- Subcuencas ríos Piray, Yapacaní y Grande

$$\begin{aligned}\langle \bar{Pc} \rangle &= 1421,0 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 995,4 \text{ mm} \\ Q_{si} &= 263,87 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{so} &= 893,58 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 13,5 \text{ l/s/Km}^2 \\ \langle \bar{R} \rangle &= 425,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Subcuenca río Mamoré

$$\begin{aligned}\langle \bar{Pc} \rangle &= 2260,5 \text{ mm} \\ \langle \overline{ETR} \rangle &= 1369,6 \text{ mm} \\ Q &= 2448,45 \text{ m}^3/\text{s} \\ q &= 25,94 \text{ l/s/Km}^2 \\ \langle \bar{R} \rangle &= 890,9 \text{ mm}\end{aligned}$$

A continuación presentamos el cuadro de resultados del balance hídrico:

PAIS: BOLIVIA

BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA: RIO MAMORE

SUBCUENCA	AREA DE DRENAJE Km ²	PRECIPITACION <P̄>		ESCORRENTIA <R̄>			EVAPOTRANSPIRACION REAL. <ETR>		DISCREPANCIA <P̄> - <R̄> - <ETR>			COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO.
		mm	Km ³	l/s/km ²	mm	Km ³	mm	Km ³	mm	Km ³	%	R / P
CAÑE	10.990	654,4	7,19	5,4	170,4	1,87	522,2	5.74	38,2	0,42	6	0,26
CHAYANTA	11.350	664,2	7,53	8,69	273,4	3,10	430,4	4.88	39,6	0,45	6	0,41
MLZQUE	10.400	652,9	6,79	4,94	155,9	1,62	522,1	5.43	25,1	0,26	3,8	0,24
GRANDE HASTA PUESTO NAVA	9.800	629,2	6,17	2,62	82,6	0,81	559,2	5.48	12,6	0,12	2	0,13
GRANDE HASTA ABAPO	17.300	996,4	17,2	1,84	58,0	1,00	881,2	15.24	57,2	1,00	6	0,06
ICHILO-CHAPARE	23.070	2499,2	57,66	43,4	1368,7	31,3	1130,8	26.10	--	--	-	0,55
PIRAL GRANDE YAPACANI	46.660	1421,0	66,30	13,5	425,6	19,86	995,4	46.4	--	--	-	0,30
MAMORE	86.670	2260,5	195,91	25,9	890,9	77,21	1359,6	117.84	--	--	-	0,39
ACUMULADO GRANDE PUESTO NAVA	32.140	650,2	20,90	5,61	177,2	5,70	501,1	16.10	28,3	0,91	4	0,27
ACUMULADO GRANDE ABAPO	59.840	750,9	44,93	4,40	139,1	8,32	614,1	36.75	2,3	0,14	0	0,18
ACUMULADO MAMORE (TOTAL CUENCA)	216.240	1687,1	364,82	20,1	633,9	137,10	1051,9	227.47	1,3	0,3	0,3	0,38

Del análisis del balance hídrico, en sus diferentes acónites se concluye lo siguiente:

- La información hidrometeorológica tratada en el presente estudio, fué obtenida de los archivos originales del SENAMHI; presentando un alto grado de consistencia, lo que repercute favorablemente cuando es compatibilizada hacia toda la cuenca, para obtener la distribución espacial de los diferentes parámetros, los cuales se ajustan a la ecuación del balance con una buena precisión, lo que queda expresado en el término de discrepancia que resulta ser muy bajo. De esta forma se infiere que la red hidrometeorológica está observada en forma homogénea y registrando información confiable.
- Referente a la cantidad de estaciones, se observa que existen zonas con una red aceptable, caso de las subcuencas del río Caine, Mizque y región central de Santa Cruz; sin embargo no existe una buena distribución en dichas subcuencas, ya que se agrupan en determinadas regiones, dejando a otras sin red. En el caso de las subcuencas Chayanta, Grande hasta P. Nava, y Grande hasta Atapó, existe una regular cantidad de estaciones. En el Norte de las subcuencas Ichilo-Chapare, Norte de Santa Cruz y la subcuenca del río Mamoré, existen muy pocas estaciones y presentando además grandes distancias entre ellas.
- En general, las estaciones poseen buena calidad de observación, como se puede ver en las curvas CDA, las cuales en su gran mayoría presentan una línea recta.
- Las estaciones eliminadas del presente estudio, tenían registros cortos y algunas no presentaban buena correlación, pero siempre existían otras cercanas, con las cuales se realizó el estudio, sobre todo, en el parámetro de precipitación.

- Las estaciones fluviométricas tienen muy buenos registros de caudales, sobretudo la estación Fuente Arce, la cual fue empleada como estación base, y mediante ella se generaron datos a las otras, para el período de 15 años que exigía el balance.
- La estación fluviométrica Puesto Nava en el río Mizque presenta valores mal observados, si se compara con la estación Puente Taperas que está aguas arriba, ya que se registran valores menores en P. Nava, sobre todo en la época seca, esto fue verificado que dichos registros fueron mal observados. Dicha verificación fue dada por personeros del SENAMHI.
- La estación fluviométrica Ahanó, presentó algunos valores mal observados, comparando con Puesto Nava en el río Grande, los cuales fueron generados con regresión lineal, viendo el orden de magnitud de las estadísticas de las dos estaciones.
- Los registros de temperatura son buenos y cualquier error en la observación, se compensa por la poca variación que se presenta con relación al valor medio anual.
- En el mapa N° 1 de precipitación media anual, se observa la máxima precipitación, en la zona del Chaparo, siendo el centro de la misma la estación San Mateo con 6360,4 mm. La precipitación va disminuyendo en forma gradual hacia la zona de llanura (Santa Cruz y Beni), al alejarse de dicho centro; mientras que hacia la cordillera del Tunari, disminuye en forma brusca, debido al fuerte gradiente existente y pasando al valle de Cochabamba con una precipitación del orden de los 700 mm.
En los valles de Cochabamba, Chuquisaca y Santa Cruz, tenemos una distribución en que las isoyetas forman líneas cerradas, debido al efecto orográfico propio de los valles. La precipitación va disminuyendo hacia la zona de

Potosí, llegando a un valor de 400 mm. En la zona de Masicurí, la precipitación llega a los 1745,2 mm y reduciéndose hasta los 800 mm en pocos Km. a la redonda.

- En el mapa Nº 2 de temperaturas medias anuales, se observa claramente el ingreso del frente cálido ecuatorial, hacia la zona del Chapare, con valores de 27°C en Magdalena y 25°C en el Chapare. En la zona de llanura las temperaturas tienen muy poca variación, disminuyendo ligeramente hacia el Sur. En los valles forma líneas cerradas por la topografía del lugar. Los valores mínimos de temperatura se encuentran en la cordillera del Tunari, con valores menores a los 4°C y en la región de Colquechaca con 7,2 °C.

- En el mapa Nº 3 de ETR, observamos un aumento de la misma de Sur a Norte. Forma curvas cerradas en los valles, con un aumento en la zona de Masicurí.
Esta distribución nos indica que a mayor temperatura y precipitación tendremos mayor ETR, según la fórmula teórica de Turc.

- En el mapa Nº 4 de caudales específicos, se da la variación de los mismos por subcuencas, con un valor máximo en las subcuencas de los ríos Ichilo y Chapare, y mínimo en la subcuenca de Atapó.
Es de hacer notar que los caudales específicos hasta la subcuenca de Atapó están en base a datos observados, mientras que en las subcuencas del Chapare, Santa Cruz y el departamento del Beni, fueron hallados gracias a las bondades del balance hídrico.

- Sobre los resultados referentes al cuadro general del balance hídrico de la cuenca del río Mamoré, podemos concluir lo siguiente:

En él se indican las diferentes subcuencas, con sus respectivas áreas de drenaje, los registros de cada uno de los parámetros que intervienen en él, la discrepancia al efectuarse el balance y el coeficiente de escurrimiento.

Es de hacer notar, que en cada uno de los parámetros del balance, tenemos los valores espaciales, todos ellos promedios anuales medios, para el período que exige el balance el cual es de 15 años.

Los valores expresados en Km^3 , son el producto del área de drenaje con cada uno de los valores de los parámetros componentes del balance; con un factor de corrección de unidades.

El término de discrepancia resulta ser mínimo, teniendo sus valores mayores en las subcuencas nacientes, es decir en la del Caine y Chayanta, además en la subcuenca del río Grande hasta Atapó, en todas ellas con un 6 %, siendo aceptable.

En las subcuencas Ichilo-Chapare, Piray-Yapacaní-Grande, y del río Mamoré, por la generación del parámetro escurrimiento, se adoptó como nulo el factor de discrepancia.

El coeficiente de escurrimiento, nos da valores máximos en las subcuencas Ichilo-Chapare, Piray-Yapacaní-Grande, y Mamoré; y mínimo en la subcuenca del río Grande hasta Atapó.

La primera parte del cuadro, nos muestra las subcuencas en forma aislada, y en la segunda los valores acumulados con las subcuencas anteriores, hasta llegar al total de toda la cuenca en P. Siles.

RECOMENDACIONES

- 1) Se infiere la necesidad de implementar una ampliación mínima de la red hidrometeorológica, a fin de obtener una información más completa en los puntos de control para futuros proyectos.

Se deben instalar por lo menos estaciones del tipo termopluviométrico (TP), en toda la subcuenca del río Mamoré, al Norte de las subcuencas Ichilo-Chapare y del departamento de Santa Cruz. También estaciones del mismo tipo en las regiones del Norte de Potosí, Chuquisaca y Sur de Santa Cruz.

Instalar estaciones hidrométricas en cada una de las desembocaduras de los afluentes del río Mamoré en el Beni; del mismo modo controles en la unión de los ríos Ichilo, Chapare y Grande, por el importante caudal de cada uno de ellos. Finalmente instalar controles en cada una de las desembocaduras de los ríos Piray, Palacios, Yapacaní, Choré y Grande en el departamento de Santa Cruz.

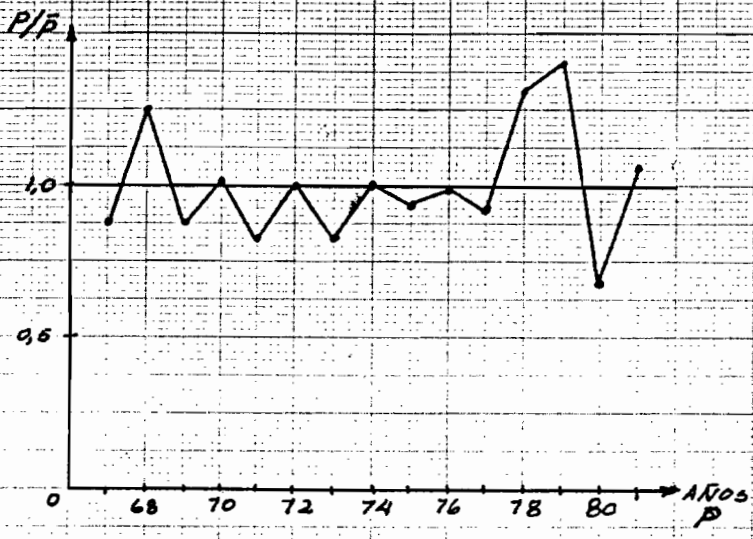
Para una visualización de la red sugerida, ver el mapa N° 5 en el cual además de la red existente, está la ubicación de la red sugerida, tomando en cuenta las distancias entre las mismas y que sean accesibles por carreteras futuras o por transporte fluvial.

- 2) Efectuar balances hídricos por subcuencas en forma periódica, ya que es una manera de analizar el tratamiento de la información y visualizar la falta de la misma. Además que se den las bases de la cantidad de recursos hídricos disponibles en las zonas de estudio.
- 3) Mejorar la forma de medición, traslado y recorilación de la información de campo, con sistemas modernos, para así contar con registros de buena calidad.

RELACION P/P̄ V6. P DE ALGUNAS ESTACIONES
PERIODO 1967-1981

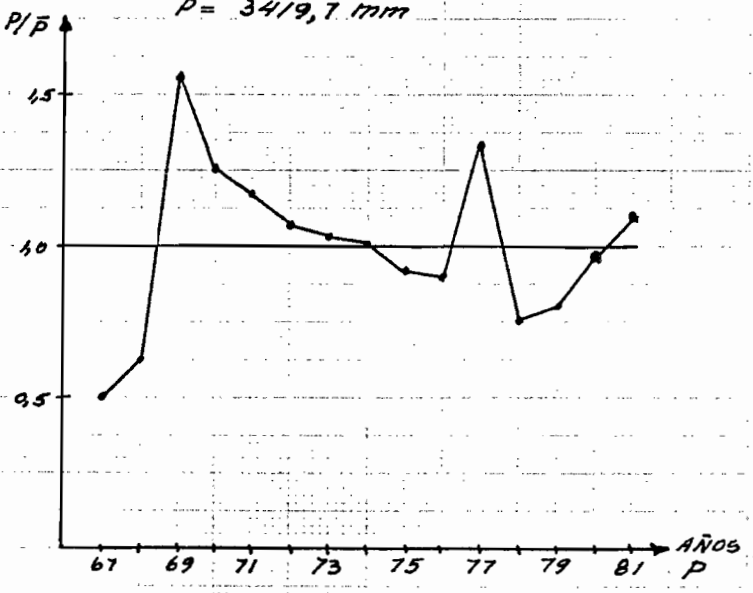
ESTACION: COCHABAMBA
(AASANA)

LAT: 17°23'
LONG: 66°10'
ALTURA: 2548 m
P̄ = 476.0 mm



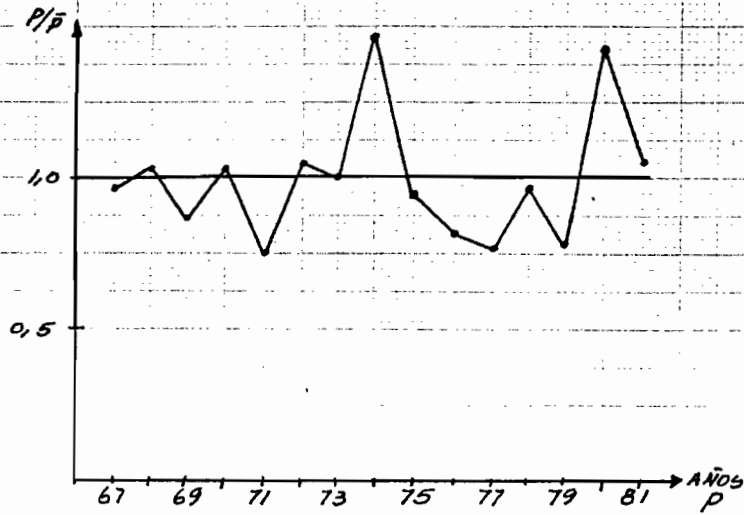
ESTACION: TODOS SANTOS

LAT: 16°47'
LONG: 65°10'
ALTURA: 329 m
P̄ = 3419.7 mm



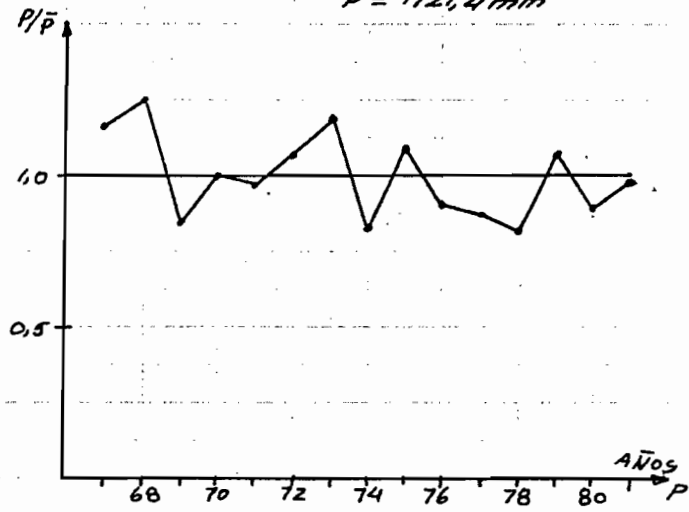
ESTACION: UNCIA

LAT: 18° 28'
LONG: 66° 34'
ALTURA: 3865m
 $\bar{P} = 668,2 \text{ mm}$



ESTACION: TRINIDAD (ARSANA)

LAT: 14° 51'
LONG: 64° 57'
ALTURA: 157m
 $\bar{P} = 172,4 \text{ mm}$



ESTACION: MONTEAGUDO

LAT: 19° 49'
LONG: 63° 58'
ALTURA: 2130m
 $\bar{P} = 792,3 \text{ mm}$



BIBLIGRAFIA

- 1) Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur.
UNESCO-ROSTLAU, 1982
- 2) Geografía y Recursos naturales de Bolivia
Ismael Montes de Oca
La Paz 1982
- 3) Compendio de datos meteorológicos de Santa Cruz CORDELRUZ, 1980
- 4) Balance Hídrico superficial de Chile, cuenca entre los ríos Rapel y Pueblo
A. Benitez y C. Juricie, 1975
- 5) Proyecto "Río Grande-Rositas"
COFADENA, ENDE, Comité de obras públicas de Sta. Cruz 1974
- 6) Proyecto de grado: "Pluviometría del departamento de Cochabamba"
Eddy Pinto A.
Cbba, UMSS, 1983
- 7) Proyecto de grado: "Estudio del régimen pluvial de la hoya Corani"
Guido Chevarria
UMSA, 1972
- 8) Estudios hidrológicos del la cuenca del río Caine
Gregorio Ortega V.
Cbba. ENDE, 1973
- 9) Estudios hidrológicos de la cuenca del río Alto Beni
Gregorio Ortega V.

- 10) Servicio de Hidrología Naval
El transporte fluvial en Bolivia - cuenca del río Mamoré
Tomo I
SHN, 1964
- 11) Proyecto de hidrología e Climatología da Amazonia Organizacao Mete -
reológica mundial - Min. do Interior
Geneva, Brasil, 1982
- 12) Hidrología Subterranea
E. Custodio - M. Llamas
- 13) Hidrología para Ingenieros
R. Linsley
1978
- 14) Tratado de Hidrología Aplicada
G. Remenieras
1980
- 15) Hidrology - An advanced introduction to hydrological processes and
modelling
Arved J. Raudkivi
Pergamon press, 1979

LISTA DE PUBLICACIONES
(Noviembre 1985)

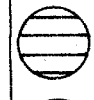







- ABASTO N, HOORELBECKE R, ROCHE MA, et al (1985). Características y calibración de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM 120 p
- ABASTO N, HOORELBECKE R, ROCHE MA, RUBIN DE CELIS L (1985). Alturas de agua y caudales, limnigramas e hidrogramas de la red hidrométrica PHICAB en la Cuenca Amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM 70 p.
- ESPINOZA OF (1985) Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Beni. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis U M S A 181p
- GARCIA WA (1985). Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Mamoré. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis U M S A 110 p
- GUZMAN WD, ROCHE MA (1985) Programas de análisis pluviométricos (consistencia de datos mensuales para 50 estaciones, hietogramas mensuales de series de 30 años, análisis mensuales de la estación seca y húmeda para series - mensuales de 30 años). Flex 9 BASIC GOUPIIL 8" ploter. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH 24 p
- LOZADA GA (1985) Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Titicaca. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis U M S A 158 p
- MARIACA JJ (1985) Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Poopo y los salares de Uyuni y Coipasa-Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis U M S A 203 p
- ROCHE MA (1982) Les conditions d'une étude hydrologique en Amazonie Bolivienne. PHICAB: ORSTOM 31 p
- ROCHE MA, CANEDO M (1984) Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Plaquette de présentation du PHICAB:SENAMHI-ORSTOM Folleto 4 p
- ROCHE MA, ROCHA N (1985) Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1/ 4 000 000. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM 1 hoja
- RONCHAIL J (1985) Situations météorologiques et variations climatologiques en Bolivie. (Situations météorologiques, analyse des séries climatiques, inventaires de saisons exceptionnelles). PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA 60p
- RONCHAIL J (1985) Relations des saisons remarquables avec la structure de l'atmosphère et les situations météorologiques sur l'Altiplano boliviano-péruvien. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA 38 p
- RUBIN DE CELIS L, ROCHE MA (1985) Programas informáticos para el procesamiento de datos hidrométricos básicos PHICABHQ. Goupil; Flex 9 BASIC 8" ploter PHICAB: SENAMHI-ORSTOM 58 p
- APOTEKER A, ROCHE MA, RUBIN DE CELIS L (1985) Programas informáticos para el procesamiento de datos de conductividad de agua, PHICABC. Goupil 3 Flex 9 BASIC 8" ploter PHICAB: SENAMHI-ORSTOM 21 p

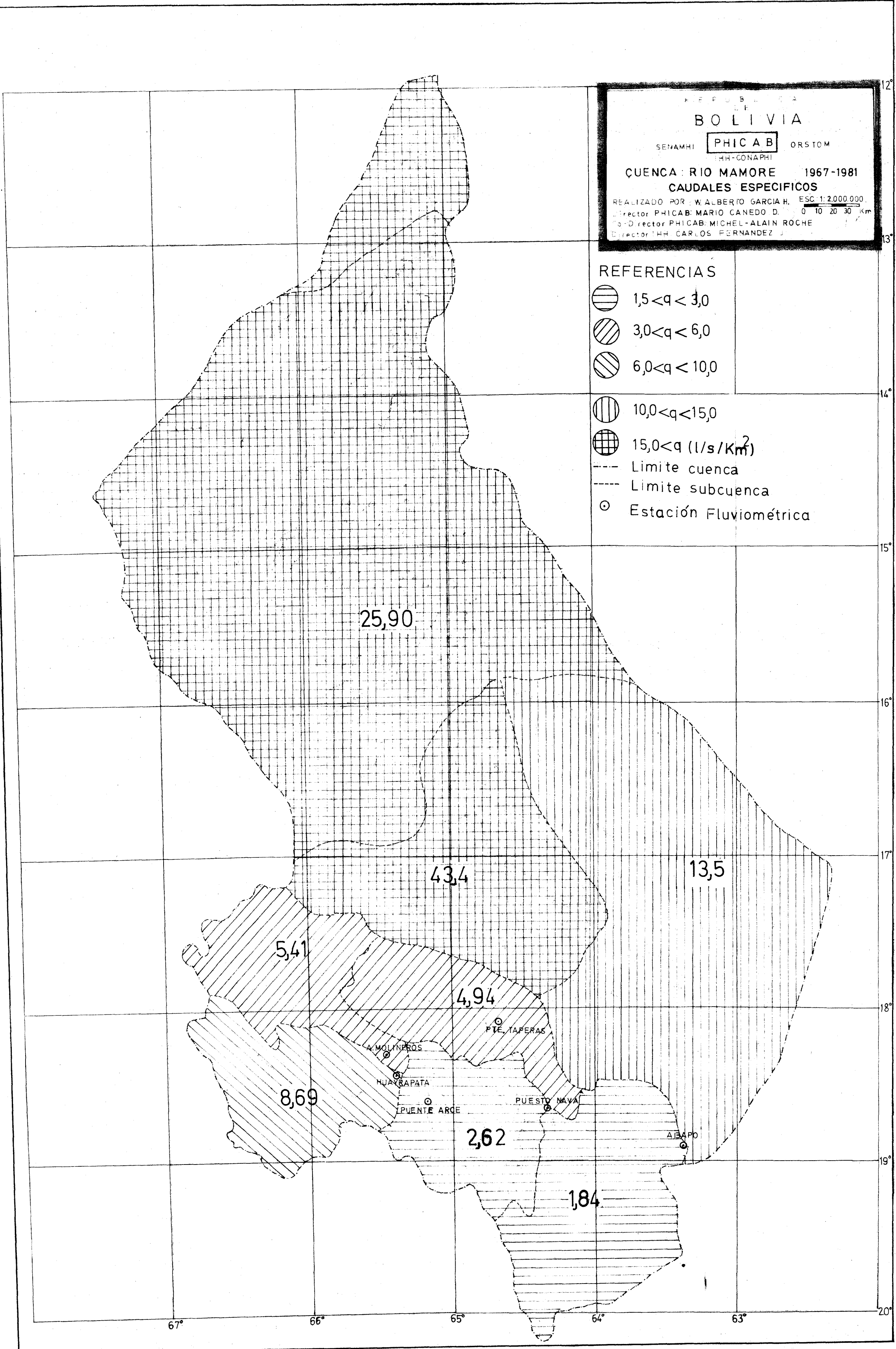
REPÚBLICA DE BOLIVIA
SENAMHI PHICAB ORSTOM
(IHH-COENAMHI)
CUENCA: RIO MAMORE 1967-1981
EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIA ANUAL
REALIZADO POR: W. ALBERTO GARCIA H. ESC. 1:2000.000
Director PHICAB: MARIO CANEDO D. 0 10 20 30 km
Co-Director PHICAB: MICHEL-ALAIN ROCHE
Director IHH: CARLOS FERNANDEZ J.



REPÚBLICA
BOLIVIA
 SENAMHI PHICAB ORSTOM
 IHH-CONAPI
CUENCA: RIO MAMORE 1967-1981
CAUDALES ESPECÍFICOS
 REALIZADO POR: W. ALBERTO GARCIA H. ESC. 1:2.000.000.
 Director PHICAB: MARIO CANEDO D. 0 10 20 30 km
 Director PHICAB: MICHEL-ALAIN ROCHE
 Director IHH: CARLOS FERNANDEZ

REFERENCIAS

-  1,5 < q < 3,0
-  3,0 < q < 6,0
-  6,0 < q < 10,0
-  10,0 < q < 15,0
-  15,0 < q (l/s/Km²)
-  Limite cuenca
-  Limite subcuenca
-  Estación Fluviométrica



REPUBLICA DE BOLIVIA
 SENAMHI PHICAB ORSTOM
 INRA-CONARHI
CUENCA RIO NAMORE 1967-1981
TOPOGRAFIA Y RED DE ESTACIONES
 REALIZADO POR: ALBERTO GARCIA S. ESC. 1:2000.000
 Director: FRANCISCO MARCO CANEDO S. D. N. D. S. Km
 Co-Director: PASCAL MICHEL - ALAIN ROCHE
 Director: INH. CARLOS SEBASTIAN J.

REFERENCIAS

RED ACTUAL

- ⊙ Estaciones Climatológicas Principales
- ⊠ Estaciones Sinópticas Ordinarias
- ⊙ Estaciones Climatológicas Ordinarias
- ▲ Estaciones Termopluviométricas
- Estaciones Pluviométricas

RED SUGERIDA

- Estaciones Termopluviométricas
- ▲ Estaciones Hidrométricas

