

ORSTOM

IHH-UMSA

PHICAB

SENAMHI

CONAFI

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

RIO DE LA PLATA - BOLIVIA

RICARDO ARELLANO ALBORNOZ



ORSTOM

IHH-UMSA

PHICAB

SENAMHI

CONAPHI

**BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL
RIO PILCOMAYO**

Autor : Ricardo Arellano Albornóz

CO-DIRECTOR PHICAB	Michel-Alain Roche
DIRECTOR I.H.H	Roger Mattos Rueda
DIRECTOR SENAMHI	Mario Canedo Daza
ASESOR I.H.H.	Angel Aliaga Rivera

**La Paz - Bolivia
1988**

AGRADECIMIENTO

- *A la U.M.S.A. y al plantel de docentes de ingeniería.*
- *Al I.H.H. , por el patrocinio y apoyo brindado para el desarrollo del proyecto, y en especial a los Ingenieros: Carlos Fernández (IHH) y Angel Aliaga (IHH).*
- *Al Dr. Michel Alain Roche (ORSTOM) codirector PHICAB, por el desinteresado asesoramiento y apoyo brindado, junto al personal de ORSTOM en el PHICAB.*
- *Al Ing. Gregorio Ortega, por la cooperación bibliográfica.*
- *Al SENAMHI (Central)
SENAMHI (Tarija)
INCYTH (Argentina)
por la generosidad y colaboración en la obtención de información necesaria para el proyecto.*

PREAMBULO

La planificación de los recursos hídricos como un medio para lograr un enfoque integrado del aprovechamiento y ordenamiento de un recurso tan importante como el agua, que puede satisfacer varios objetivos y utilizarse con fines múltiples; requiere un conjunto de acciones previas, siendo parte importante de este universo, las acciones orientadas a la evaluación del recurso; es en este ámbito que se desarrolla el estudio del Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pilcomayo, lográndose como conclusión principal una evaluación regional de los recursos hídricos en forma de una caracterización espacial de los principales componentes del ciclo hidrológico a nivel medio anual; y como corolarios, permite la identificación de las bondades y deficiencias de: la cuenca, la red de observación, el sistema de administración y/o gestión del recurso y otros factores que hacen al complejo hídrico de la cuenca, como la climatología y la socioeconomía de la región.

El interés e importancia agrícola de la cuenca motivó la ejecución de varios estudios sobre las potencialidades hídricas en subregiones específicamente localizadas y este fin en la región. Sin embargo, la cuenca plantea serios problemas debido a su degradación por efecto de la erosión y cuya solución necesariamente deberá ser planteada a partir de un Plan Integral sobre el Uso, Control y Conservación de los recursos hídricos de la región. Para cumplir este objetivo, los requerimientos de información con fines de planificación, infieren la necesidad urgente de realizar estudios básicos de evaluación del recurso y sus problemas; los cuales, permitan configurar un marco de referencia confiable, sobre el cual, los planificadores puedan diseñar las políticas y estrategias adecuadas a una gestión racional del recurso hídrico en la región. El Balance Hídrico Superficial de la Cuenca del Río Pilcomayo, pretende satisfacer parte de estas necesidades, al formular y realizar una evaluación espacial y temporal a nivel medio anual de los componentes del ciclo hidrológico para la región.

El presente estudio fue realizado en el marco del Programa PHICAB (Proyecto Hidrológico y Climatológico de Bolivia); establecido mediante un convenio de cooperación técnica-científica entre el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el Instituto Francés de Investigaciones Científicas para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), forma parte del Balance Hídrico de Bolivia, que se realiza de acuerdo a la metodología propuesta por UNESCO/ROSTLAC en la Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur, publicada en 1982, a fin de lograr la necesaria homogeneidad, a escala, en el Continente.

La Paz, 1988

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

CAPITULO I

INTRODUCCION

	Página
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Ambito Geográfico	3
1.3.1. Descripción del Rio Pilcomayo y de la Cuenca de Estudio	3
1.3.2. División de Unidades Geográficas	5
1.3.3. Límites de las Areas Climatológicas	7
1.3.3.1. Clasificación Climática	7
1.3.4. Características de la cuenca	9
1.3.4.1. Topografía	9
1.3.4.2. Fisiografía	13
1.3.4.3. Geología	13
1.3.4.4. Cobertura y uso del suelo de la región	16
1.3.4.5. Ecología	16
1.3.4.6. Aspectos Económicos de la Cuenca.	16

CAPITULO II

ESTUDIO DE LOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO.

2.1. Período Considerado	18
2.2. Ubicación de la Estaciones	18
2.3. Precipitación	18
2.3.1. Errores en la estimación de la Precipitación	18
2.3.1.1. Error en la medida Puntual	22
2.3.1.2. Error en la Evaluación de la Precipitación Espacial	22
2.3.2. Análisis de Consistencia	23
2.3.3. Ampliación y Relleno de Estadísticas Pluviométricas	25
2.3.4. Evaluación de la Precipitación Espacial	26
2.3.5. Presentacion de Resultados	27
2.3.5.1. Dobles Acumuladas	27
2.3.5.2. Precipitación Espacial	43
2.4. Temperatura, Evaporación y Evapotranspiración.	49
2.4.1. Estimación de la Evapotranspiración	49
2.4.2. Presentación de Resultados	51
2.5. Escorrentía	55
2.5.1. Relleno de las Estadísticas	56
2.5.1.1. Relleno de datos de datos de Caudales en Talula	56

Indice

- 2.5.2. *Curvas de Doble Masa*
- 2.5.3 *Histograma de Caudales en Talula y Misión La Paz*

CAPITULO III BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL

3.1.	<i>Cuencas con control fluviométrico</i>	62
3.1.1.	<i>Cuencas con Antecedentes de Escorrentía, Precipitación, Evapotranspiración real.</i>	62
3.1.2.	<i>Cuencas con antecedentes de Escorrentía y Precipitación.</i>	63
3.1.3.	<i>Cuencas con antecedentes de Escorrentía solamente.</i>	63
3.2.	<i>Cuencas sin control fluviométrico</i>	63
3.3.	<i>Presentación de resultados</i>	64
3.3.1.	<i>Cuencas con control fluviométrico</i>	64
3.3.1.1.	<i>Sub-cuenca del Río Pilcomayo (Talula)</i>	64
3.3.1.2.	<i>Sub-cuenca del Río Pilcomayo (Icla-Villamontes)</i>	64
3.3.1.3.	<i>Sub-cuenca del Río Pilcomayo (Villamontes-Misión La Paz)</i>	65
3.3.2.	<i>Cuencas sin control fluviométrico</i>	65
3.3.2.1.	<i>Sub-cuenca del Río Pilcomayo (Talula-Icla)</i>	65
3.3.2.2.	<i>Sub-cuenca del Río Tumusla</i>	66
3.3.2.3.	<i>Sub-cuenca del Río San Juan del Oro</i>	66
3.3.3.	<i>Verificación de Caudales por balance</i>	66
3.3.4.	<i>Verificación de Caudales por balance en Villamontes</i>	68

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	<i>Resumen del Balance Hídrico Superficial de la cuenca del Río Pilcomayo</i>	69
4.2.	<i>Análisis de los componentes que intervienen en la ecuación del Balance Hídrico</i>	69
4.3.	<i>Análisis de los Resultados</i>	70
4.4.	<i>Recomendaciones</i>	71

ANEXOS

- Anexo 1 - *Características de las Estaciones que participan en el Balance Hídrico.*
- Anexo 2 - *Programa de Correlaciones y Corrección por Doble Acumulación.*
- Anexo 3 - *Comparación de resultados en el cálculo de la Evapotranspiración mediante la fórmula de Turc y el método de Thornthwaite.*
- Anexo 4 - *Mapas :*
 - Características físicas de las subcuencas*
 - Mapa de la cuenca*
 - Mapa de Isoyetas*
 - Mapa de Isotermas*
 - Mapa de Isolíneas de Evapotranspiración Real*
 - Mapa de Caudales Específicos*

INDICE FIGURAS

FIGURAS

- Ubicación de la cuenca del Río Pilcomayo	2
- Cuenca del río Pilcomayo (Div. Unidades Hidrológicas)	4
- Recomendación de división de Unidades Hidrológicas	6
- Mapa de Regiones Latitudinales según O. UNZUETA	8
- Mapa climático según KÖPPEN	8
- Mapa climático según TREWARTHA-ROBINSON	9
- Cordillera Occidental Sección Meridional	10
- Cordillera Oriental Sección Central	10
- Cordillera Oriental Sección Sur	11
- Sierras Sub-andinas	11
- Relieve de la Región Andina (Bolivia)	12
- Mapa fisiográfico de Bolivia	12
- Características Hidrogeológicas (Bolivia)	14
- Mapa Geológico de Bolivia	14
- Mapa de cobertura y Uso del suelo (Bolivia)	15
- Mapa Ecológico de Bolivia	15
- Doble acumulada - buen alineamiento	23
- Doble acumulada - alineamiento con quiebre	24
- Corrección - Doble Acumulada	24
- Precipitación Media vs. Area Acumulada	27
- Dobles Acumuladas por Subgrupos	28
- Perfil Pluviométrico I - sub-cuenca : Río Pilcomayo	43
- Perfil Pluviométrico II - sub-cuenca : Río Pilcomayo	43
- Perfil Pluviométrico III - sub-cuenca : Río Pilcomayo	44
- Perfil Pluviométrico I - sub-cuenca : Río Tumusla	44
- Perfil Pluviométrico II - sub-cuenca : Río Tumusla	45
- Perfil Pluviométrico - sub-cuenca : Río San Juan del Oro	45
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Talula)	46
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Talula-Icla)	46
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Icla-Villamontes)	47
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Villamontes-Misión La Paz)	47
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río San Juan del Oro	48
- Precipitación Media - sub-cuenca : Río Tumusla	48
- Gradiente de Temperatura - sub-cuenca : Río Pilcomayo	51
- Gradiente de Temperatura - sub-cuenca : Río Tumusla	51
- Gradiente de Temperatura - sub-cuenca : Río San Juan del Oro	52
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Talula)	52
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Talula-Icla)	53
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Icla-Villamontes)	53
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río Pilcomayo (Villamontes-Misión La Paz)	54
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río San Juan del Oro	54
- Evapotranspiración Media - sub-cuenca : Río Tumusla	55
- Correlación Precipitación vs Escorrentía en Talula	57
- Doble Acumulada Escorrentía (Talula) vs PPA1-PPA2	59
- Doble Acumulada Escorrentía Villamontes vs PPA2-PPA4-PPA5	59
- Doble Acumulada Escorrentía Villamontes vs PPA9-PPA10-PPA11	60
- Doble Acumulada Escorrentía Misión La Paz vs PPA2-PPA5-PPA6	60
- Histograma de Caudales mensuales en Talula y Misión La Paz	61
- Evapotranspiración Media en Villamontes	68

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES.-

En el desarrollo de su curso, el río Pilcomayo baña grandes regiones de las Repúblicas de Bolivia, Argentina y Paraguay; lo que le confiere gran importancia dentro del contexto regional en los aspectos geopolítico y económico.

Geo-políticamente es importante ya que sus aguas cruzan las llanuras chaqueñas de los tres países, hecho que ha obligado a compromisos diplomáticos entre las tres repúblicas sobre la utilización de los recursos hídricos de este río, ya sea en el campo energético así como en en la aplicación de riegos.

La importancia económica del río radica en el gran potencial energético, agrícola, pecuario e industrial de las regiones que abarcan su cuenca; razón de más fundamental para implementar un plan de desarrollo integral con la utilización balanceada del recurso hídrico, sobre todo en la actualidad en países donde la estructura económica está siendo modificada y volcando la mayor parte de sus esfuerzos al sector agrícola y pecuario. Particularmente en Bolivia, las aguas del Pilcomayo bañan los departamentos de Potosí, Chuquisaca y Tarija, los mismos que poseen grandes extensiones con proyección en el desarrollo agropecuario y agroindustrial. Para lograr una utilización del recurso hídrico que permita un desarrollo armónico de las regiones se hace necesario conocerlo cuantitativamente y cualitativamente.

La ampliación de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado, la incorporación de nuevas áreas de regadío, la creciente industrialización y otros usos esenciales para el desarrollo y bienestar socio-económico de los pueblos generan nuevas y mayores demandas de agua en términos de calidad, cantidad y oportunidad.

El estudio de la estructura del **Balance Hídrico** es la base para la elaboración y ejecución de proyectos Hidráulicos que tienen como fin una utilización racional, control y distribución del recurso hídrico en el tiempo y el espacio.

1.2 OBJETIVOS.-

El presente estudio ha sido concebido con el propósito de elaborar el **Balance Hídrico Superficial** de la cuenca del Río Pilcomayo.

En el Sistema Hidrológico Cuenca se tienen entradas, salidas y almacenamientos; y por el principio de Conservación de Masa a las ecuaciones que igualan estas entradas, salidas y almacenamientos se las denomina **Balances Hídricos**, los que no pueden ser generalizados en el espacio y el tiempo, sino que son específicos para un período y un espacio. Por esta razón se ha elegido una cuenca delimitada geográficamente y un tiempo de 15 años correspondiente al período de 1968 a 1982 para evaluar el Balance Hídrico Superficial de la cuenca del Río Pilcomayo

El conocimiento de la distribución, movimiento, cantidad, permanencia, variación y transporte del

Capítulo I

agua en los distintos lugares donde puede encontrarse, sirve para el conocimiento de su balance, ya que éste debe estar basado en el proceso global que gobierna el ciclo hidrológico.

Una forma general del balance de agua para cualquier cuerpo de agua e intervalo de tiempo será:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{s0} - Q_{u0} - \Delta S - \mu = 0$$

donde:

P	=	Precipitación
Q _{sl}	=	Entrada de agua superficial a la cuenca o cuerpo de agua
Q _{ul}	=	Entrada de agua subterránea a la cuenca o cuerpo de agua
E	=	Evaporación
ET	=	Evapotranspiración
Q _{s0}	=	Salida de agua superficial
Q _{u0}	=	Salida de agua subterránea
ΔS	=	Variación del almacenamiento de agua en la cuenca
μ	=	Término residual de discrepancia, error de medición o estimación.

En forma más detallada y para problemas más específicos los términos de la ecuación pueden subdividirse como indica la siguiente ecuación:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - ET - Q_{s0} - Q_{u0} - \Delta M - \Delta G - \Delta S_L - \Delta S_{ch} - \Delta S_{gl} - \Delta S_{sn} - \mu = 0$$

donde:

ΔM	=	Variación del almacenamiento de humedad en el suelo y la zona no saturada
ΔG	=	Variación del almacenamiento en acuíferos
ΔS _L	=	Variación del almacenamiento en lagos y embalses
ΔS _{ch}	=	Variación del almacenamiento en canales de los ríos
ΔS _{gl}	=	Variación del almacenamiento en glaciares
ΔS _{sn}	=	Variación del almacenamiento en cobertura de nieve.

En razón de que para computar cada uno de los elementos se utilizan variadas mediciones y estimaciones, usando métodos independientes, siempre quedará involucrado un error. Es por ello que la ecuación del balance de agua presentará discrepancias; μ es el término residual; bajos valores de μ solamente indican que los términos del balance tienden a compensarse.

Las unidades de la ecuación pueden ser expresadas en altura media de agua sobre la cuenca o cuerpo de agua (mm), como volumen de agua (hm³), o en forma de flujo (m³/s).

Para cálculos en áreas extensas y largos períodos de tiempo, se recomienda utilizar la ecuación simplificada:

$$\langle P \rangle - \langle Q \rangle = \langle ETR \rangle \pm \mu$$

donde:

⟨ P ⟩	=	Precipitación media del período y área
⟨ Q ⟩	=	Caudal medio

< ETR >= Evapotranspiración media del período y área
 μ = Término de discrepancia

Esta ecuación es aplicable si los cambios de almacenamiento en un período largo de tiempo y en áreas extensas tiende a minimizarse y puede suponerse nulo.

La utilización de esta simplificación permite la construcción de mapas que pueden ser comparados entre sí.

1.3 AMBITO GEOGRAFICO .-

1.3.1 Descripción del Río Pilcomayo y de la cuenca de estudio

El Río Pilcomayo, pertenece a la cuenca del Río de La Plata. Nace en el Altiplano boliviano en la Cordillera de los Frailes con una cuenca imbrífera que se extiende desde Sucre al Norte hasta las nacientes del Río Grande de San Juan en la Argentina por el Sud, en un frente de aproximadamente 440 Km, la que desciende desde aproximadamente los 4 500 msnm hasta los 340 msnm en Villamontes, donde emerge el cauce principal y penetra al llano, hasta llegar a 230 msnm en Misión La Paz.

La cuenca montañosa, que es la activa, colinda al Norte con la Cuenca del Río Mamoré y al Oeste con la cuenca de los Salares o Endorreica que la separa de la Cuenca Atlántica; al Sud con la Cuenca del Río Bermejo también del sistema del Río de La Plata y al Este con la Cuenca del Río Paraguay que también pertenece al sistema del Río de La Plata.

La superficie total de la cuenca imbrífera, arriba de Villamontes es de 81 321 Km², casi totalmente en territorio boliviano, de esta superficie están ubicados en la República Argentina una pequeña fracción de 4 361 Km², como una pequeña cuenca formada por los Ríos Grande de San Juan, La Quiaca, Yanalpa y Yavi.

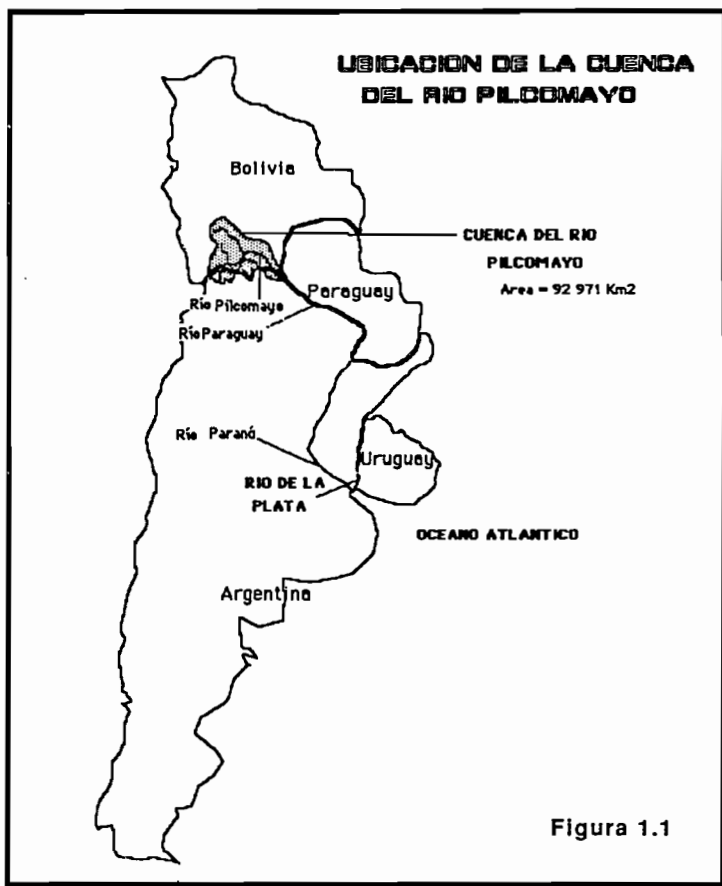


Figura 1.1

Los principales afluentes, arriba de Villamontes son el Pilcomayo, que viene de Sucre en el extremo Norte, y el Pilaya de la zona Centro y Sud, los que se juntan a unos 70 Km al Nor-Oeste de Villamontes, formando el Río Pilcomayo, que corre por una garganta rocosa hasta Villamontes, y entra en la planicie del Gran Chaco que cruza con un rumbo único de Nor-Oeste a Sud-Este, hasta desembocar en el Río Paraguay. Desde la confluencia referida del Pilaya con el Pilcomayo hay 200 Km en línea recta, por territorio boliviano hasta llegar al paralelo 22°, al alcanzar el límite con la república Argentina.

CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

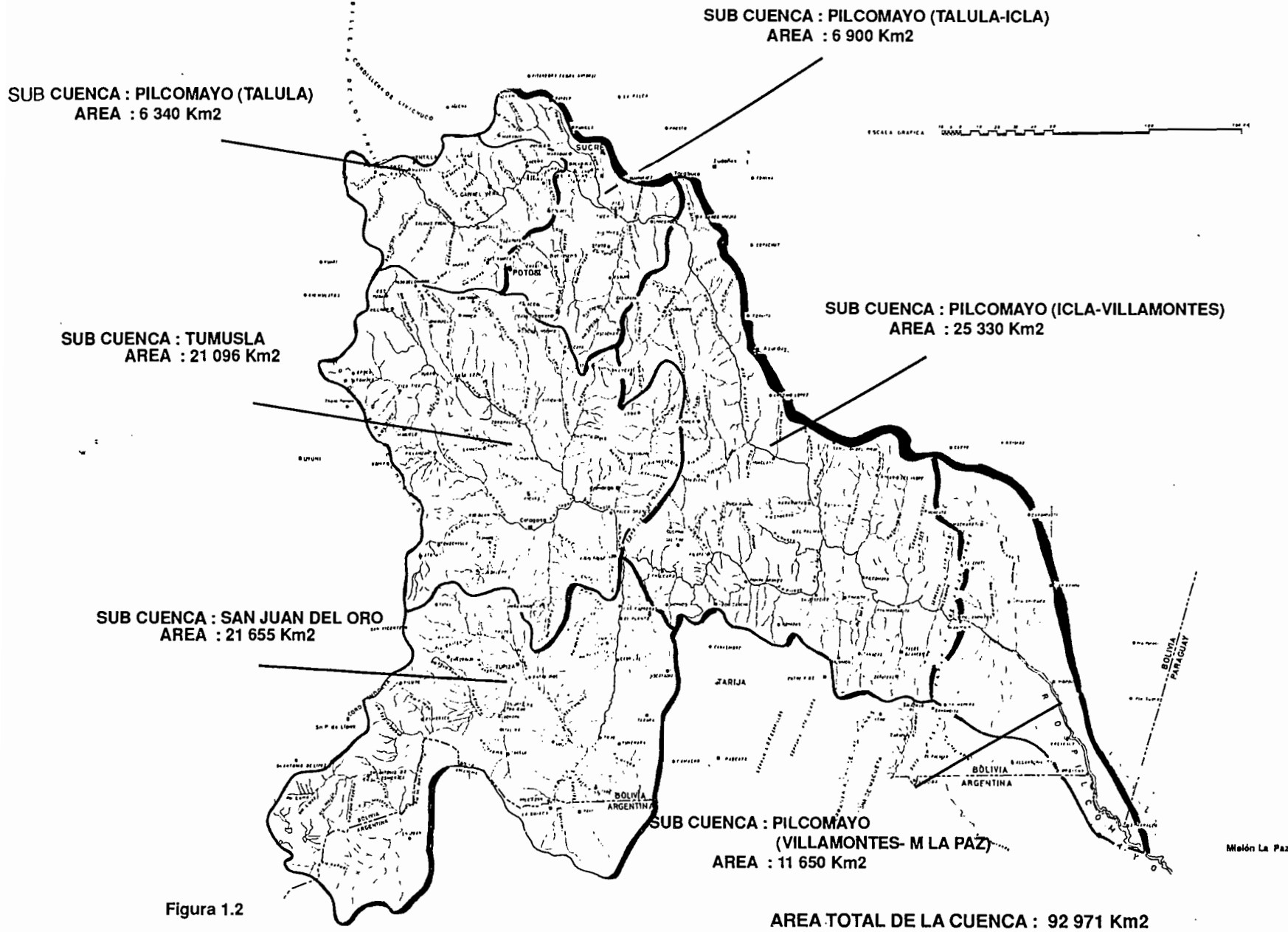


Figura 1.2

A partir del paralelo 22º, en D'Orbigny, como curso de agua contiguo sirve de límite entre la Argentina y Bolivia en unos 40 Km de cauce, aproximadamente, hasta el hito Tripartito Esmeralda, hasta donde ha recorrida desde sus nacientes 655 Km.

Desde el hito Tripartito Esmeralda, hasta su desembocadura en el Río Paraguay, en una longitud aproximada de 600 Km, el Río Pilcomayo sirve de límite entre la Argentina y el Paraguay. En este tramo se encuentra el punto de control último de la cuenca, a unos 40 Km aguas abajo del hito Esmeralda, que es la estación Misión La Paz en la República Argentina. Desde el hito Esmeralda la cuenca se extiende sobre territorio Argentino y Paraguayo una superficie de 1215 Km². (ver Figuras 1.1 y 1.2). En resumen el Río Pilcomayo recorre desde sus nacientes una distancia de 695 Km.

1.3.2. División de Unidades Hidrológicas

En función de la distribución de la Red de Estaciones en toda la cuenca y de la simultaneidad de la información de que se dispone, se ha definido la división de la cuenca en las siguientes sub-cuencas de estudio.

El nombre genérico de las sub-cuencas se debe al Río principal que las cruza, la figura 1.2 las muestra detalladamente:

a) Pilcomayo (Talula):

Esta sub-cuenca abarca un área de 6 340 Km², se encuentra en la parte superior de la cuenca del Río Pilcomayo; el punto de control se encuentra en la estación Talula. Es una sub-cuenca con control fluviométrico.

b) Pilcomayo (Talula - Icla):

Esta sub-cuenca se extiende desde la estación Talula hasta el punto denominado Icla que es donde estará ubicado el embalse para el proyecto hidroeléctrico Icla. Tiene un área de 6 900 Km². Actualmente es una cuenca sin control fluviométrico, cuando el proyecto Icla entre en funcionamiento se podrá contar con control de caudales.

c) Pilcomayo (Icla - Villamontes):

Esta sub-cuenca se extiende desde el punto Icla hasta la población de Villamontes, donde se tiene una estación de medición de caudales. La cuenca tiene un área de 25 330 Km².

d) Pilcomayo (Villamontes - Misión La Paz):

Esta sub-cuenca es la que recibe todo el aporte de las demás sub-cuencas del Río Pilcomayo por consiguiente es donde se encuentra el punto de control para toda la Cuenca. El punto de control es la Estación Argentina de Misión La Paz, que cuenta con un buen récord de información fluviométrica. Esta sub-cuenca tiene un área de 11 650 Km².

e) Tumusla:

Esta sub-cuenca se encuentra en la parte occidental media de toda la cuenca, recibe el aporte de un área de 21 096 Km². Es una cuenca sin control fluviométrico. El punto de control recomendado se ubica a aproximadamente 4 Km de la población de Villa Abecia.

CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

RECOMENDACION DE DIVISION DE UNIDADES HIDROLOGICAS

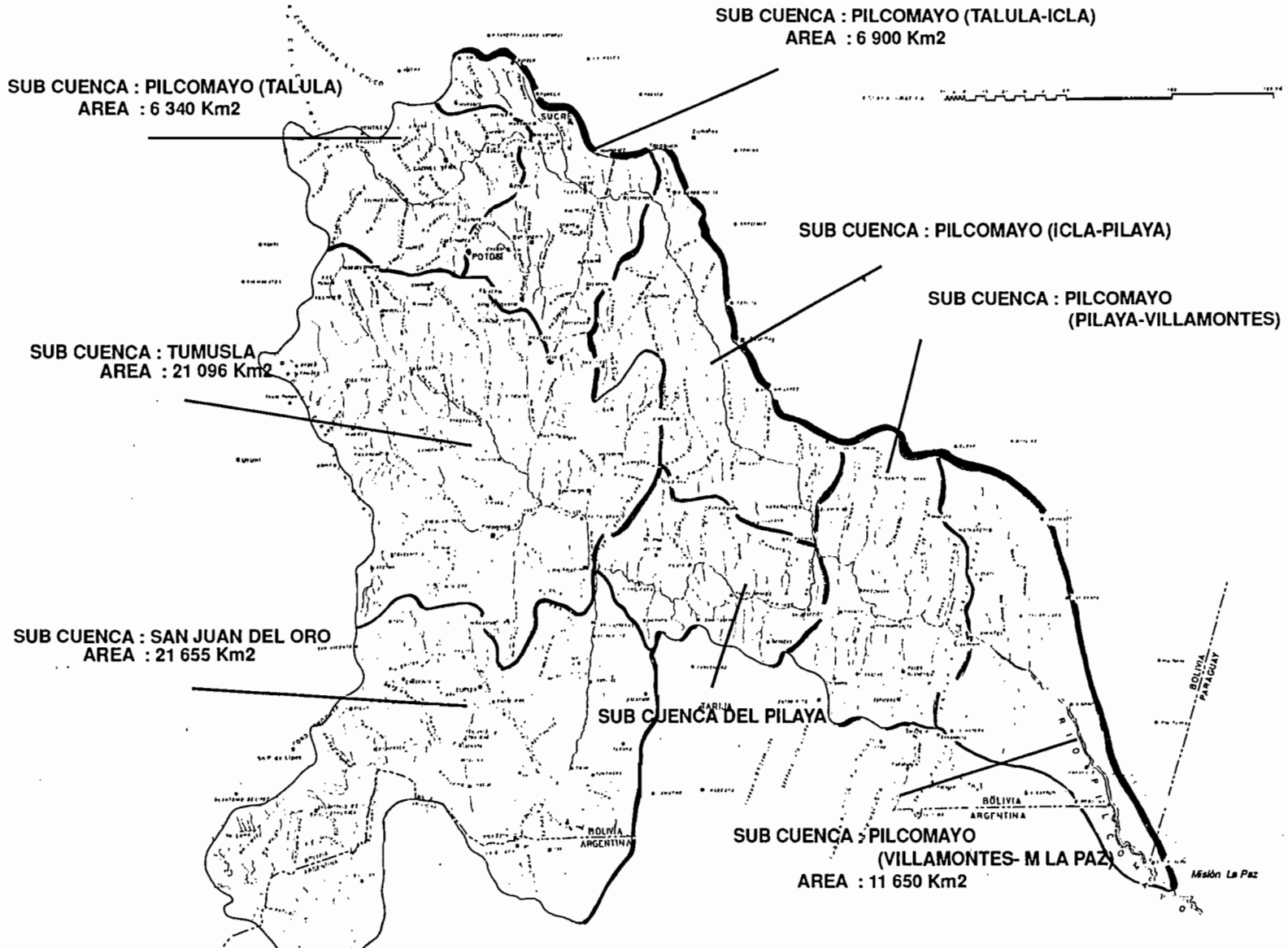


Figura 1.3

AREA TOTAL DE LA CUENCA 92 971 Km2

f) San Juan del Oro:

Esta sub-cuenca se encuentra en la parte meridional occidental de la cuenca, controla un área de 21 655 Km². Es una cuenca sin control fluviométrico. Su punto de cierre se encuentra a 4 Km de la población de Villa Abecía.

El **ANEXO 4** muestra las sub-cuencas y sus características geo-morfológicas.

Dadas las características hidrográficas de la cuenca se recomienda el incremento de tres sub-cuencas para posteriores estudios. Estas tres sub-cuencas, deberán controlar el área que va desde Villa Abecía hasta donde el Río Pilaya se junta con el Río Pilcomayo y el área que va desde Icla hasta donde el Río Pilcomayo se junta con el Río Pilaya, además de la cuenca que va desde la confluencia anterior hasta Villamontes. (Ver figura 1.3).

1.3.3 Límites de las área climatológicas.

Según la figura 1.4 (Mapa Ecológico Generalizado de Bolivia, según O. Unzueta) la cuenca del Río Pilcomayo está ubicada en la Región Templada, limitación hecha según la latitud e influencia topográfica.

Las condiciones climáticas en general de la cuenca son: Por tratarse de una cuenca montañosa en su mayoría, se presenta el efecto de precipitaciones orográficas lo que genera una disminución de la precipitación de oeste a este, fenómeno que se nota claramente en la parte central norte de la cuenca y principalmente en invierno. La parte de los llanos tiene una variación lineal de precipitaciones; el tipo de precipitaciones que se observan en esta región son del tipo convectivo, efecto que se presenta en verano. En general, el frente que entra al país avanza con dirección sud oeste - nor este provocando precipitaciones de baja intensidad; más bien en verano la circulación general del aire hace que se presenten zonas de bajas presiones generando precipitaciones de gran intensidad; la cuenca tiene un promedio anual de precipitaciones de 506 (mm) y temperaturas que varían de 5° C a 24° C.

1.3.3.2 Clasificación Climática

Según la clasificación de Köppen (ver figura 1.5) que se basa en la humedad y la temperatura, en la cuenca se presentan los siguientes climas :

- **BSwk** : Estepa con invierno seco frío
- **BSwh** : Estepa con invierno seco caliente
- **BSwh'**: Estepa con invierno seco muy caliente
- **EB** : Clima Polar de Alta Montaña
- **CWA** : Mesotérmico con invierno seco caliente

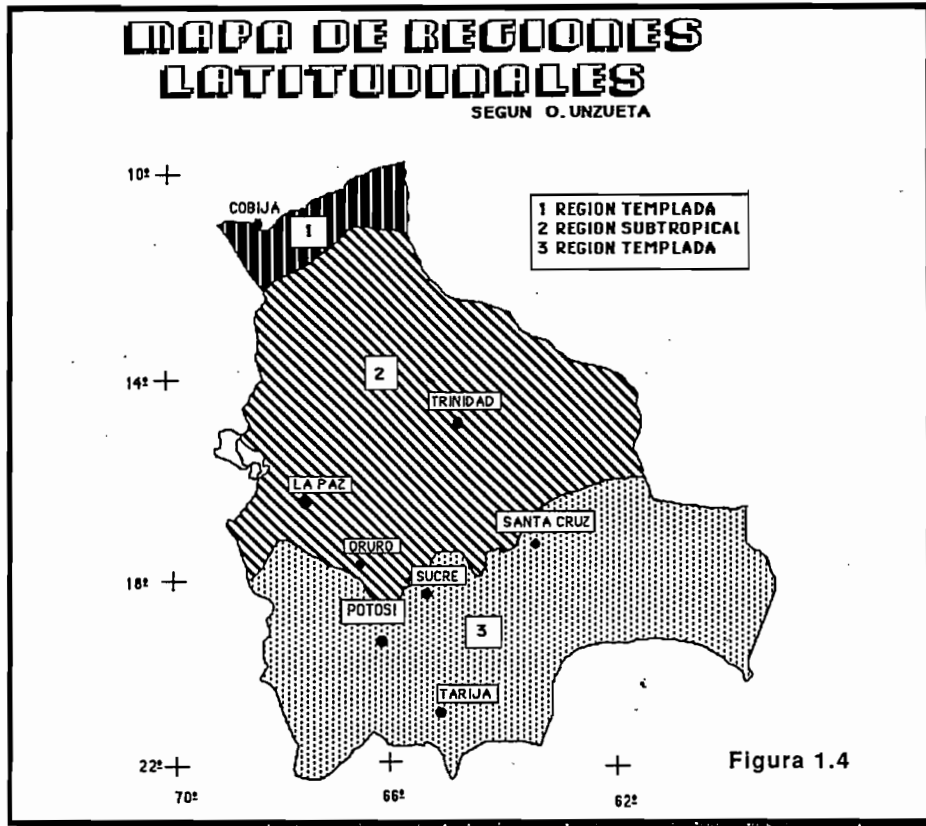
García Agreda y Viparelli en su estudio **Perfil Esquemático del Clima y de la Climatología de Bolivia** presentan el mapa de **TREWARTHA-ROBINSON** (figura 1.6) donde se adopta como variables principales para conocer el clima : La temperatura media ambiente y el déficit de agua del terreno, de acuerdo a estas investigaciones la cuenca tiene dos tipos de climas:

- El clima de tierras altas determinado por la altura sobre el nivel del mar y factores locales como el soleamiento, la orientación de los valles y las corrientes atmosféricas.

- El clima semi-árido en la zona del chaco.

MAPA DE REGIONES LATITUDINALES

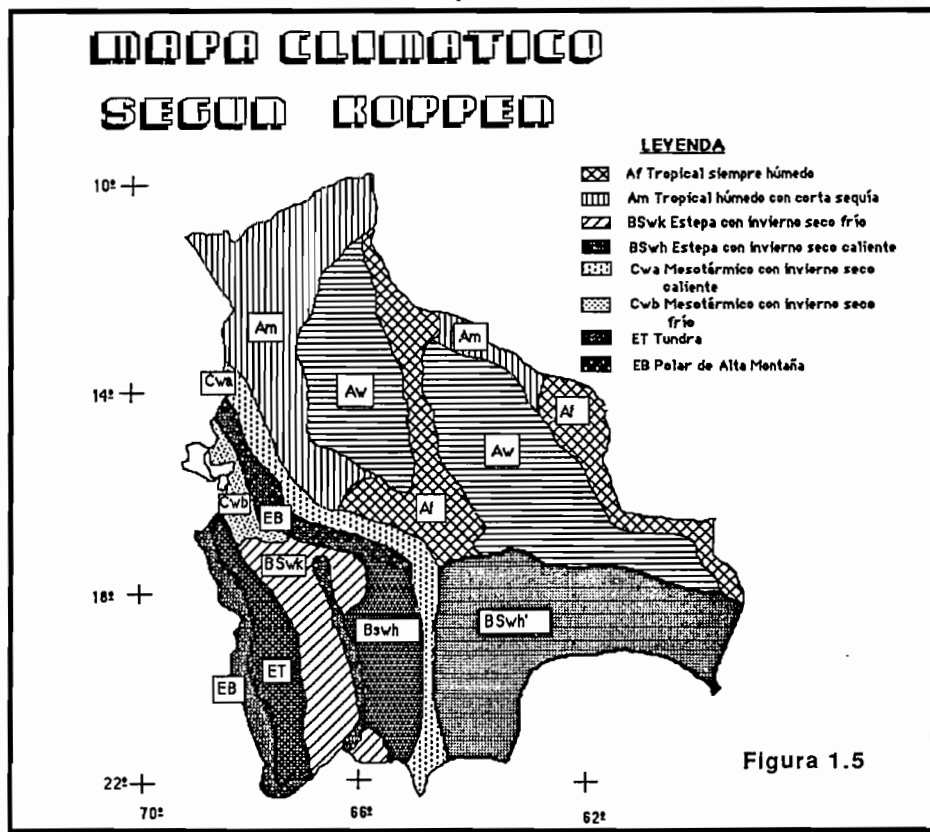
SEGUN O. UNZUETA

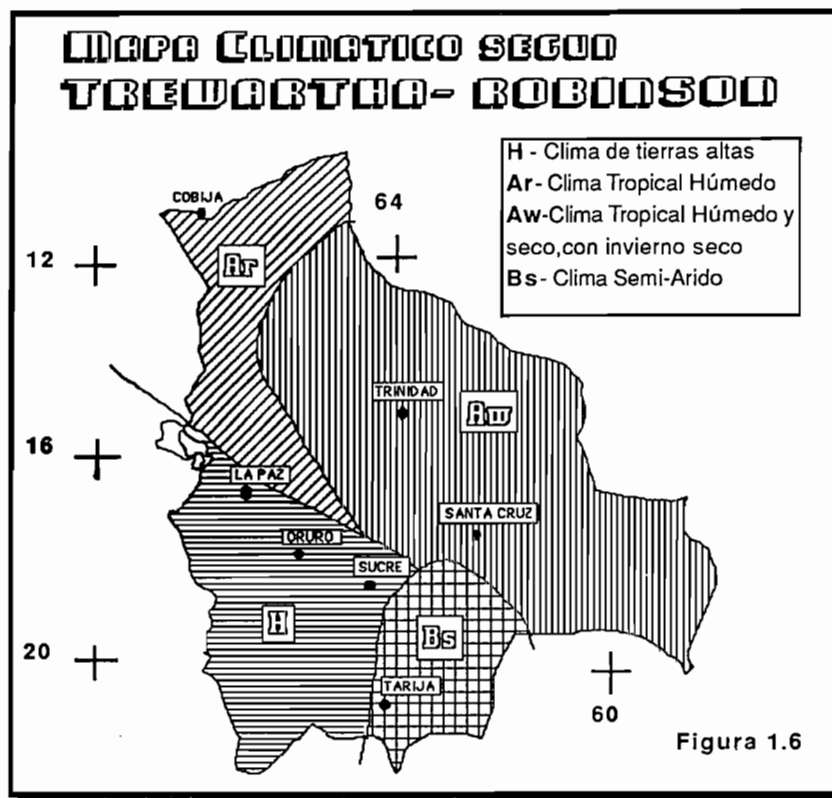


MAPA CLIMATICO SEGUN KOPPEN

LEYENDA

- Af Tropical siempre húmedo
- Am Tropical húmedo con certa sequía
- BSwk Estepa con invierno seco frío
- BSwl Estepa con invierno seco caliente
- Cwa Mesotérmico con invierno seco caliente
- Cwb Mesotérmico con invierno seco frío
- ET Tundra
- EB Polar de Alta Montaña





1.3.4 Características de la cuenca

1.3.4.1 Topografía

El perfil topográfico que se desarrolla en esta cuenca, se puede decir que casi es representativo del perfil topográfico del país; pues cuenta con zonas de montaña, valles y llanos con excepción de los Yungas. De acuerdo a datos extractados del libro **Geografía y Recursos Naturales de Bolivia** del Ing. Montes de Oca se tiene las siguientes zonas en la cuenca:

- **Coordillera Occidental Sección Meridional** : En esta sección se encuentran las nacientes del Río Grande de San Juan afluente del Río San Juan del Oro, en la cordillera de Chocaya; el pico más elevado es el Bonete con 5695 m.s.n.m.. Esta cordillera por la cantidad de picos altos y por su gran extensión constituye una de las zonas más altas e importantes de toda la cordillera.(Ver **figura 1.7**)

- **Coordillera Oriental Sección Central** : En esta sección de la Cordillera Oriental, nace el Río Pilcomayo en la Cordillera de los Frailes y también están las nacientes del Río Yuca afluente del Río Tocopalia que a su vez es afluente del Río Tumusla. En esta sección, se encuentra la estación ferroviaria más alta del mundo: PASO DEL CONDOR a 4.782 m.s.n.m.; también se destacan las cumbres KHORIHUARINI con 5.438 m.s.n.m., CHOQUE HUARANI con 5.388 y Condor Chucuña con 1.290 m.s.n.m., el Cerro Rico de Potosí, con 4.824 m.s.n.m. entre los más importantes. (Ver **figura 1.8**)

- **Coordillera Oriental Sección Sur**: En esta sección se encuentran las cordilleras de Chichas y Lipez, la primera formada por varios cerros elevados como ser el CHOROLQUE con 5.552 m.s.n.m., el CUZCO con 5.386 m.s.n.m., entre los más importantes.

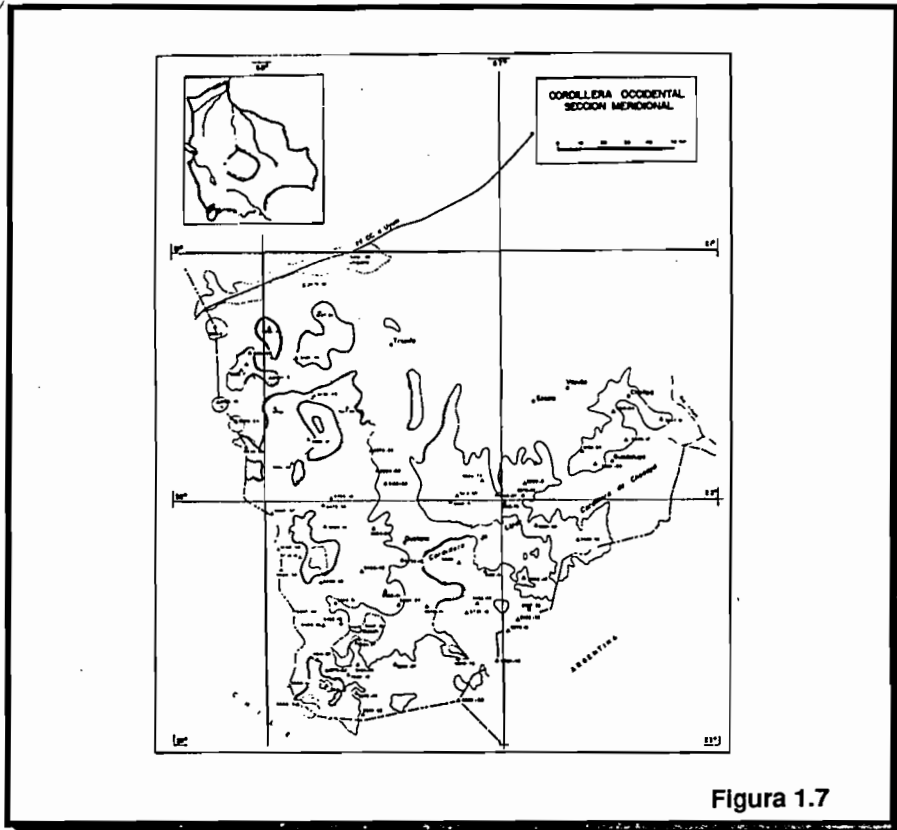


Figura 1.7

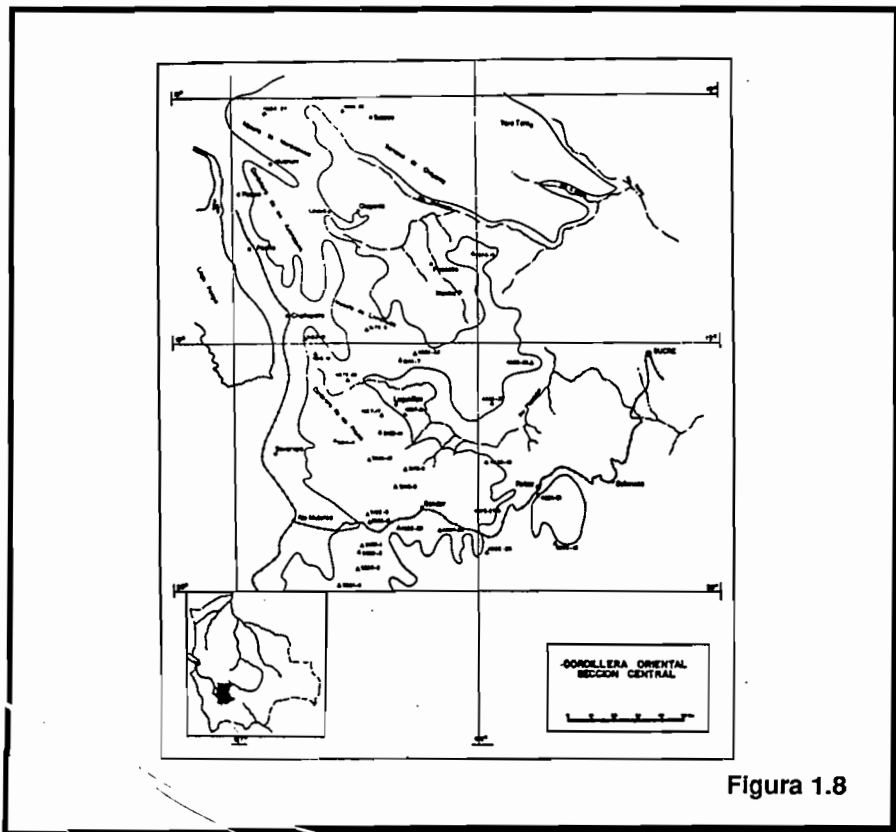
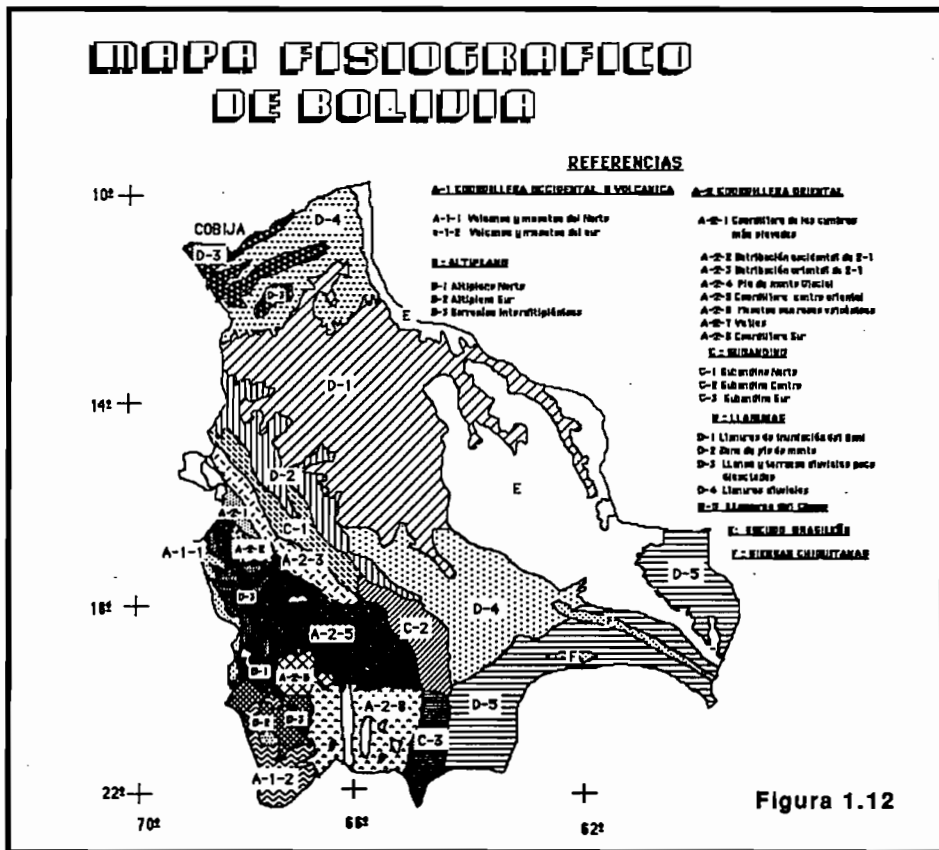
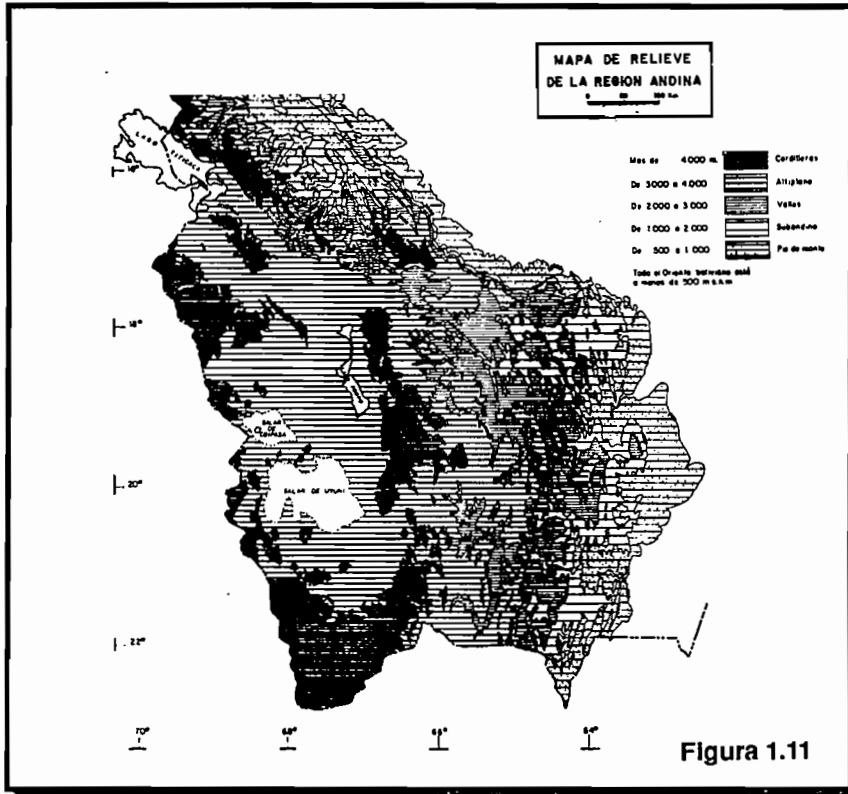


Figura 1.8



Luego, la parte Sur del territorio boliviano entre los 66° y 68° de longitud oeste, y aproximadamente a los 22° de latitud sur, está constituida por una cordillera alta con varios picos que sobrepasan los 5.000 m. de altura, entre los que se destaca el Nuevo Mundo con 5.570 m.s.n.m, esta cordillera, impide el avance del altiplano hacia el Sur.

Otras estribaciones de la cordillera central, en su sector meridional, son la cerranía de Liqui (5.100 m.s.n.m.), la serranía de Mochará (4.600 m.s.n.m.) y más hacia el este, las cerránias de Tajsara y Santa Victoria (aproximadamente 3.500 m.s.n.m.).

Otras ramificaciones que se desprenden de la cordillera Real, bajan hacia el Sur, a partir del meridiano 65°30' oeste, llegando hasta la Argentina; en este sector la cordillera ha perdido altura. El río Pilcomayo profundiza en este sector un importante cañón por donde corre hasta alcanzar Villamontes. (Ver figura 1.9).

- **Sierras Subandinas:** Están formadas por un conjunto de Serranías adyacentes por su sector este a la cordillera Real y Central, cuyas cotas son de aproximadamente 2.000 m.s.n.m. Este frente sigue en la cuenca una dirección Norte Sur hasta la frontera con la cuenca del Río Bermejo.

En este sector, la cuenca es atravesada por las serranías Caipendí, del Tigre, de Huacaya, de Aguarabe, con alturas que van de aproximadamente los 500 m.s.n.m. a 2.000 m.s.n.m. (Ver figura 1.10).

Además se presenta el mapa de relieve de la Región Andina (figura 1.11)

1.3.4.2 Fisiografía

Tal como se vé en la figura 1.12 (Fisiografía de Bolivia) según el Ing. Ismael Montes de Oca, la cuenca se encuentra en las siguientes regiones fisiográficas :

- **Coordillera Oriental**
- **Sub-Andino Sur**
- **LLanuras del Chaco**

1.3.4.3 Geología

Para el estudio que se realiza es importante conocer el tipo de estructuras hidrogeológicas de la cuenca; de las cuales podemos tener una idea mediante el mapa elaborado por el Ing. Rodolfo García Agreda e Ing. Rosa Viparelli de Zahender. (figura 1.13).

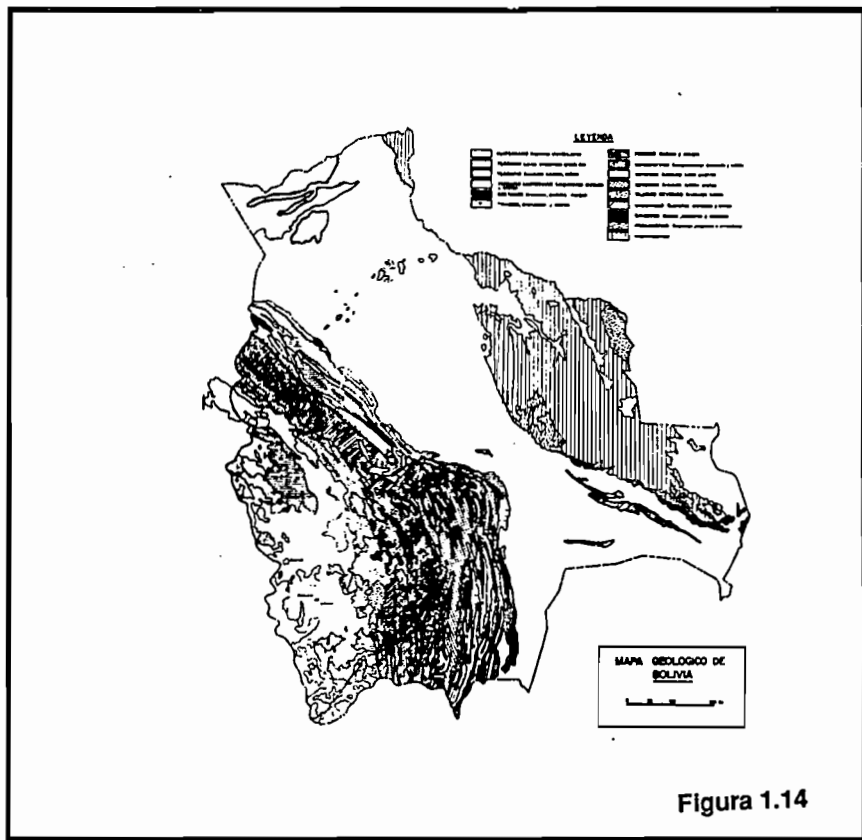
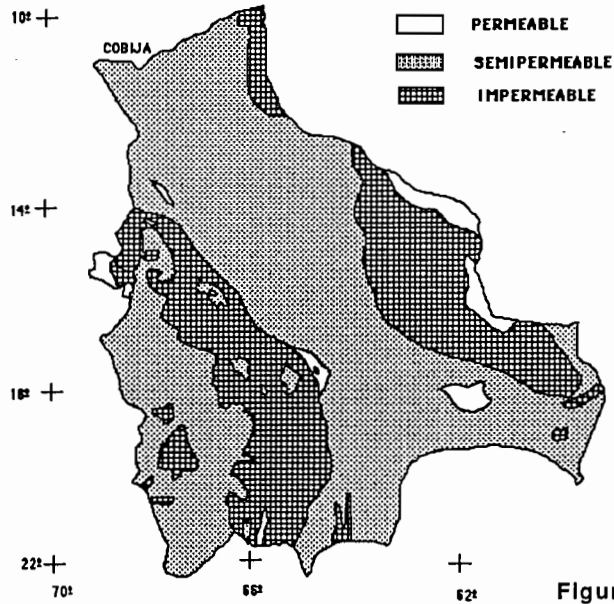
El sector Nor-occidental, parte alta de la cuenca posee una estructura de tipo Impermeable y Semi-impermeable.

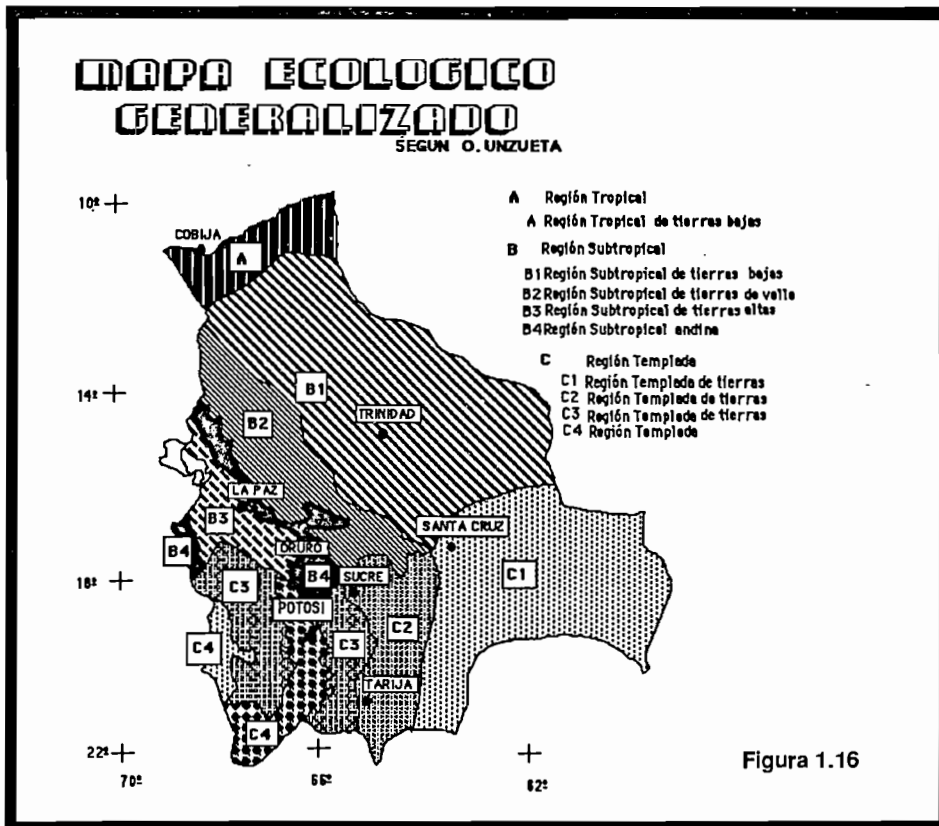
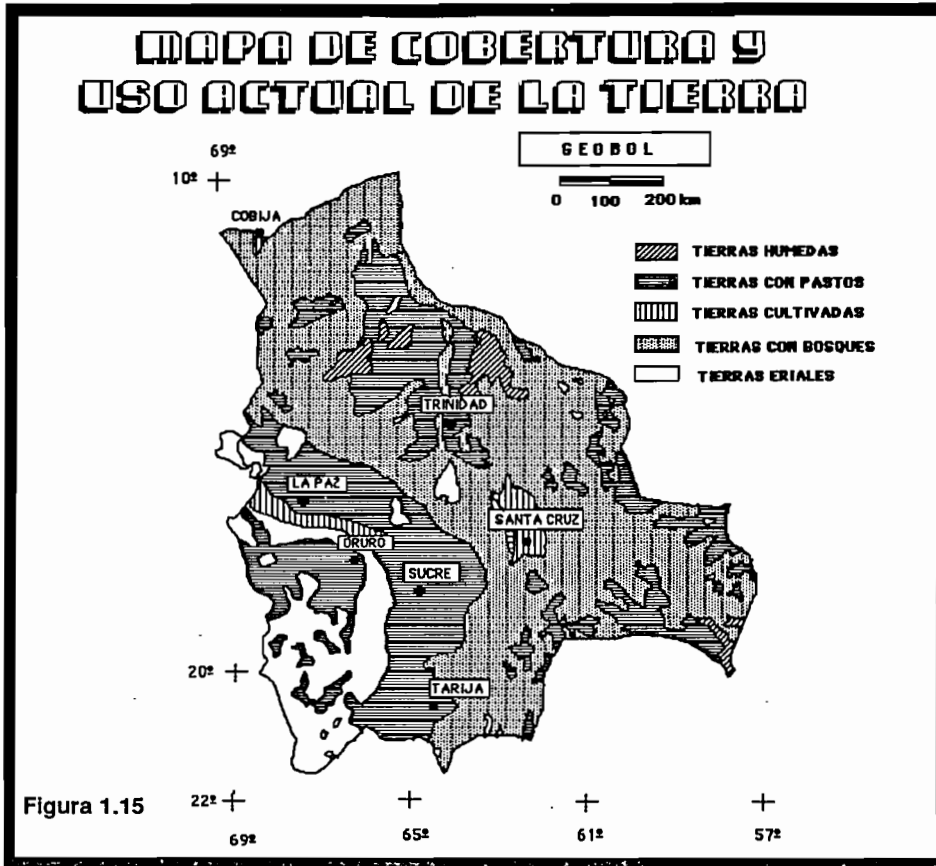
El sector Sur de la cuenca tiene casi la misma estructura que el anterior pero con una adición que es una franja permeable en la zona que baña el Río San Juan del Oro que va desde Villazón hasta Camargo aproximadamente.

Finalmente, la parte baja de la cuenca tiene una tendencia a ser Semi-impermeable.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS

Según : Ing. R. García Agrada
Ing. R. Viquez de Zahender





Como referencia se presenta el mapa geológico de la cuenca donde se muestran rasgos estratigráficos y tectónicos.(figura 1.14)

1.3.4.4 Cobertura y uso del suelo de la región

La última información que posee el país es la editada por el programa ERTS dependiente de GEOBOL ; la misma que se puede observar en la figura 1.15.

1.3.4.5 Ecología

La figura 1.16 muestra el mapa ecológico de Bolivia, donde se pueden ver las regiones ecológicas dentro de las cuales se enmarca la cuenca en estudio.

1.3.4.6 Aspectos económicos de la cuenca

La estructura productiva de la región donde se desarrolla la cuenca se basa en la explotación de recursos mineros, energéticos y agrícolas.

El sector minero que por muchos años ha sido el principal proveedor de divisas al país ha sufrido una baja considerable en la producción, por causa de la disminución en los precios internacionales principalmente del Estaño del cual Bolivia es uno de los principales productores mundiales. Esta situación ha obligado a que se reduzca la capacidad laboral en las minas nacionalizadas en aproximadamente un 80% y en menor escala en la minería privada; el Departamento de Potosí que fincaba su desarrollo en la explotación de productos mineros ha sufrido por consiguiente una gran baja en la obtención de recursos por concepto de regalías, ya que del total de las exportaciones nacionales por concepto de exportación de minerales este departamento se beneficiaba con aproximadamente el 55% de las regalías, que le significaban aproximadamente el 90% de sus ingresos.

Este cambio, obliga a buscar otras estructuras y fuentes de financiamiento las que fundamentalmente se orientarán al sector primario agroindustrial y agropecuario, el mismo que está recibiendo la máxima prioridad del Gobierno y de los Organismos Financieros.

- El sector energético en la cuenca, se desarrolla principalmente con la explotación de hidrocarburos en la región del Chaco en los Deptos. de Chuquisaca y Tarija, los mismos que junto al departamento de Santa Cruz son los más beneficiados con esta explotación.

Anualmente los departamentos de Tarija y Chuquisaca reciben aproximadamente 30 millones de \$us. por concepto de regalías por la venta de sus recursos energéticos, entre los principales campos de explotación de hidrocarburos en la cuenca, podemos mencionar a Sanandita, Los Monos, Caigua, Taiguatí, La Vertiente, Vuelta Grande, Porvenir.

En este sector se enmarcan los proyectos hidroenergéticos de ENDE como el de ICLA, en el río Pilcomayo que generará 320 M.Watts cuando entre en funcionamiento. Actualmente se gestiona su financiamiento por el orden de 300.000.000 \$us. Si éste se llegara a realizar, entonces el Proyecto integrado de riego Villamontes-Sachapera estará garantizado, pues son proyectos que necesitan uno del otro, para ser rentables.

- El sector Agrícola, que es el primario, se desarrolla fundamentalmente en la zona de los valles donde se produce trigo, maíz, papas, legumbres, hortalizas, frutas: durazno, uva, etc. La gran parte de la fuerza laboral de los tres departamentos es ocupada en este sector. El proyecto más importante en la cuenca es el PROYECTO DE RIEGO VILLAMONTES-SACHAPERÁ, con el cual se pretende regar 60 000 Has. en la provincia del Chaco en el departamento de Tarija, lo cual generaría un incremento de la producción agrícola de la región además de impulsar la agroindustria.

El desarrollo de la Agroindustria es muy limitado, ya que como industrias con proyección se encuentran :

-la industria vitivinícola que se desarrolla en la región comprendida por Camargo, Villa Abecía, Las Carreras y el Valle Central de Tarija.

- la planta de aceites de Villamontes, la misma que no cumple sus objetivos fundamentalmente por la falta de infraestructura productiva de oleaginosas. La producción de estas no abastece la capacidad de la fábrica, motivo que obliga a la importación de insumos de la República Argentina.

-el proceso industrial de ciertas especies como ser ajo, ají, etc.

-proceso de frutas para la producción de mermeladas envasadas, principalmente en los departamentos de Tarija y Chuquisaca.

-la actividad agropecuaria se desarrolla en pequeña escala en la cría de ganado bovino, ovino, en la zona de los Valles y Chaco, produciendo carne para el consumo de la región. En la región altiplánica en el Departamento de Potosí se cría ganado Canélido: alpaca, llamas, cuya actividad se orienta a la utilización de el pelo de estos animales.

-otra actividad que se desarrolla en la zona del Chaco, en la Cuenca, es la explotación de especies maderables para el uso interno del país en pequeña producción y la exportación principalmente de durmientes y madera para carpintería .

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

2.1 PERIODO CONSIDERADO

Dadas las características y simultaneidad de la información, y siguiendo la recomendación de la "GUIA METODOLOGICA PARA LA ELABORACION DEL BALANCE HIDRICO DE LA AMERICA DEL SUR", se ha considerado un período de 15 años que abarca de 1968 a 1982. La elaboración del Balance Hídrico Superficial se realiza a nivel anual, para poder uniformizar los períodos de cálculo con los Balances Hídricos de todos los países de Sud-América; razón por la cual no se utiliza el año hidrológico en este Estudio.

2.2 UBICACION DE LAS ESTACIONES

En el cuadro 2.2.1 y 2.2.2 se muestran las estaciones hidrometeorológicas que se utilizaron para la elaboración del Balance Hídrico de la cuenca del Río Pilcomayo. El cuadro 2.2.1 consta de 8 columnas. La primera columna es el código asignado a cada estación, la segunda es el nombre de la estación, la tercera muestra el número de identificación, la cuarta muestra la altitud de la estación en m.sn.m., la quinta y la sexta muestran las coordenadas de la estación, la séptima es para el tipo de estación (pluviométrica, termométrica, etc.), y la última columna muestra el período anual de registros que se tienen. El ANEXO 1 explica con un ejemplo la forma de llenar el cuadro.

2.3 PRECIPITACION

Se denomina precipitación al agua que proviene de la humedad atmosférica y que cae en la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (lluvia) y/o sólido (nieve o granizo). Por ser uno de los principales componentes de la Ecuación del Balance Hídrico es muy importante que su tratamiento llegue a resultados lo más exactos posibles.

2.3.1 Errores en la estimación de la Precipitación.-

La exactitud con que se mide y evalúa la precipitación es determinante en el resultado del Balance Hídrico, ya que se puede considerar como el parámetro más importante que interviene en él, puesto que es la única fuente de humedad que llega a la superficie terrestre.

Pese a los mejores esfuerzos que se realizan, su evaluación está sujeta a dos tipos de errores:

Error en la medida puntual

CUADRO 2.2.1
ESTACIONES METEOROLOGICAS - CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (TALULA)

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B5DBP101	THOLA PALCA	P101PV	3900.0	17 51	66 50	PVM	64/82
B5DBP102	CRUCE VENTILLA	P102PV	3390.0	19 04	66 12	PVM	62/74
B7DBP103	ALTARA	P103PV	3440.0	19 05	65 58	PVM	64/82
B7CBP104	TACOBAMBA	P104PV	3060.0	19 12	65 43	PVM	64/82
B7CBP105	COLANI	P105PV	3858.0	19 19	65 32	PVM	64/82
B7GBP106	SALINAS DE YOCALLA	P106PV	3510.0	19 23	66 01	PVM	64/81
B7GBP107	YOCALLA	P107TP	3450.0	19 23	65 55	TP	44/82
B7GBP108	TINOUYAYA	P108TP	3200.0	19 13	65 49	TP	64/82

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (TALULA-ICLA)

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B3FBP201	VILLA GARCIA	P201PV	2740.0	19 05	65 28	PVM	62/74
B3FBP202	QUILA QUILA	P202PV	2840.0	19 05	65 22	PVM	62/82
B3IBP203	PUENTE (SUCRE)	P203PV	2222.0	19 21	65 10	PVM	73/82
B7DBP204	RAVELD	P204TP	3205.0	18 48	65 31	TP	45/82
B3FBP205	YOTALA	P205TP	2511.0	19 09	65 16	TP	46/82
B3FBP206	TALULLA	P206TP	2700.0	19 07	65 27	TP	63/82
B7IBP207	CHINOLI	P207TP	3450.0	19 38	65 22	TP	63/82
B3IBP208	TARABUCO	P208TP	3284.0	19 10	64 57	TP	43/82
B3FBP209	SUCRE SENAMHI	P209CO	2890.0	19 01	65 18	CO	43/82
B3FBP210	PUNA	P210CO	3280.0	19 47	65 30	CO	57/82
B7GBP211	POTOSI SENAMHI	P211CO	3860.0	19 35	65 34	CO	43/82
B3FBP212	SUCRE AASANA	P212SA	2903.0	19 03	65 13	SA	44/82
B7GBP213	POTOSI AASANA	P213SA	3860.0	19 35	65 34	SA	57/82

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (ICLA-VILLAMONTES)

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B9FBP301	TIMBOY	P301PV	760.0	21 09	64 14	PVM	74/80
B9DBP302	PALOS BLANCOS	P302PV	720.0	21 24	63 47	PVM	75/82
B9EBP303	LEON CANCHAS	P303PV	2580.0	21 11	64 43	PVM	76/82
B0FBP304	SALADITO NORTE	P303PV	1000.0	21 18	64 07	PVM	77/82
B9EBP305	ALTO DE CAJAS	P305PV	2500.0	21 18	64 28	PVM	76/81
B3EBP306	SANTA ELENA	P306PV	2160.0	20 34	64 48	PVM	75/80
B3CBP307	ROSARIO DEL INGRE	P307PV	820.0	20 43	64 01	PVM	75/82
B3CBP308	NACAMIRI	P308PV	860.0	20 43	64 01	PVM	75/82
B3JBP309	VIÑA QUEMADA	P309TP	2030.0	19 24	63 51	TP	77/82
B7IBP310	TURUCHIPA	P310TP	2360.0	19 49	64 56	TP	45/82
B3EBP311	CHILCARA	P311TP	3242.0	21 01	64 56	TP	73/82
B9FBP312	PUERTO MARGARITA	P312TP	560.0	21 01	63 48	TP	74/80
B3EBP313	SAN LUCAS	P313TP	3055.0	20 06	65 08	TP	75/82
B30BP314	CULPINA	P314CO	2970.0	20 49	64 56	CO	74/82
B0DBP315	VILLAMONTES SENAMHI	P315CO	340.0	21 15	63 28	CO	43/84
B0DBP316	VILLAMONTES AASANA	P316SA	340.0	21 15	63 28	SA	44/82

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (VILLAMONTES- MISION LA PAZ)

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B9DBP401	CAPIREDA	P401PV	390.0	21 06	63 00	PVM	75/82
B9DBP401	PALMAR GRANDE	P402PV	460.0	21 27	63 27	PVM	78/80
B0DBP403	PARMAR CHICO	P403PV	570.0	21 54	63 38	PVM	77/82
B9DBP404	ALGARROBILLOS	P404PV	350.0	21 57	63 12	PVM	78/82
B9DBP404	ESMERALDA	P405PV	300.0	22 14	62 38	PVM	76/82
B3DB0406	CARANDAITI	P406PV	280.0	20 43	62 52	PVM	76/82
B0DBP407	SACHAPERA	P407PV	610.0	21 39	63 33	PVM	77/82
B9DBP408	SAN BERNARDO	P408TP	400.0	21 26	63 13	TP	78/80

SUB-CUENCA: RIO TUMUSLA

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B7MBT01	PORO	T01PV	4050.0	19 49	66 00	PVM	67/73
B7MBT02	CHAQUILLA	T02PV	4000.0	19 51	66 08	PVM	67/82
B7MBT03	SALTO LEON	T03TP	4572.0	20 08	66 00	PVM	67/82
B7MBT04	LANDARA	T04TP	3758.0	19 54	66 19	PVM	67/82
B7MBT05	KILLPANI	T05PV	3900.0	19 53	66 19	PVM	67/74
B7MBT06	LAGO TORO	T06PV	4100.0	19 51	66 20	PVM	67/74
B7MBT07	TICA TICA	T07PV	3820.0	20 11	66 01	PVM	67/82
B3EBT08	CAWARGO	T08PV	2440.0	20 38	65 12	PVM	49/82
B3GBT09	VILLA ABECIA	T09PV	2200.0	20 58	65 13	PVM	72/82
B7KBT10	TUMUSLA	T10PV	2580.0	20 19	65 37	PVM	74/82
B7KBT11	COTAGATA	T11TP	2620.0	20 48	65 36	TP	73/82
B7KBT12	VITICHI	T12TP	3020.0	20 12	65 29	TP	75/82

SUB-CUENCA: RIO SAN JUAN DEL ORO

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
ABSJ001	LA QUACA (ARG.)	SJ001PV	3443.0	22 05	65 36	PVM	11/74
B8BBSJ01	COPACABANA	SJ01PV	3650.0	21 51	63 04	PVM	65/81
B7DBSJ02	SN. ANTONIO DE ESMO	SJ02PV	3700.0	21 44	66 20	PVM	76/81
B7MBSJ03	SN. JOSE DE PAMPA GF	SJ03TP	3000.0	21 41	65 49	TP	43/82
B7JBSJ04	MOJO	SJ04TP	3400.0	21 49	65 33	TP	43/82
B7JBSJ05	VILLAZON	SJ05TP	3443.0	22 05	65 36	TP	43/82
B6EBSJ06	EL FUENTE	SJ06TP	2230.0	21 15	65 16	TP	63/81
B7NBSJ07	TURPIZA	SJ07TP	2952.0	21 26	63 43	TP	43/82
B7NBSJ08	ORLCA	SJ08TP	3120.0	21 20	65 50	TP	43/82
B9EBSJ09	Sn ANTONIO ISCAYAC	SJ09TP	3400.0	21 26	64 57	TP	75/82

ESTACIONES DE APOYO

CODIGO	NOMBRE	Nº IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
	TULLMA		2580.0	19 03	65 17	PVM	62/82
	YESEFA NORTE		2320.0	21 21	64 33	PVM	76/80
	CALDERILLA		3100.0	21 45	64 57	PVM	66/81
	ENTRE RIOS		1230.0	21 32	64 13	PVM	64/82
	ITAU		980.0	21 43	63 56	PVM	74/82
	AYOMA		3470.0	18 52	66 08	PVM	67/82
	MACHA		3512.0	18 44	65 57	PVM	68/75
	COQUECHACA		4170.0	18 41	66 00	PVM	66/81
	OURIGA		1880.0	18 26	64 13	PVM	64/80
	PRESTO		2460.0	18 56	64 56	PVM	68/80
	SOPACHUY		1950.0	19 30	64 30	PVM	67/81
	TARVITA		2248.0	19 50	64 32	PVM	67/81
	MONTEGUDO		2130.0	19 49	63 58	PVM	67/81
	ITAGUAZURENDA		690.0	19 47	63 05	PVM	67/81
	REDENCION PAMPA		2437.0	18 49	64 37	PVM	69/81
	ZUDAÑES		2475.0	19 07	64 42	PVM	45/81
	SAN PABLO DE LIPEZ		4230.0	21 41	66 37	PVM	77/82
	UYUNI		3660.0	20 27	66 46	PVM	43/82
	CARAPARI		780.0	21 45	63 46	PVM	76/82
	YACUBA		643.0	22 05	63 42	TP	46/82
	RINCONADA(ARG)		4050.0	22 26	66 10	PVM	44/58
	ABRA PAMPA(ARG)		4010.0	22 43	65 43	PVM	51/74

CUADRO 2.2.1 (Continuación)				
ESTACIONES FLUVIOMETRICAS				
ESTACION	LATITUD S	LONGITUD W	AREA CUENCA	RIO
TALULA	19 07	65 32	6340	PILCOMAYO
VIÑA QUEMADA	19 24	64 51	13500	PILCOMAYO
CHILCARA	21 00	65 04	42000	PILAYA
VILLAMONTES	21 15	63 30	81321	PILCOMAYO
MISION LA PAZ	22 27	62 22	92971	PILCOMAYO

- Error en la evaluación espacial de la precipitación caída sobre una gran superficie, a partir de los valores puntuales, obtenidos en el pluviómetro.

2.3.1.1. Error en la medida Puntual.-

Se puede decir que la precipitación medida con pluviómetro o nivómetros es menor que la que realmente cae, debido a que el pluviómetro crea una perturbación aerodinámica que modifica el campo de precipitación en sus inmediaciones, creando turbulencias que afectan la cantidad de lluvia y nieve que debiera captar.

La principal causa de error en la medida de la precipitación es la acción del viento que produce una turbulencia que desvía la trayectoria de las gotas de lluvia registrando valores que tienen error por defecto, que es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad del viento y menor la velocidad de caída de la gota de agua. A fin de estimar el error en la medida puntual de la precipitación se debe tener en cuenta que:

- hay muy pocos sitios donde la condición de representatividad sea satisfecha.
- la medida de la lluvia no se puede repetir si se tiene duda acerca de su precisión.
- la muestra tomada en el pluviómetro es extremadamente pequeña en relación al conjunto de las precipitaciones que pretenden representar.

Entonces :

$$P = P_m + \Delta P$$

P = Precipitación verdadera

P_m = Precipitación medida en el Pluviómetro

ΔP = Corrección total que debe efectuarse a la precipitación media.

Donde ΔP puede descomponerse en errores de operación, instrumento, efecto aerodinámico en las trayectorias de las partículas causados por el instrumento, ubicación del instrumento. etc.

2.3.1.2. Error en la evaluación de la Precipitación Espacial.

La base para estimar la Precipitación Espacial en una zona de la superficie terrestre, es la medida puntual registrada en los distintos instrumentos que constituyen la red pluviométrica.

La exactitud de la evaluación depende de la densidad de la red, la calidad de los instrumentos, estaciones y observadores.

La densidad de la red depende de la zona de estudio, ya que influye el tipo de precipitación que se presenta en la misma:

- Si las precipitaciones son de origen frontal (Abarcan grandes extensiones de superficie), la red puede ser menos densa con respecto a una zona donde se presentan precipitaciones de origen convectivo, que generalmente son más locales que las frontales.
- Si las precipitaciones son de origen orográfico, se requiere una red más densa, para detectar las variaciones de precipitación que se producen en la zona.

En resumen, el error en la estimación de la precipitación espacial se puede descomponer en:

$$\Delta P_C = \Delta P + \Delta P_G + \Delta P_F$$

siendo:

ΔP_C = error en la evaluación de la precipitación espacial.

ΔP = error en la medida de la precipitación puntual.

ΔP_G = error por no ser suficientemente representativa la precipitación puntual de la zona que representa, que puede ser muy grande si la densidad de la red es pequeña.

ΔP_F = error en la precipitación de las zonas altas de montaña donde no hay instrumentos y es necesario estimarla a partir de extrapolaciones de lo que ocurre en las zonas más bajas (perfil pluviométrico).

2.3.2 .- Análisis de Consistencia .-

Para realizar este análisis, se utiliza el método de las Curvas Doble Acumuladas (CDA) o Doble Acumulación.

El método consiste en calcular un Patrón de Precipitaciones Anuales (PPA), en una región con régimen pluviométrico semejante, como el promedio de las precipitaciones anuales de un conjunto de estadísticas pluviométricas que se considera son las mejores y las más largas de la región; este PPA se acumula año a año obteniéndose una serie de valores anuales acumulados. Comparando este PPA acumulado con las precipitaciones anuales acumuladas de una Estación X, que forma parte del PPA, y llevando los pares de valores (Σ PPA, Σ Px) a un gráfico, los puntos quedarán alineados si la Estación X ha sido bien observada; lo que indicaría que su estadística es consistente. Si existe un quiebre, o sea un cambio de pendiente a partir de un determinado año la estadística de la Estación X debe corregirse.

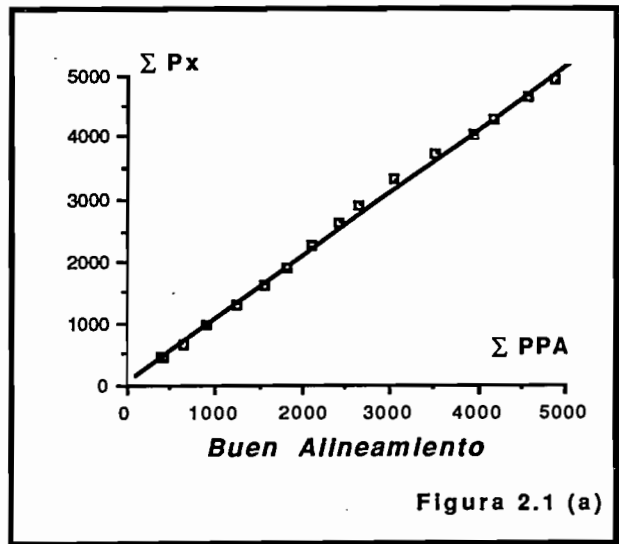


Figura 2.1 (a)

Para realizar la corrección de la estadística de la Estación X, se deben alinear los puntos con la tendencia de acomodación de los puntos de mayor cantidad de años (Ver figuras 2.1 a y 2.1 b).

Hay que tomar en consideración que los últimos años pueden ser los mejor medidos, ya que se supone que el observador tiene mayor experiencia al realizar las mediciones.

METODOLOGIA DE CORRECCION :

En la figura 2.1 b podemos notar lo siguiente :

$$\text{Tg } \beta = \frac{\sum PX_i - \sum PX_j}{\sum PPA_i - \sum PPA_j} \quad \text{Tg } \Omega = \frac{\sum PX_i - \sum PX_o}{\sum PPA_j - \sum PPA_o}$$

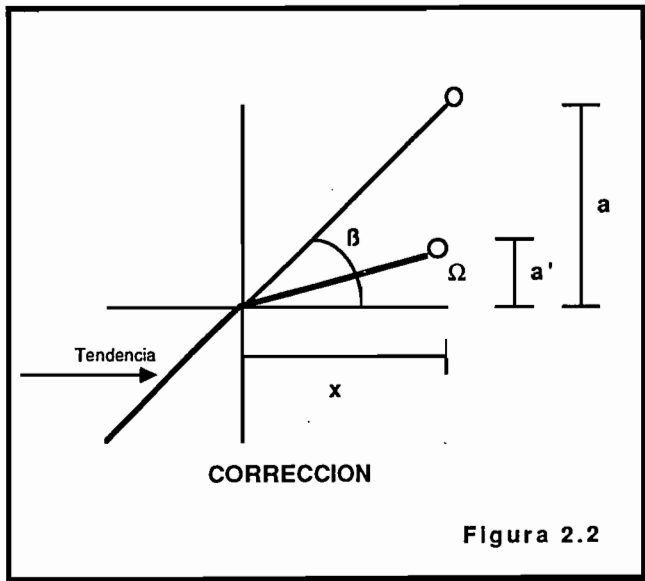
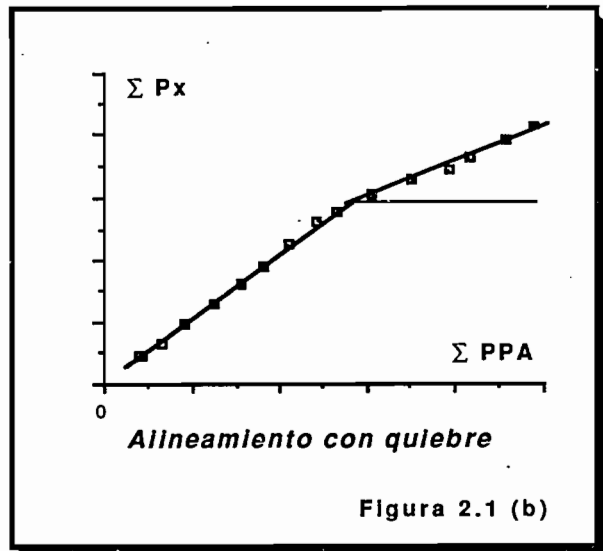


Figura 2.2

Factor de corrección :

La figura 2.2 muestra la manera de calcular el factor de corrección cuando una estadística presenta quiebres. Así tenemos :

$$\begin{aligned} \text{Tg } \beta &= a/x ; x = a / \text{Tg } \beta \\ \text{Tg } \Omega &= a'/x ; x = a' / \text{Tg } \Omega \\ a / \text{Tg } \beta &= a' / \text{Tg } \Omega \\ \underline{a} &= (\text{Tg } \beta / \text{Tg } \Omega) * a' \end{aligned}$$

Luego el factor de corrección es (Tg β / Tg Ω), el mismo que hay que afectar a los años de la estadística que difieren de la tendencia general de la estación.

Para aplicar el método se han seleccionado grupos de estaciones en cada sub-cuenca para formar el PPA, para lo cual se han rellenado las estaciones previamente como se ha indicado anteriormente.

Los grupos de estaciones elegidos son:

SUB GRUPO I

Ajtara
 Tacobamba
 Tinquipaya
 Thola Palca
 Cruce Ventilla
 Salinas de Yocalla
 Yocalla

SUB GRUPO II

Sucre Senamhi
 Sucre AASANA
 Colavi
 Yotala
 Talula
 Villa García
 Quila Quila
 Puente Sucre

SUB GRUPO III

Ajtara
 Tacobamba
 Ravelo

SUB GRUPO IV

Chinoli
 Turuchipa
 Puna
 Vifa Quemada
 San Lucas

SUB GRUPO V

Potosí
 Puna
 Colavi
 Tacobamba
 Tinquipaya

SUB GRUPO VI

Caraparí
 Sachapera
 Palos Blancos
 Yacuiba
 Villa Montes
 Timboy

SUB GRUPO VII

Villa Montes
 Carandañi
 Capirenda
 Rosario del Ingre
 Ñacamiri

SUB GRUPO VIII

Culpina
 Leon Canchas
 Alto de Cajas
 Yesera Norte
 Saladito Norte

SUB GRUPO IX

Tupiza
 Oploca
 S.José de Pampa
 Grande.
 Mojo
 El Puente

SUB GRUPO X

Villazon
 La Quiaca
 Iscayachi
 Taxara

SUB GRUPO XI

Porco
 Lago Toro
 Salto Leon
 Tica Tica

SUB GRUPO XII

Vitichi
 Tumusla
 Camargo
 San Roque
 Cotagaita
 Villa Abecia

2.3.3. Ampliación y Relleno de Estadísticas Pluviométricas

Dadas las características y homogeneidad de la información pluviométrica que se tiene en toda la cuenca es importante utilizar el mayor número de estaciones para trazar el plano de isoyetas y evaluar la precipitación media de la cuenca ; por consiguiente, se rellenaron todas las estadísticas incompletas para el período 1968-1982, en los casos en que el número de rellenos no fuera mayor de ocho años.

Para realizar este trabajo, el autor, juntamente con el Ing. Angel Aliaga Rivera,desa-rollaron un programa de computación en lenguaje BASIC, en una máquina Goupil con Sistema Operativo FLEX; que permite realizar correlaciones simples y múltiples sobre archivos mensuales y anuales de pluviometría; este programa con un ejemplo está explicado en el **ANEXO2**.

Se utiliza la correlación simple entre dos estaciones con las alternativas de correlación lineal, potencial y exponencial buscando siempre el mejor coeficiente de correlación (no menor de 0.70) y de la misma manera en la utilización de la correlación múltiple.

Al aplicar el método en cada grupo de estaciones se ha buscado una estación, con una estadística lo más larga posible y verificando en un primer tanteo su consistencia, que sirva de estación base para realizar la correlación con otra estación; cuando los coeficientes de correlación eran muy bajos, menores de 0,70, entonces se aplicó la correlación múltiple; contrastando la estación que se deseaba rellenar contra grupos de estaciones buscando siempre el mejor coeficiente de correlación; y finalmente cuando los coeficientes de correlación se mantenían por debajo de 0.70 no se realizó el relleno de datos correspondiente.

2.3.4 .-Evaluación de la Precipitación Espacial.-

Para evaluar la precipitación espacial, se utiliza el método de las isoyetas que presenta las siguientes ventajas:

- Permite estimar la variación paulatina de la precipitación en el espacio.
- Facilita el trazado del mapa de evapotranspiración real apoyándose en el mapa de isotermas.
- Permite evaluar la precipitación caída en una cuenca y compararla con la escorrentía registrada a su salida.

Se han realizado los perfiles pluviométricos de las subcuencas para observar la variación de la precipitación con la altura y así apoyándose en el plano topográfico realizar el trazado de las isoyetas. Luego se calcula la precipitación media de la cuenca utilizando el siguiente método: Para cada sub cuenca, se crean los siguientes cuadros

<u>No. DE ISOYETA</u>	<u>PRECIP.ISOYETA</u>	<u>AREA ACUMULADA</u>
Mínima	Precip. Mínima	0
1	P ₁	A ₁
2	P ₂	A ₁ + A ₂
"	"	"
Máxima	Precip. Máxima	A máx. = A subcuenca.

Luego trasladamos los valores de Precipitación y Area Acumulada a un gráfico; colocando en Ordenadas la precipitación y en Absisas el Area Acumulada; entrando en el gráfico a la mitad del Area Acumulada encontramos la Precipitación Media de la Subcuenca.

También calculando el área de la gráfica obtenemos el Volúmen Precipitado, el mismo que dividido entre el área de la subcuenca o de la cuenca da como resultado la precipitación media de la subcuenca o de la cuenca.. (Ver figura 2.3)

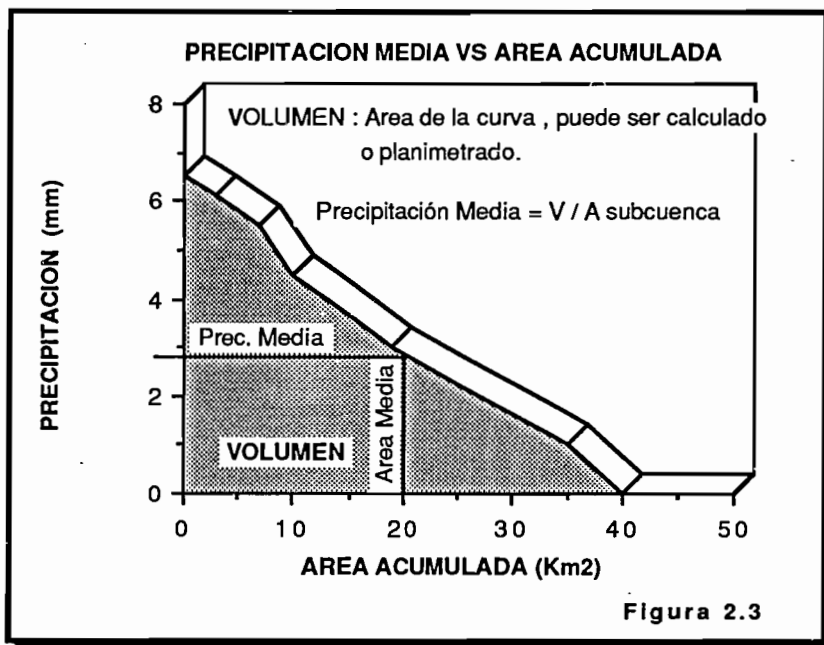
En la figura 2.3 se puede notar que en el valor correspondiente al área de la cuenca se tiene la ordenada de valor cero en precipitación; en la realidad casi no ocurre esta situación, en este caso se la

utiliza para dar mayor claridad a la explicación; puesto que el Volúmen Precipitado se estima entre la ordenada correspondiente a la Precipitación Máxima y la Precipitación Mínima de la cuenca que correspondientemente tienen los valores de área cero y el área de la cuenca.(ver fig 2.22).

Para calcular la $\langle P_m \rangle$ de toda la cuenca realizamos el Promedio Ponderado de las subcuencas:

$$\langle P_m \rangle = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i} = \frac{V_t}{A_c} \quad (\text{Vol. Total Prec. ,Planimetrado, calculado por Simpson, Etc}).$$

(Area total de la cuenca)



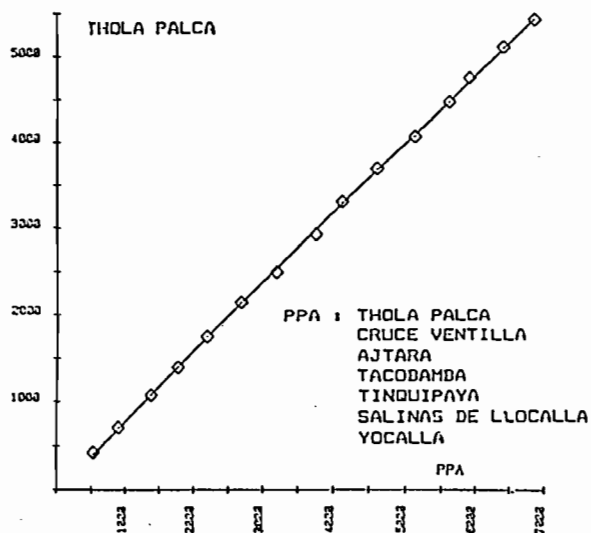
2.3.5 PRESENTACION DE RESULTADOS .-

2.3.5.1 DOBLES ACUMULADAS .-

Según lo mencionado en el punto 2.3.1, se han obtenido los siguientes cuadros con sus respectivos gráficos corregidos y ajustados para cada grupo de estaciones que participan en el análisis. (En el Anexo 2 se muestra un ejemplo de corrección por doble acumulada).

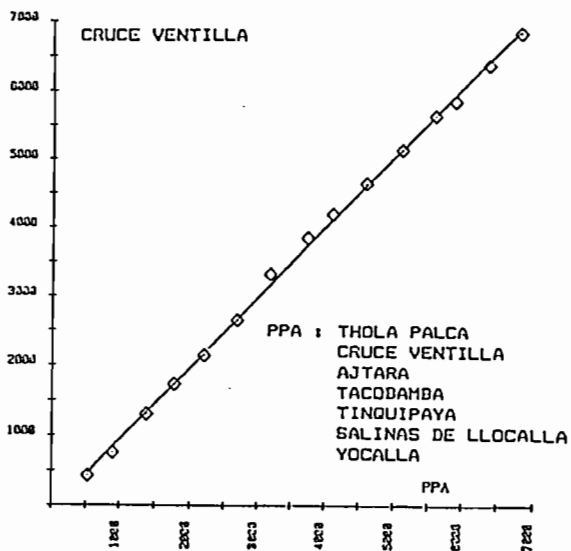
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



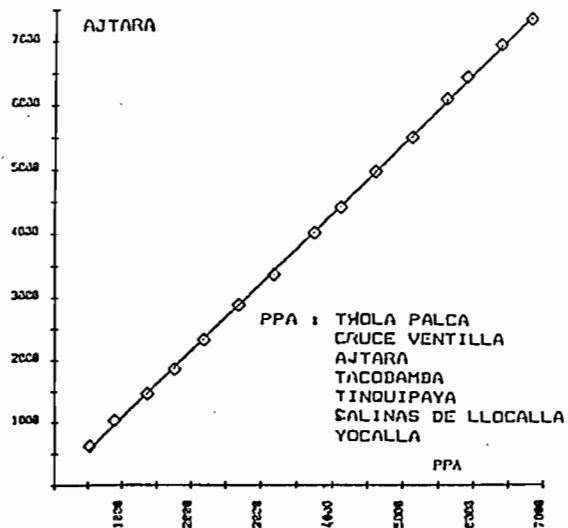
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



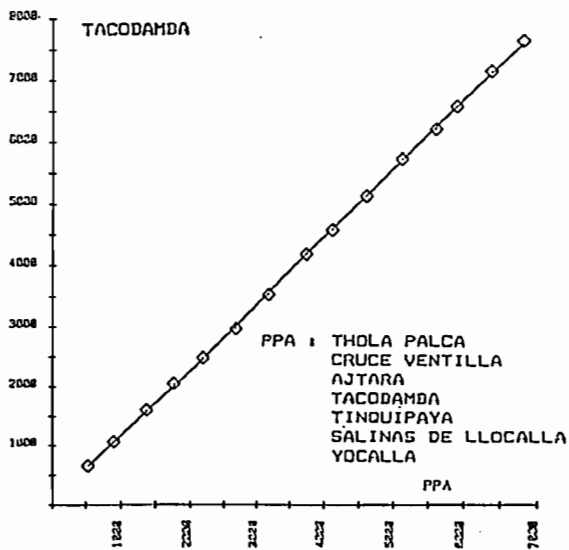
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



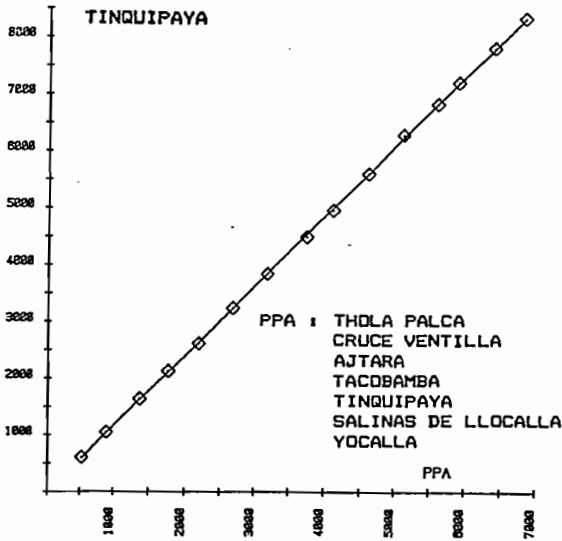
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



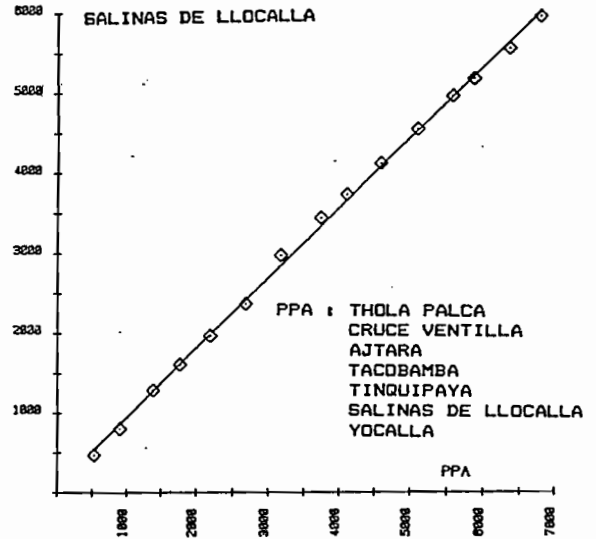
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



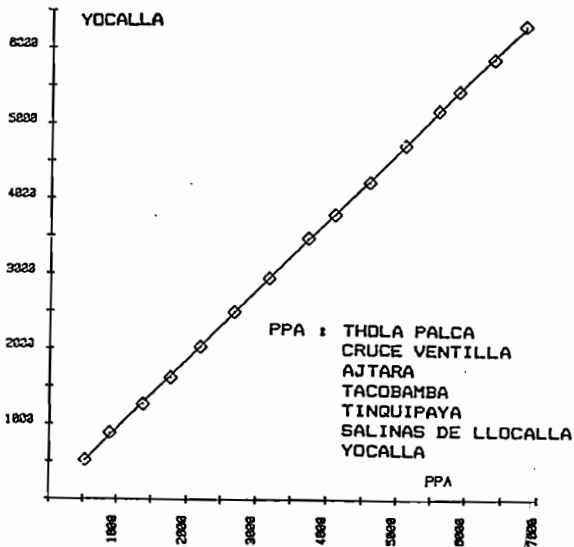
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



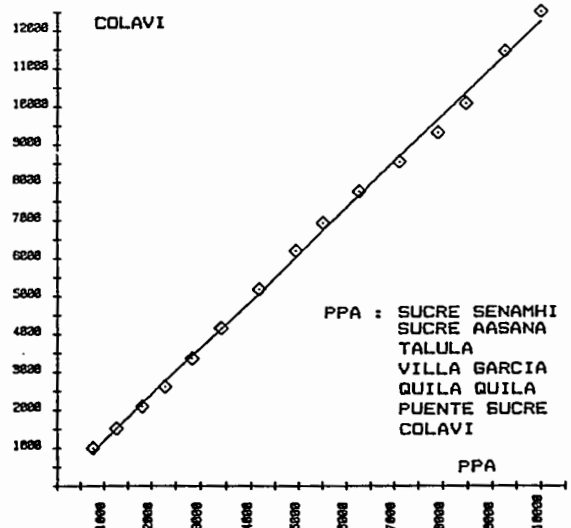
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

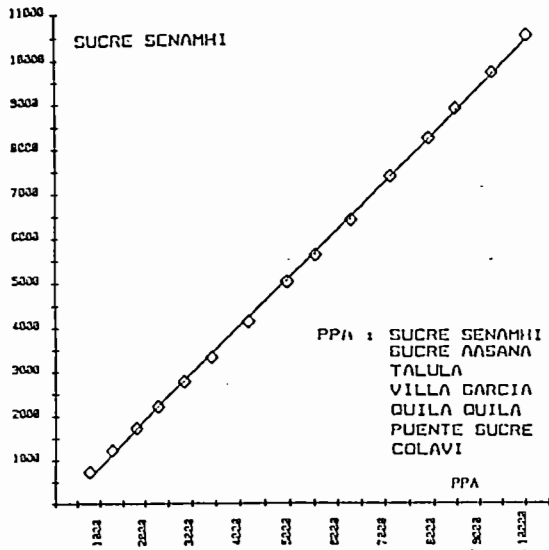


CURVA DOBLE ACUMULADA

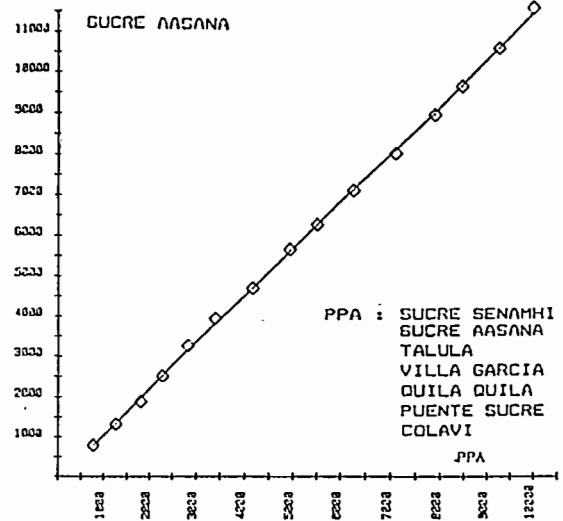
PERIODO : 1968/1982



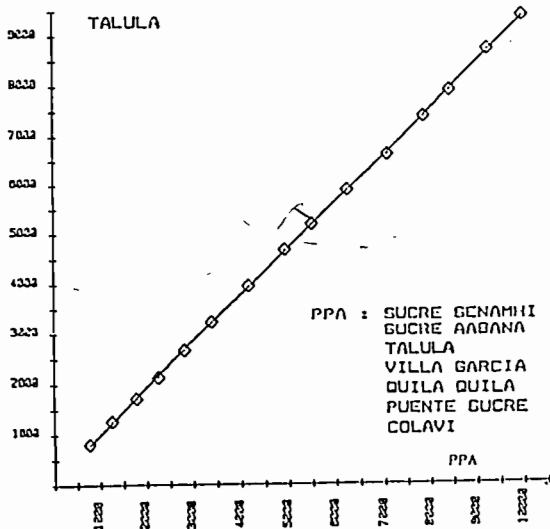
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



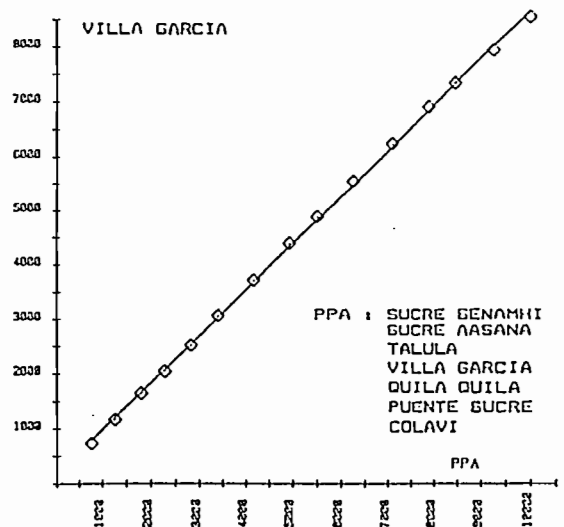
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982

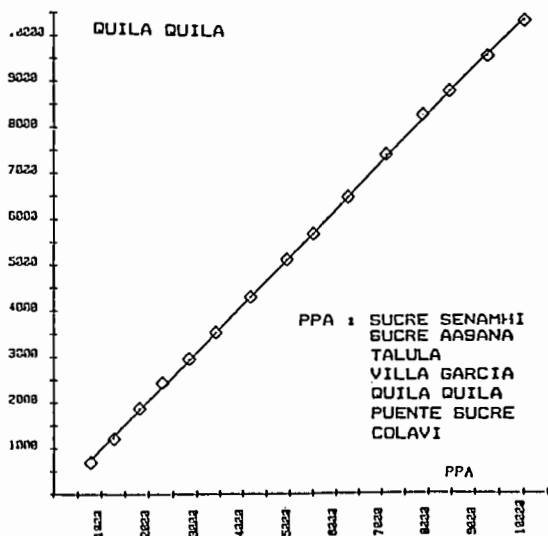


CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



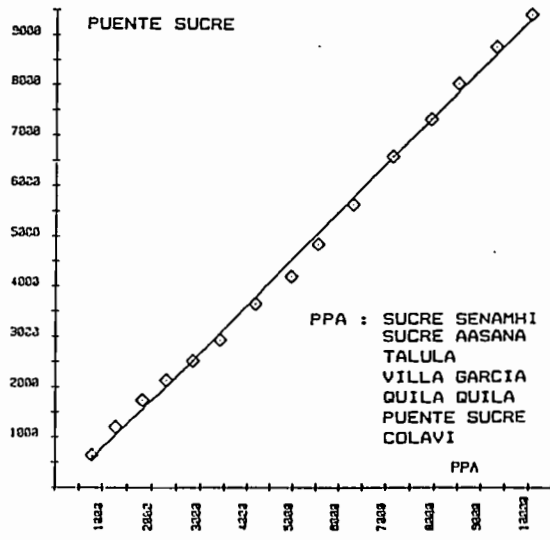
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



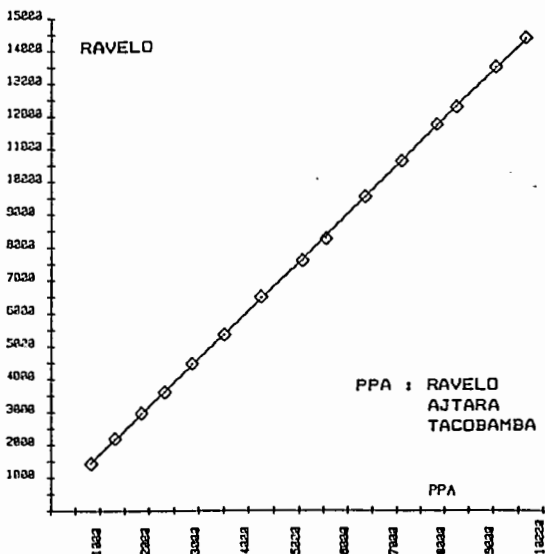
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



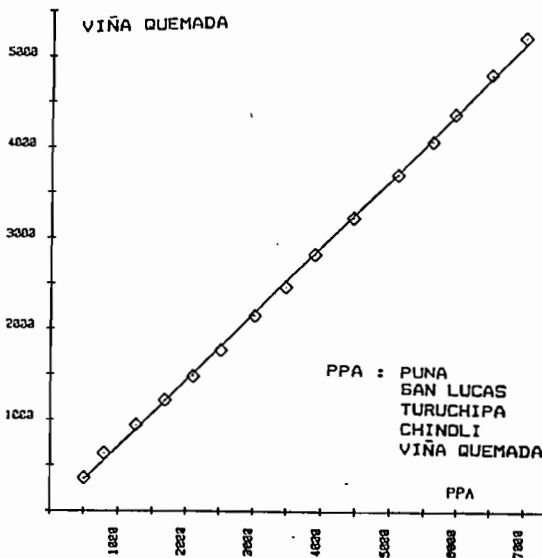
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

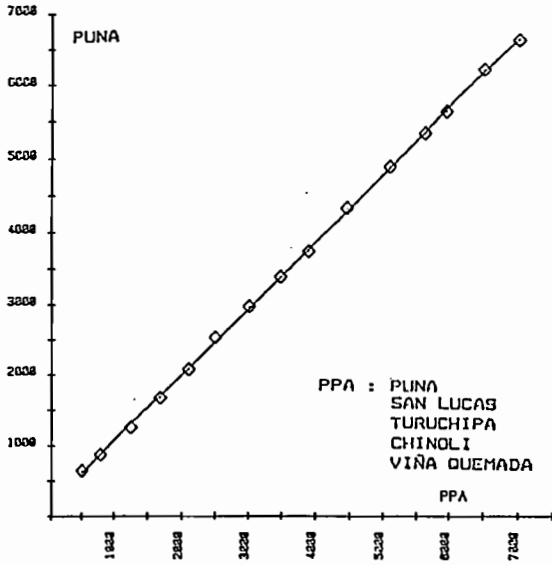


CURVA DOBLE ACUMULADA

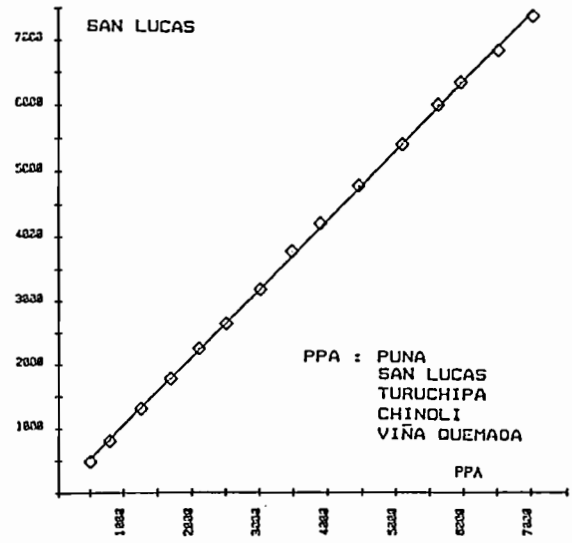
PERIODO : 1968/1982



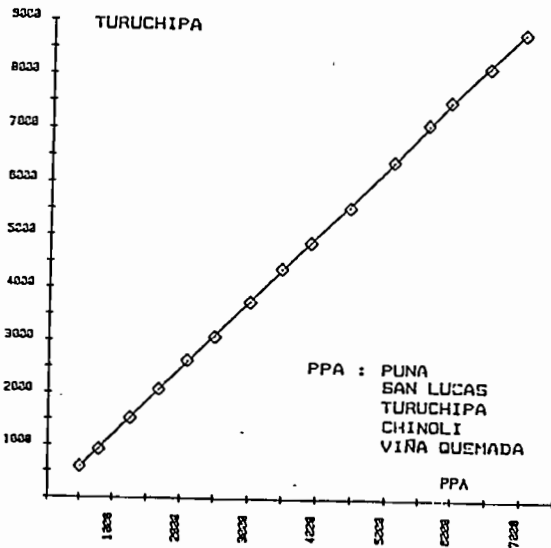
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



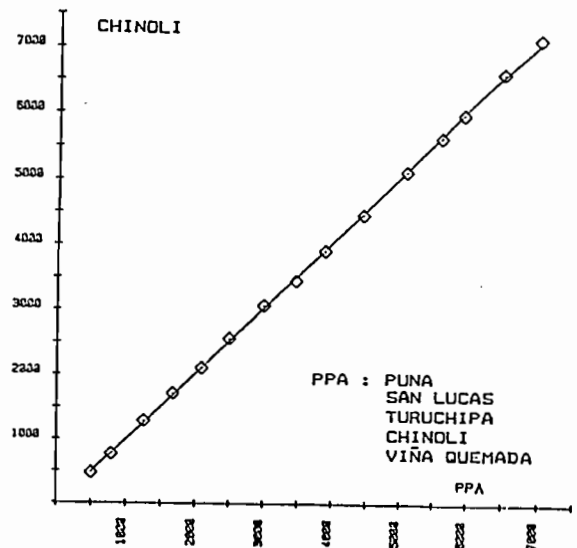
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982

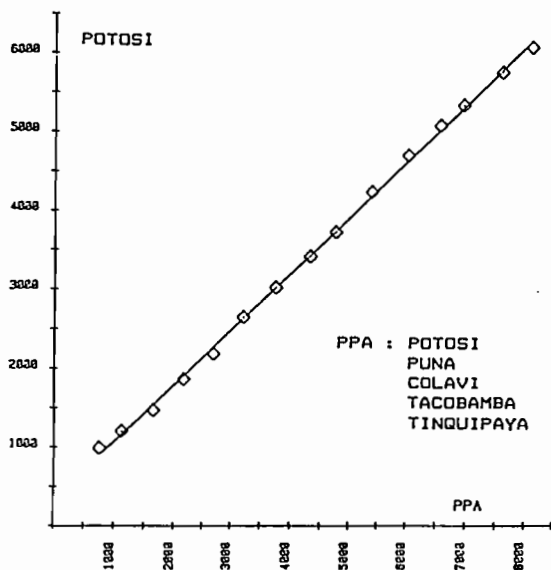


CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



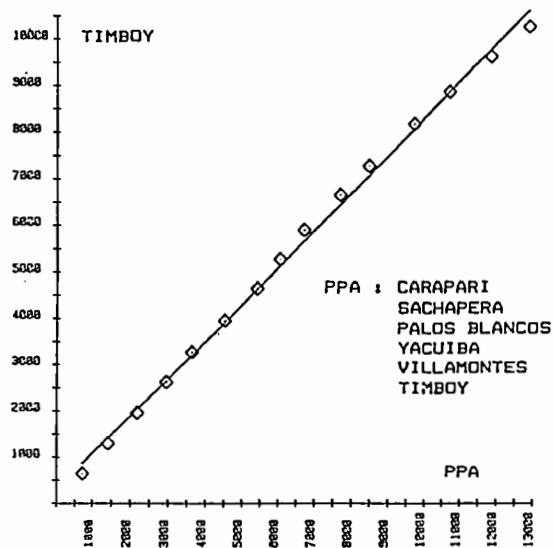
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



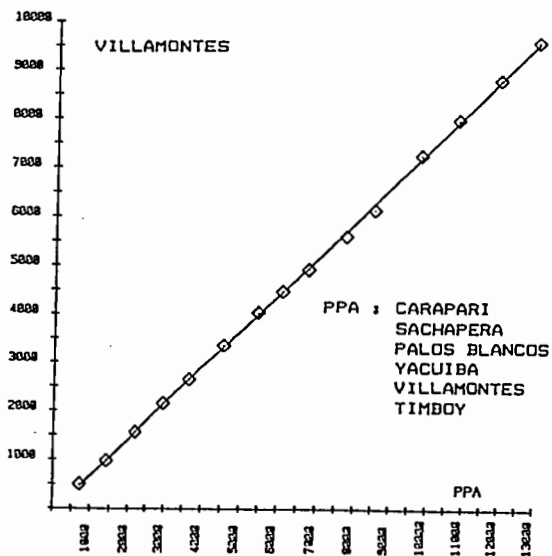
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



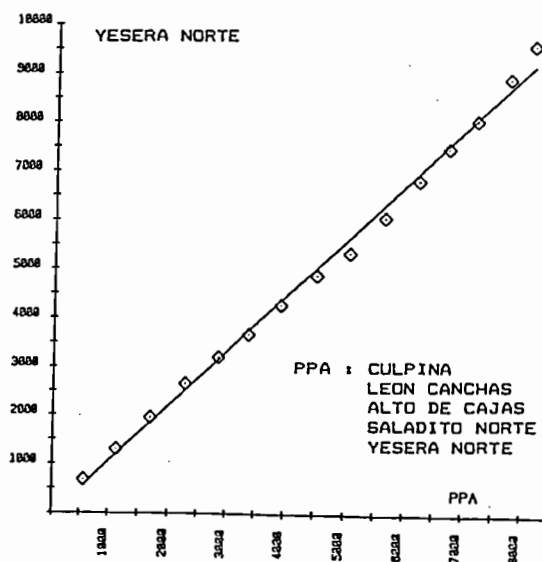
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

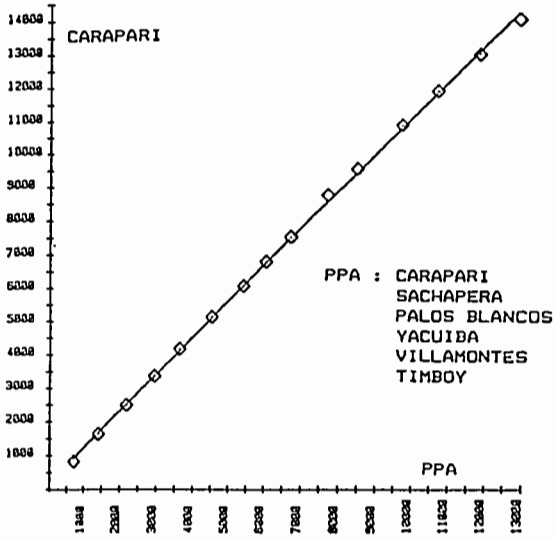


CURVA DOBLE ACUMULADA

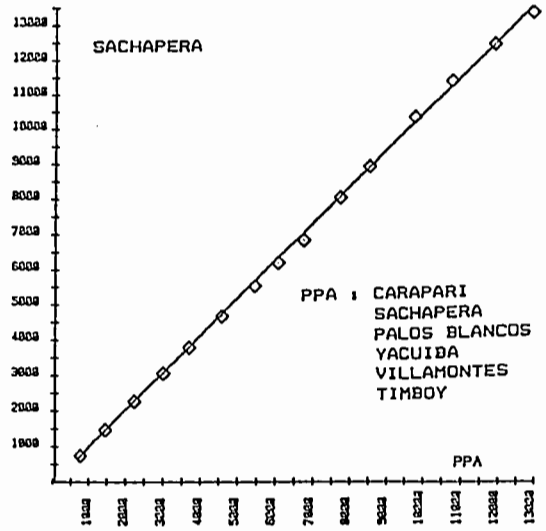
PERIODO : 1968/1982



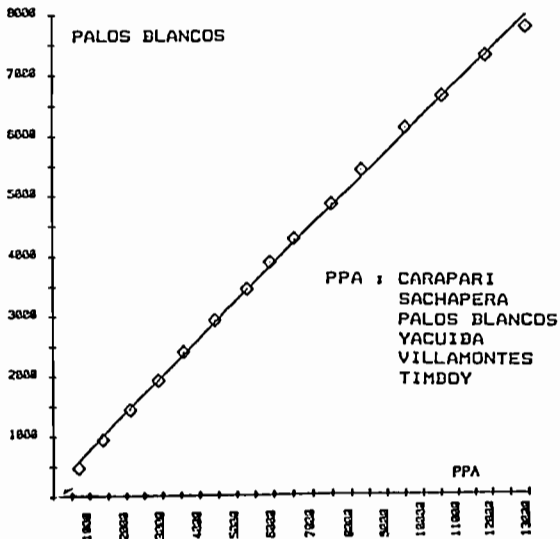
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



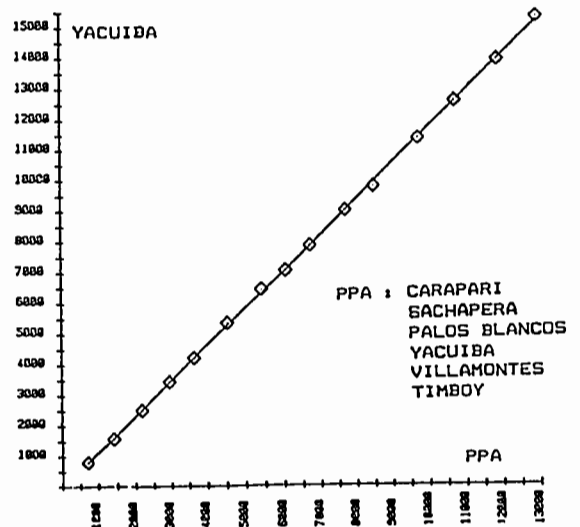
CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982

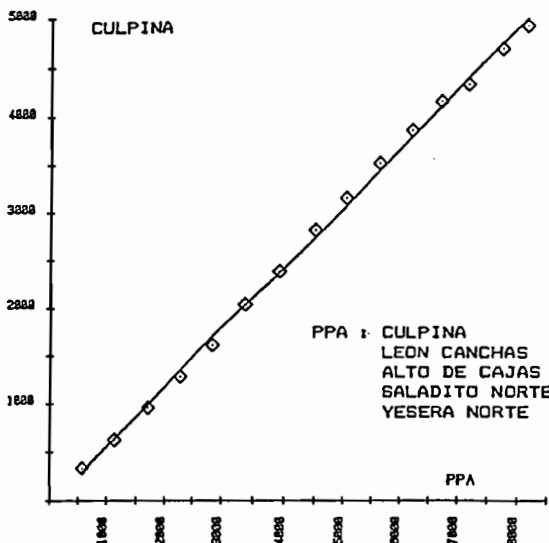


CURVA DOBLE ACUMULADA
PERIODO : 1968/1982



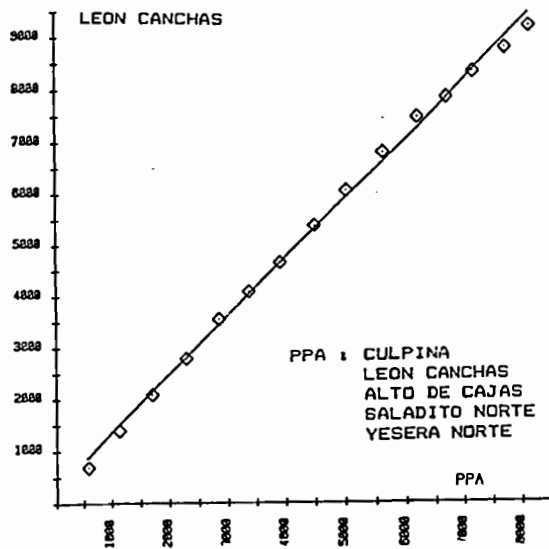
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



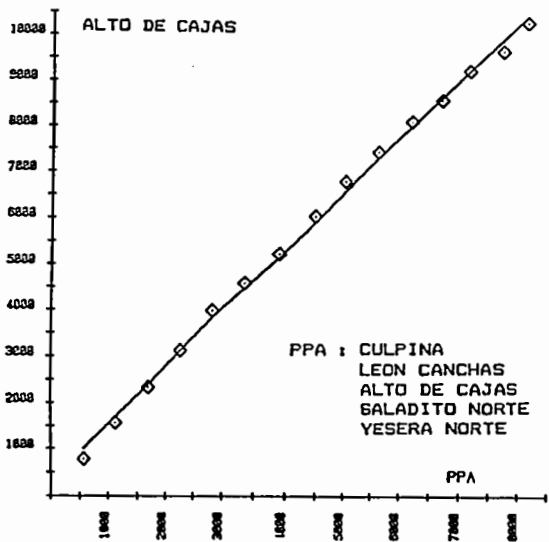
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



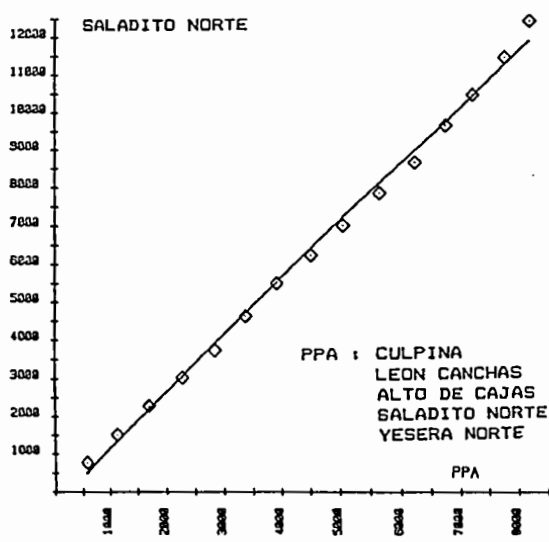
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



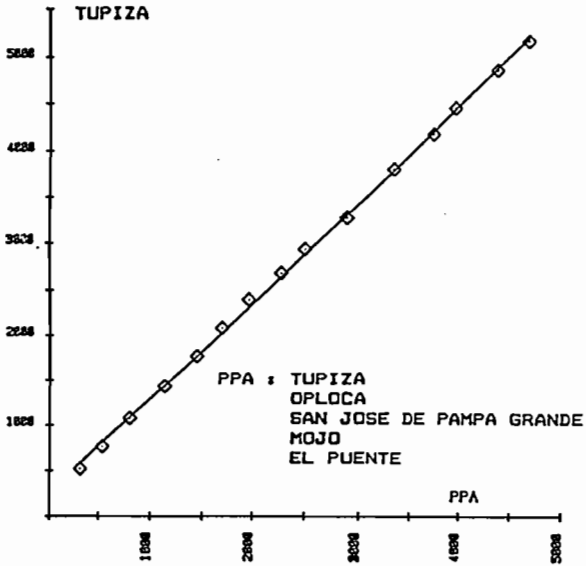
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



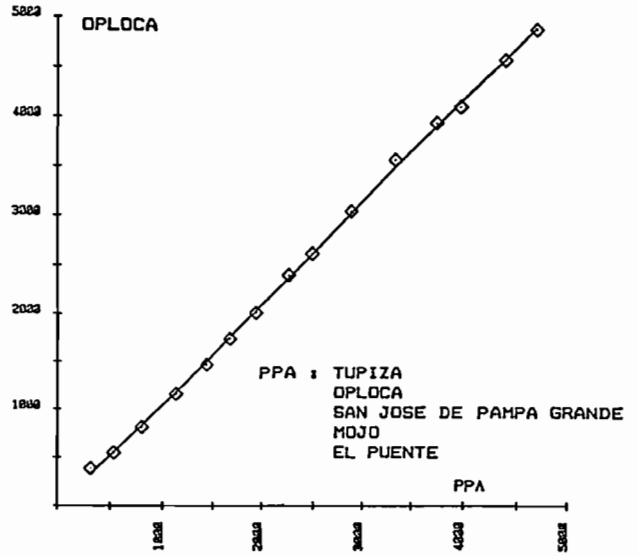
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



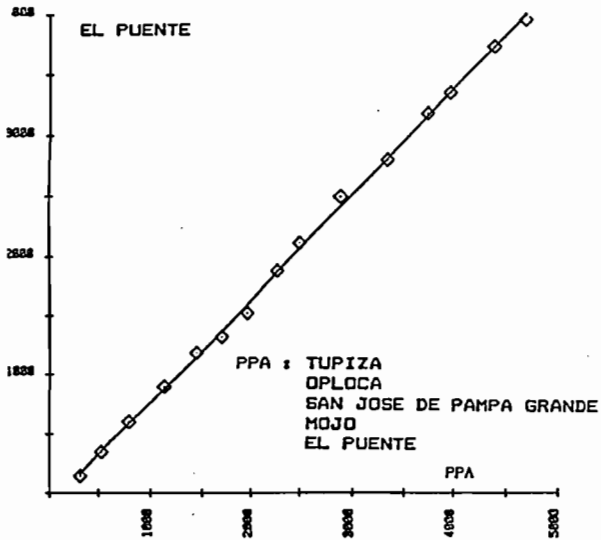
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



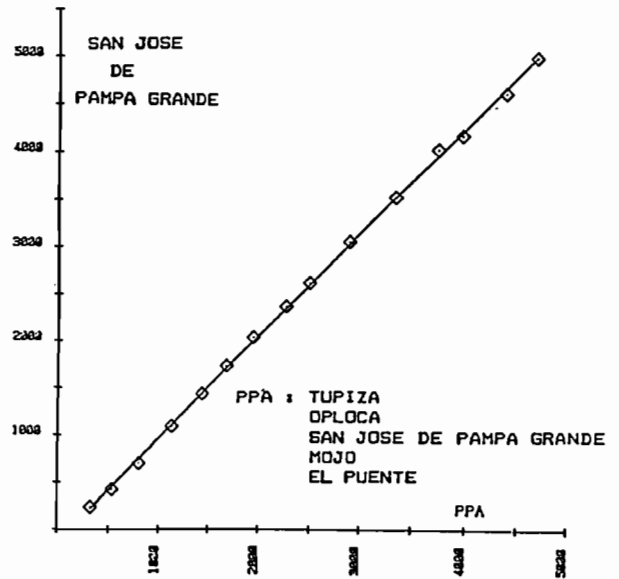
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



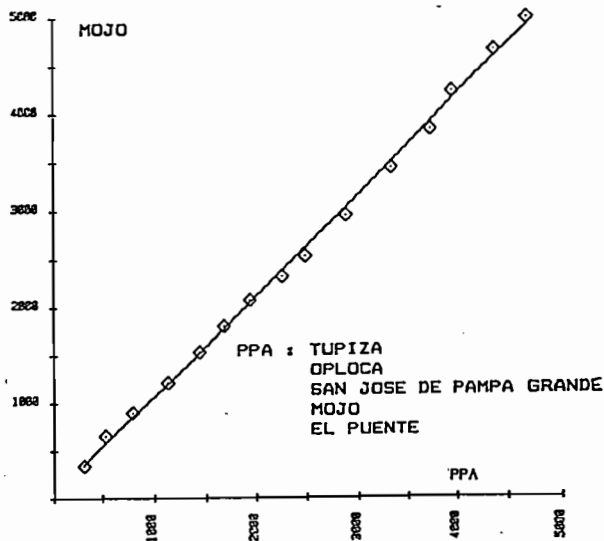
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



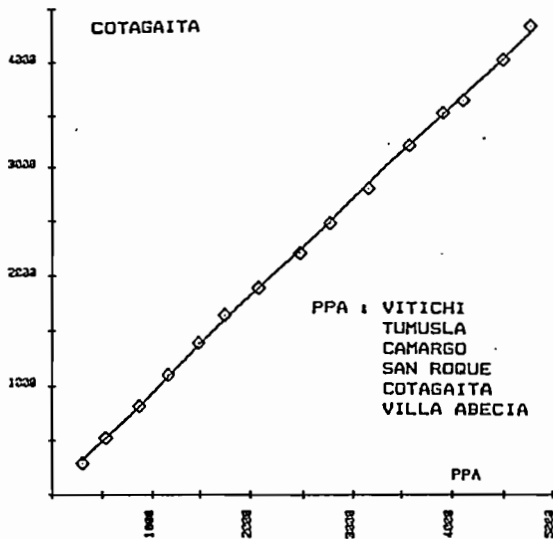
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



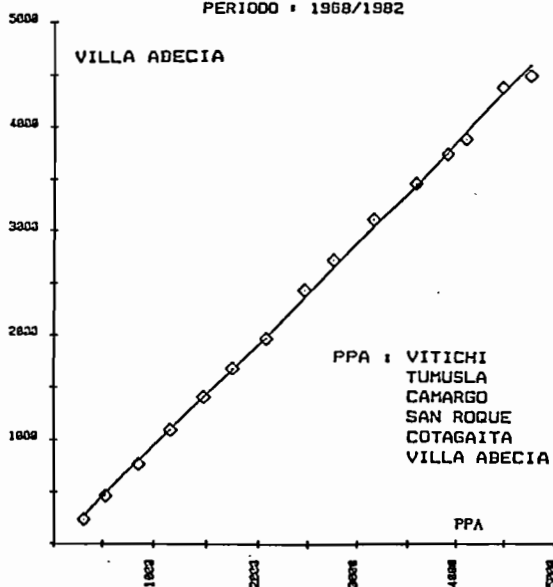
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



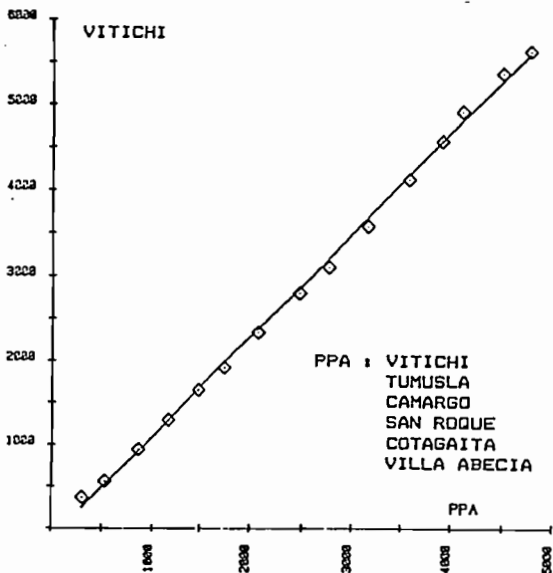
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



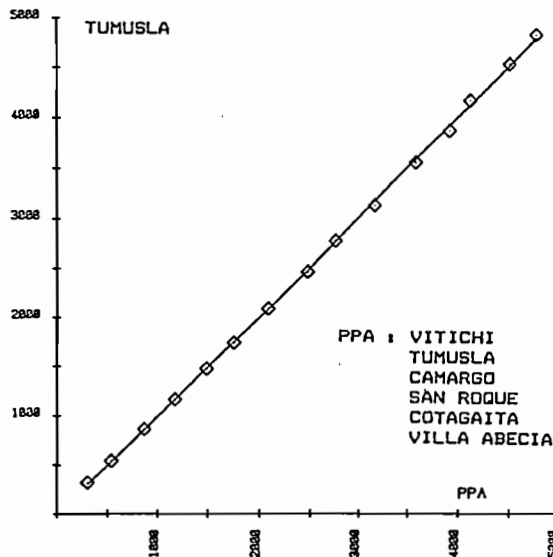
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



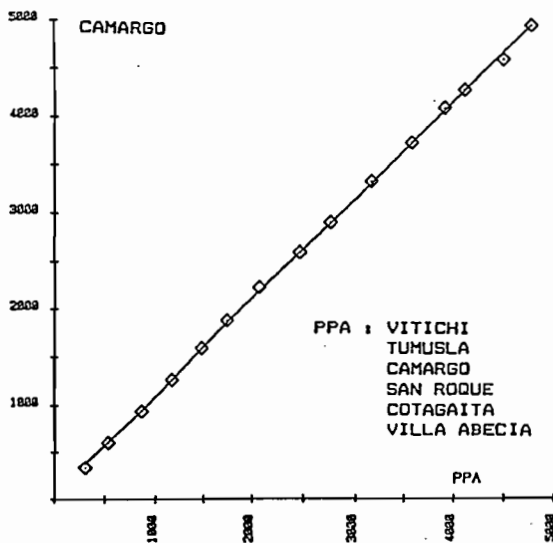
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



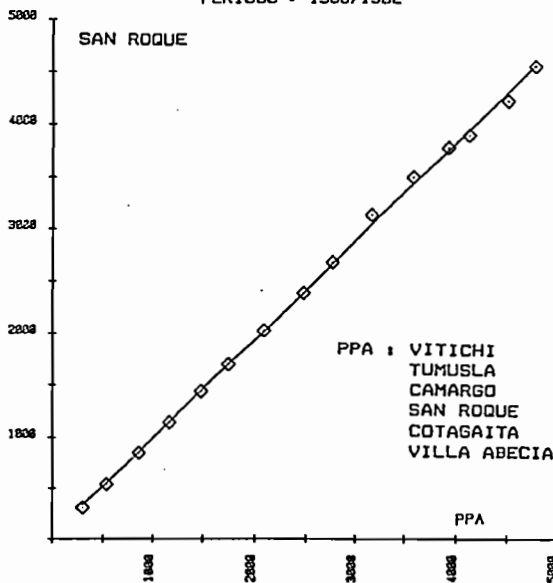
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



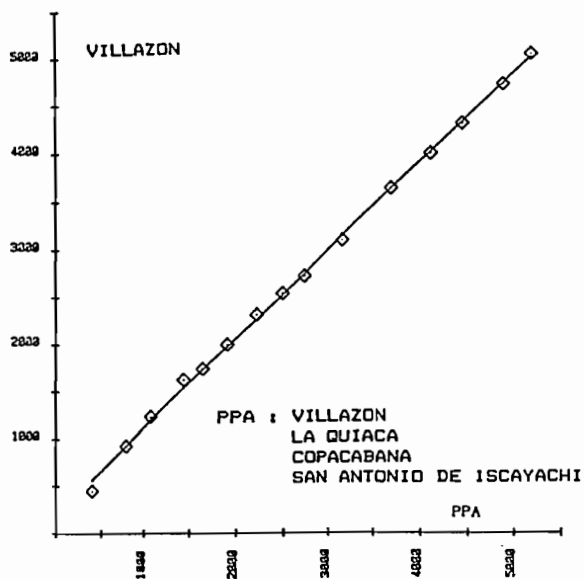
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



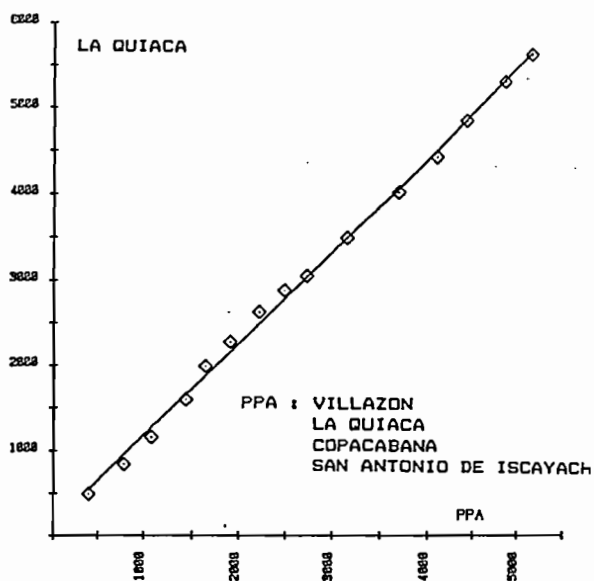
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



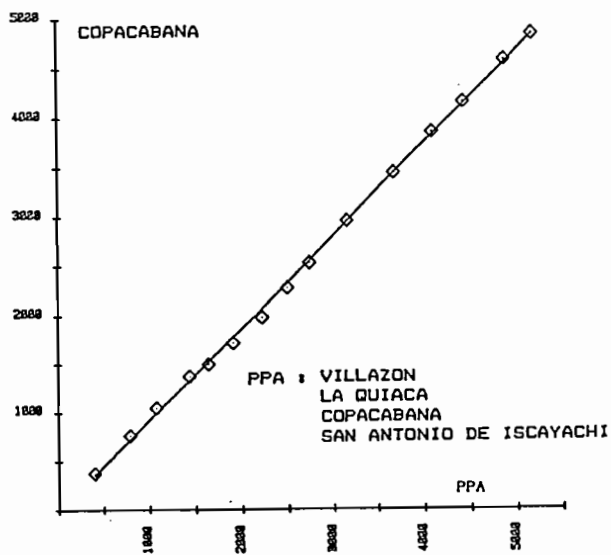
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



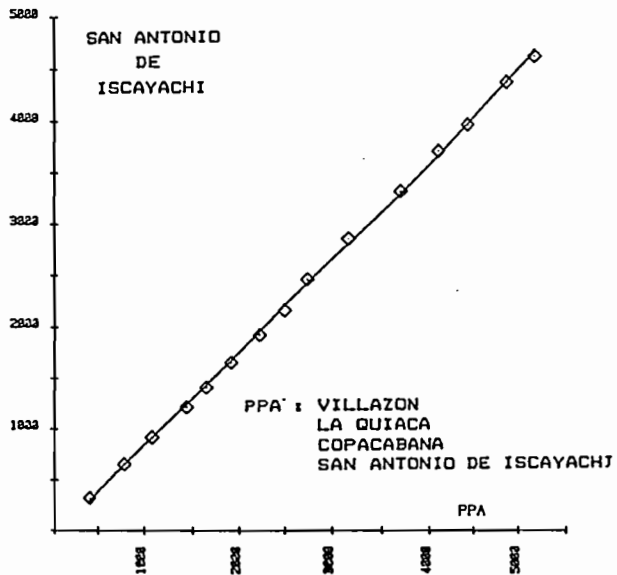
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



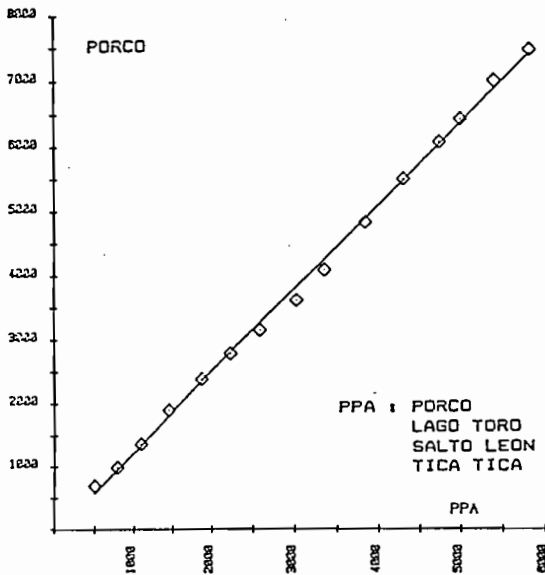
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



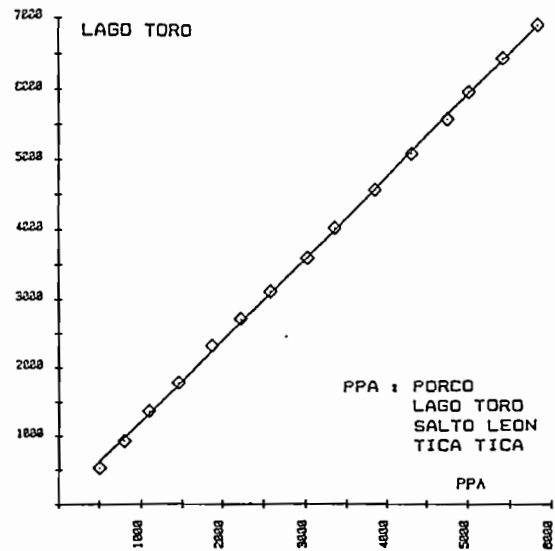
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



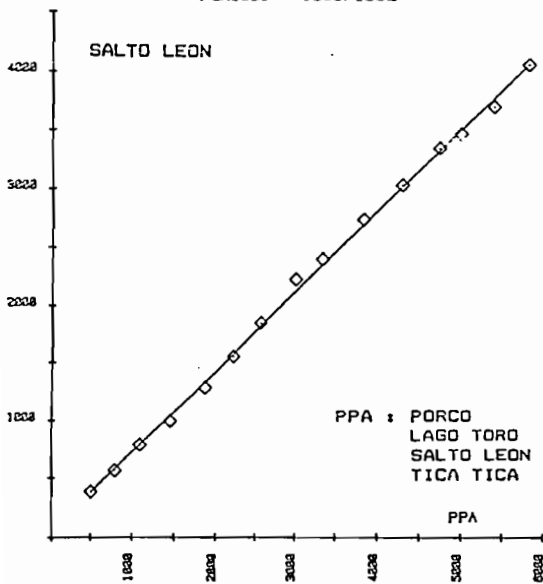
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



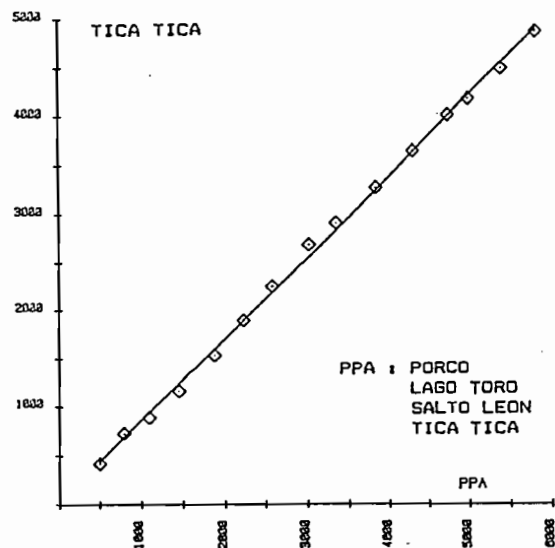
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982



2.3.5.2 PRECIPITACION ESPACIAL.-

Para trazar el mapa de isoyetas que se presenta en el **Anexo 4**, se han trazado los perfiles pluviométricos por sub-cuencas en la zona de altiplano y valles , ya que en estas zonas se presentan precipitaciones de tipo orográfico. En la zona de los llanos se asume una variación lineal de la precipitación.

PERFILES PLUVIOMETRICOS :

SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO

Las figuras 2.16, 2.17, 2.18 muestran los perfiles pluviométricos con sus respectivos cuadros de datos para las sub-cuencas del Río Pilcomayo .

<u>ESTACION</u>	<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>ALTURA</u> (msnm)
AJTARA	489	3440
TACOBAMBA	513	3060
TINQUIPAYA	556	3200
THOLA PALCA	363	3900
CRUCE VENTILLA	455	3390
SALINAS DE LLOCALLA	398	3510
YOCALLA	420	3450

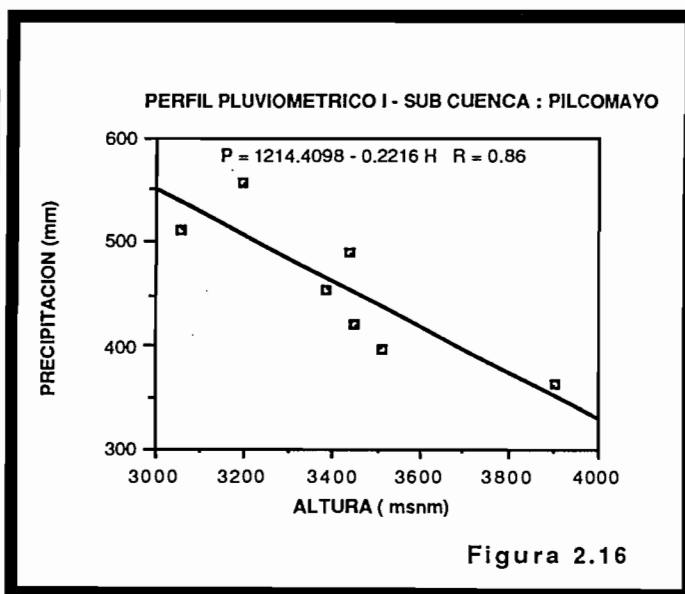


Figura 2.16

<u>ESTACION</u>	<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>ALTURA</u> (msnm)
CHINOLI	478	3450
TURUCHIPA	588	2360
PUNA	444	3280
PUENTE SUCRE	622	2222
SAN LUCAS	490	3055
POTOSI	404	3860
CULPINA	329	2970
LEON CANCHAS	607	2580
ALTO DE CAJAS	682	2500
SALADITO NORTE	766	1000
VILLAMONTES	645	340
ÑACAMIRI	1038	860
ROSARIO DEL INGRE	854	820
TIMBOY	728	760

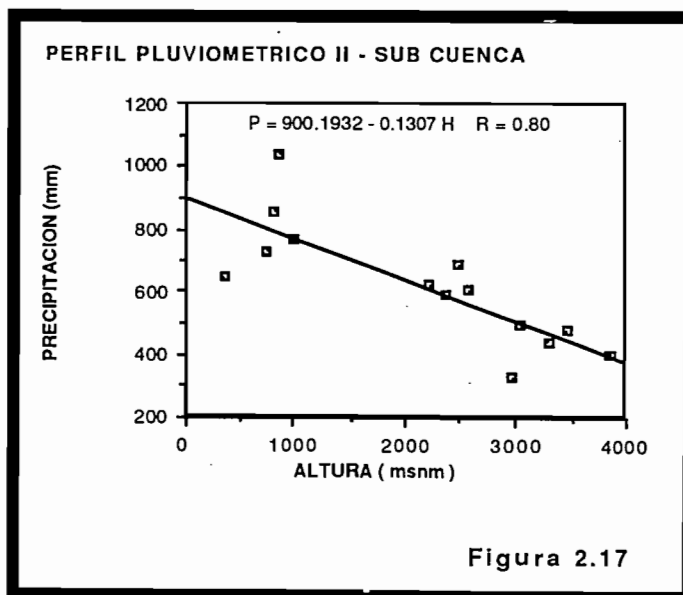
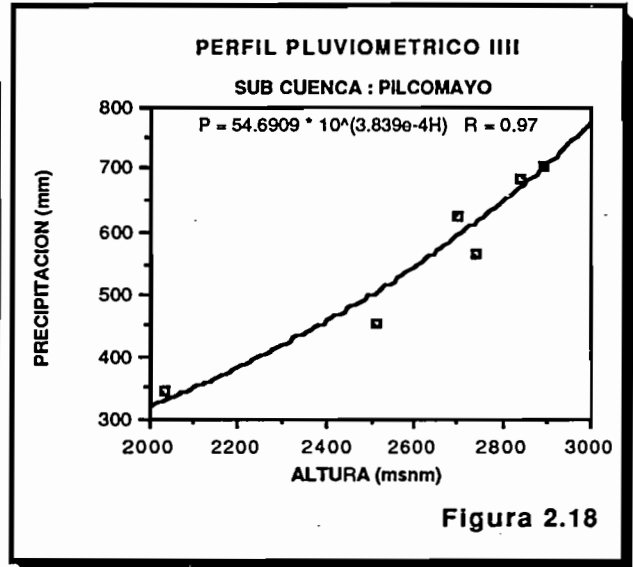


Figura 2.17

CUADRO 2.6

ESTACION	ALTURA (msnm)	PRECIPITACION (mm)
SUCRE CO	2890	706
SUCRE SA	2903	765
VILLA GARCIA	2740	565
QUILA QUILA	2840	685
TALULA	2700	624
YOTALA	2511	454
VIÑA QUEMADA	2030	346

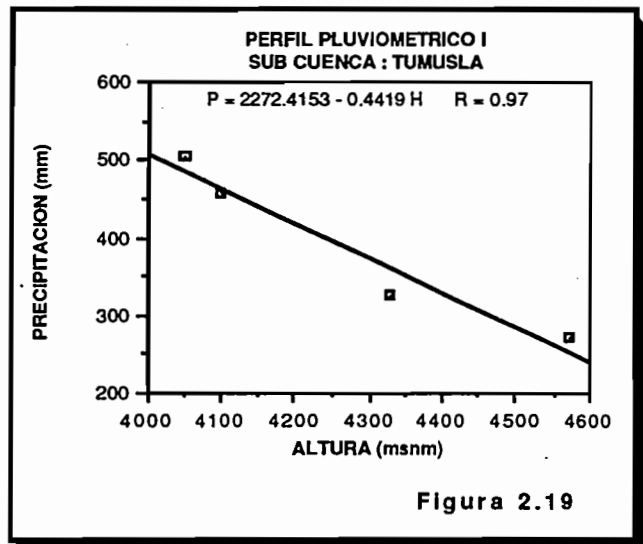


SUB - CUENCA : RIO TUMUSLA

Las figuras 2.19 y 2.20 muestran los perfiles pluviométricos, junto con sus respectivos datos, para la cuenca del Río Tumusla.

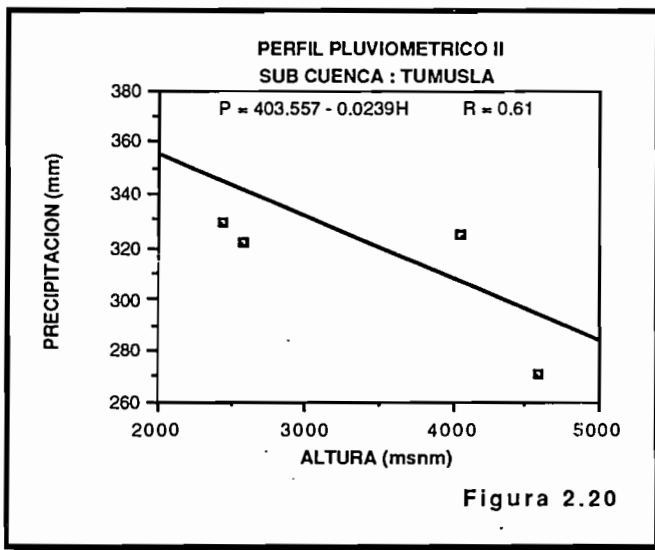
CUADRO 2.7

ESTACION	PRECIPITACION (mm)	ALTURA (msnm)
TICA TICA	324	4330
LAGO TORO	457	4100
PORCO	502	4050
SALTO LEON	271	4572



CUADRO 2.8

<u>ESTACION</u>	<u>ALTURA</u> (msnm)	<u>PRECIPITACION</u> (mm)
CAMARGO	2440	329
VITICHI	3020	375
TUMUSLA	2580	321
TICA TICA	4050	324
SALTO LEON	4572	271

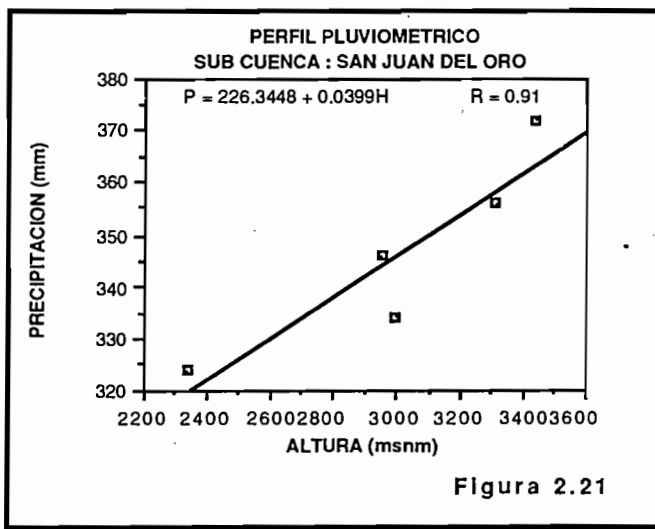


SUB - CUENCA : RIO SAN JUAN DEL ORO

La figura 2.21 muestra el perfil pluviométrico de la sub-cuenca del Río San Juan del Oro junto con los datos de referencia para el trazo del perfil.

CUADRO 2.9

<u>ESTACION</u>	<u>ALTURA</u> (msnm)	<u>PRECIPITACION</u> (mm)
OPLOCA	2340	324
TUPIZA	2952	346
Sn. J. DE P. GRANDE	3000	334
RINCONADA	3310	356
LA QUIACA	3443	372

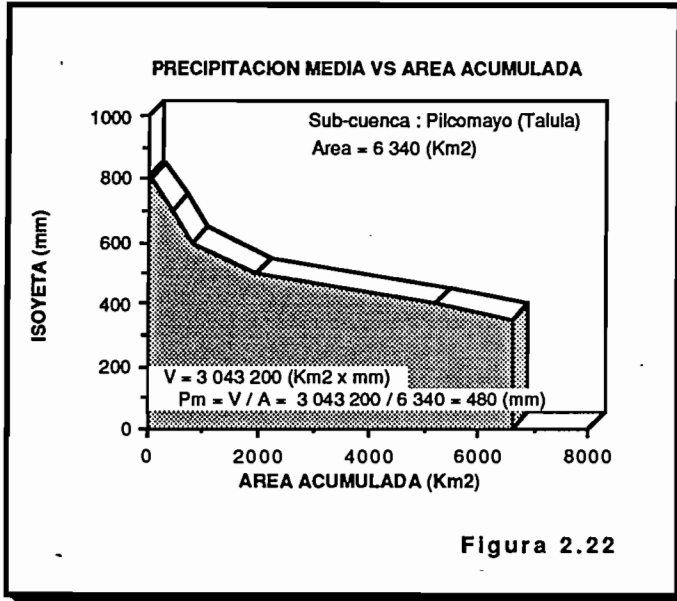


PRECIPITACION MEDIA.-

Tal como se explica en el punto 2.3.3 se han realizado los gráficos de Precipitación Media vs. Area Acumulada para evaluar la Precipitación Media por sub-cuenclas.

SUB-CUENCA : RIO PILCOMAYO (TALULA)

La figura 2.22 muestra el gráfico para evaluar la Precipitación Media de la sub-cuenca del Río Pilcomayo hasta el punto de control en Talula.

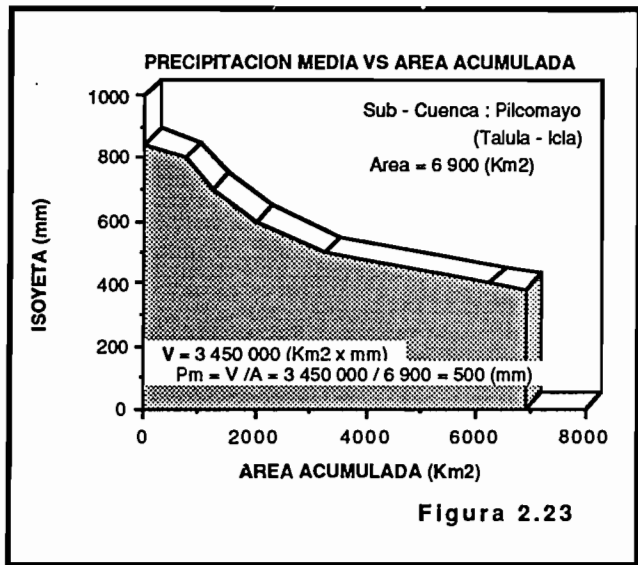


CUADRO 2.10

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km2)
810	0
800	30
700	450
600	810
500	1950
400	5190
350	6340

SUB-CUENCA : RIO PILCOMAYO (TALULA-ICLA)

La figura 2.23 muestra el gráfico de Precipitación Media vs. Área acumulada para el cálculo de la Precipitación Media de la sub-cuenca del Río Pilcomayo en la sub-cuenca que cubre el área entre la Estación Talula y el punto donde estará ubicado el embalse ICLA.

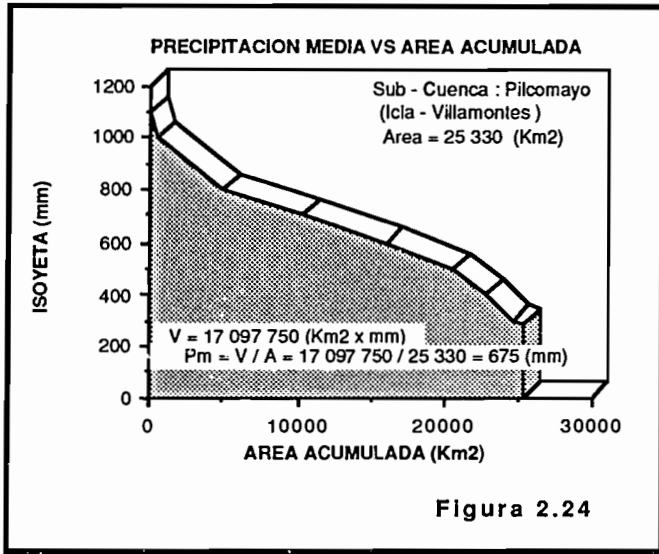


CUADRO 2.11

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km2)
850	0
800	745
700	1250
600	2020
500	3240
400	6260
380	6900

SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO (ICLA - VILLAMONTES)

La figura 2.24 muestra el gráfico de Precipitación Media vs. Area Acumulada para la sub - cuenca del Río Pilcomayo entre Icla y Villamontes.

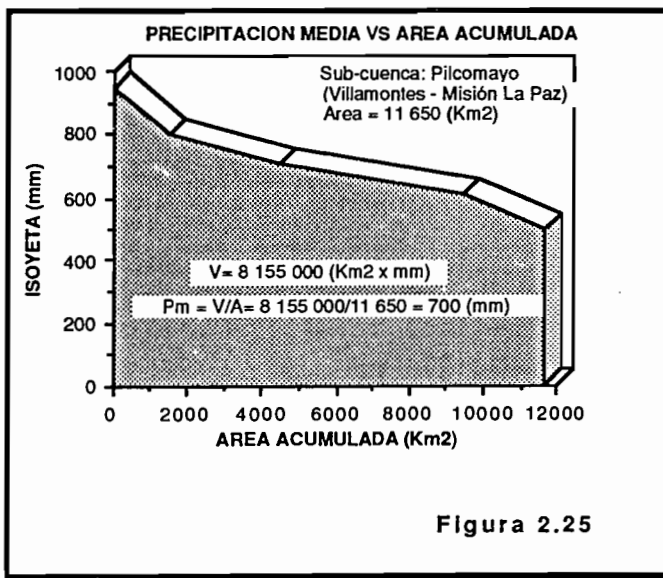


CUADRO 2.12

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km ²)
1100	0
1000	500
800	5000
700	10300
600	16010
500	20500
400	22800
300	24500
280	25330

SUB - CUENCA : PILCOMAYO (VILLAMONTES - MISION LA PAZ)

La figura 2.25 muestra el gráfico de Precipitación Media vs. Area Acumulada para el cálculo de la Precipitación Media para la sub - cuenca del Río Pilcomayo entre Villamontes y Misión La Paz.

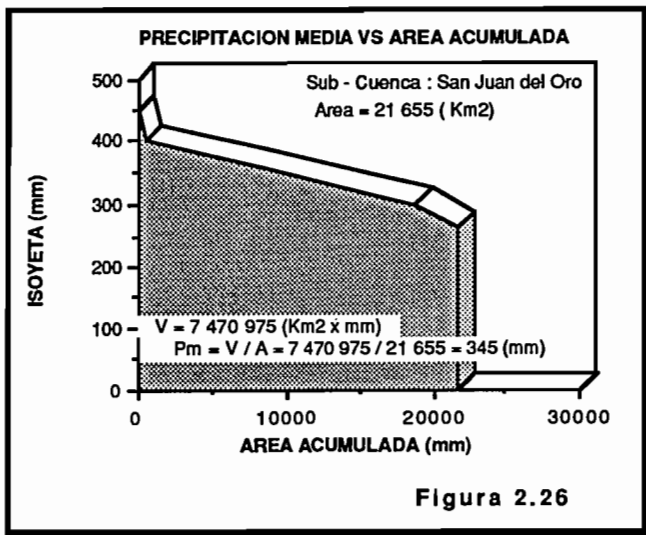


CUADRO 2.13

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km ²)
950	0
800	1530
700	4420
600	9380
500	11650

SUB - CUENCA : RIO SAN JUAN DEL ORO

La figura 2.26 muestra el gráfico de Precipitación Media vs. Area Acumulada para calcular la Precipitación Media de la sub - cuenca del Río San Juan Del Oro.

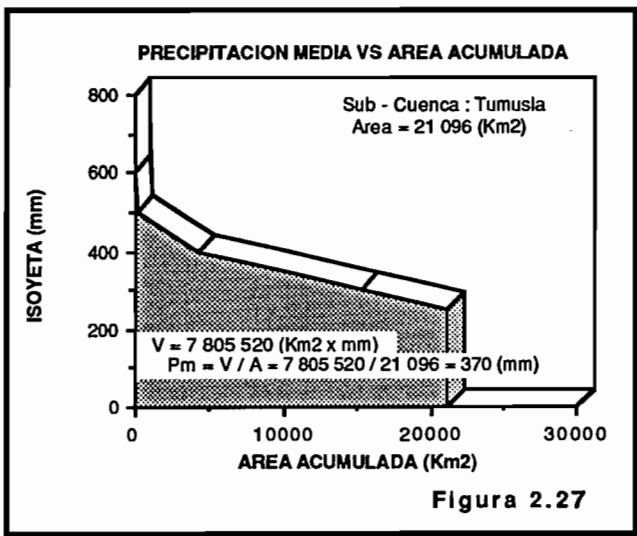


CUADRO 2.14

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km2)
450	0
400	520
300	18820
260	21655

SUB - CUENCA : RIO TUMUSLA

La figura 2.27 muestra el gráfico para el cálculo de la Precipitación Media para la sub-cuenca del Río Tumusla.



CUADRO 2.15

<u>PRECIPITACION</u> (mm)	<u>AREA ACUMULADA</u> (Km2)
600	0
500	196
400	4186
300	15406
250	21096

PRECIPITACION ESPACIAL MEDIA DE TODA LA CUENCA :

Con los valores de Precipitación Media obtenidos para las sub - cuencas se calcula la Precipitación Media de la **Cuenca del Río Pilcomayo** :

$$\langle P_m \rangle = \frac{\sum (P_i \times A_i)}{A_T}$$

$$\langle P_m \rangle = \frac{480 \times 6340 + 500 \times 6900 + 675 \times 25330 + 370 \times 21096 + 345 \times 21655 + 700 \times 11650}{92971}$$

$\langle P_m \rangle = 506 \text{ (mm)}$

2.4 TEMPERATURA, EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION .-

Para la estimación del Balance Hídrico es muy importante la evaluación de la evaporación y la evapotranspiración ; para explicar este aspecto se anotan las siguientes definiciones :

EVAPORACION : Es la cantidad de agua que debido á un proceso físico se transforma en vapor ; consideramos la evaporación desde una superficie libre de agua como : lagos , embalses y pantanos.

TRANSPIRACION : Cantidad de agua que por un proceso biológico de las plantas es devuelta a la atmósfera ; agua que es extraída del suelo por las raíces de la planta y que es necesaria para su desarrollo.

EVAPOTRANSPIRACION : Es la suma de la cantidad de agua que pasa a la atmósfera por los procesos de evaporación del agua interceptada por el suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración potencial se notará **ETP** y la real **ETR**.

En el caso de la cuenca en estudio solo se considera la evapotranspiración real ya que la evaporación de pantanos, lagos y embalses se incluirá en la evaluación regional de la evapotranspiración, puesto que las superficies de éstos son relativamente pequeñas y entonces despreciables comparadas con el tamaño de la cuenca. Se ha medido una superficie de 80 Km² de lagos, que representan el 0.8 o/oo del área de la cuenca de 92971 Km².

2.4.1 ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION .-

En el caso de la cuenca en estudio y en general en América Latina, la única manera de realizar el cálculo de la evapotranspiración es através de métodos indirectos o sea mediante fórmulas

Para ello se disponen de dos grupos de fórmulas recomendables :

1) **SUPERFICIES NATURALES**
- **TURC**

(ETR)

- THORNTHWAITE Y MATTER (ETR)
- PENMANN (ETP)

2) SUPERFICIES REGADAS

- BLANEY Y CRIDDLE
- GRASSI Y CHRISTIANSEN

Para evaluar la **ETR** se utiliza la fórmula de **TURC**, ya que la superficie regada en toda la cuenca es de muy poca magnitud en comparación con el tamaño de la cuenca, además se ha verificado que esta fórmula da resultados aceptables en regiones de clima templado donde no hay gran precipitación (más de 1 500 mm) y la temperatura media anual no sea mayor de 25 ° C. En esta cuenca las precipitaciones medias no pasan de 1 100 (mm) y la temperatura media anual no alcanza los 25 ° C.

No obstante se ha calculado la Evapotranspiración Real mediante **THORNTHWAITE** en nueve estaciones (ver **Anexo 3**) en toda la cuenca verificándose una variación no significativa en el cálculo de la **ETR** comparada con la obtenida mediante la fórmula de **TURC**.

Los parámetros que se requieren para el cálculo de la fórmula de **TURC** son la precipitación anual y la temperatura media anual, su expresión es :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{\frac{0.9 + P^2}{L^2}}}$$

- ETR** : Evapotranspiración Anual en (mm)
- P** : Precipitación Media Anual en (mm)
- L** : Parámetro Heliotérmico cuyo valor es ,
- L** = $300 + 25 \varnothing + 0.05 \varnothing^3$
- ∅** : Temperatura Media Anual (° C)

A partir de los mapas de isoyetas e isotermas y aplicando esta fórmula se puede realizar el trazado del mapa de isolíneas de evapotranspiración operándose de la siguiente manera :

- 1) En un papel transparente se dibuja el mapa de isotermas anuales.
- 2) Se superpone dicho mapa sobre el mapa de isoyetas.
- 3) Un papel transparente, en el que se ha dibujado la zona o región de estudio, se superpone sobre los anteriores y en los puntos de intersección de las isoyetas e isotermas y/o intermedios se anota **P** y **q** con estos valores se calcula la **ETR** en cada punto.
- 4) Con los valores de **ETR** se trazan las isolíneas de evapotranspiración.

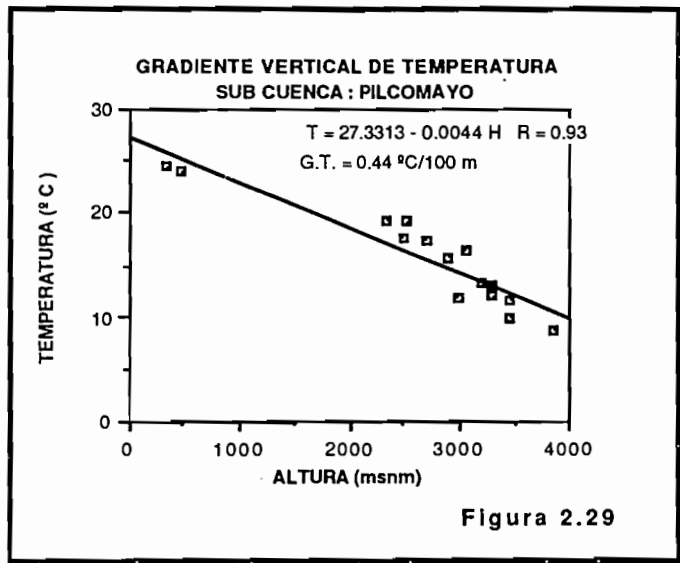
Para el trazado del mapa de isotermas se realizaron los Perfiles Térmicos de las sub-cuencas. Para el caso del del Río Pilcomayo se trazó un solo perfil para toda la sub - cuenca por la disponibilidad de información .

Del Perfil Térmico se obtiene además el Gradiente Vertical de Temperaturas, que no es más que la expresión de la variación de la temperatura en función de la variación de la altitud. Se expresa en ° C / 100m. (ver figura 2.29)

2.4.2 PRESENTACION DE RESULTADOS .-

Para trazar el plano de isotermas se realizaron los siguientes Perfiles Térmicos :

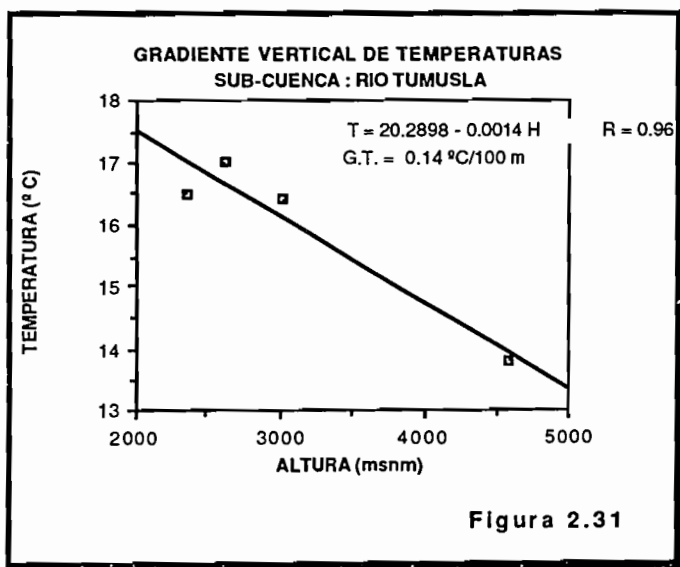
SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO



ESTACION	ALTURA (msnm)	TEMPERATURA (°C)
CHINOLI	3450	11.7
TURUCHIPA	2360	19.3
PUNA	3280	12.1
SAN LUCAS	3055	16.5
POTOSI	3860	8.8
CULPINA	2970	11.8
VILLAMONTES	340	24.5
RAVELO	3205	13.1
SUCRE SA	2903	15.6
TALULA	2700	17.3
TARABUCO	3284	13.0
TINQUIPAYA	3200	13.2
YOCALLA	3450	9.9
CHILCARA	2542	19.2
PTO. MARGARITA	480	23.9
YOTALA	2511	17.6

Cuadro 2.16

SUB - CUENCA : RIO TUMUSLA



CUADRO 2.17		
ESTACION	ALTURA (msnm)	TEMPERATURA (°C)
VITICHI	3020	16.4
COTAGAITA	2620	17
SAN ROQUE	2350	16.5
SALTO LEON	4572	13.8

SUB - CUENCA : RIO SAN JUAN DEL ORO

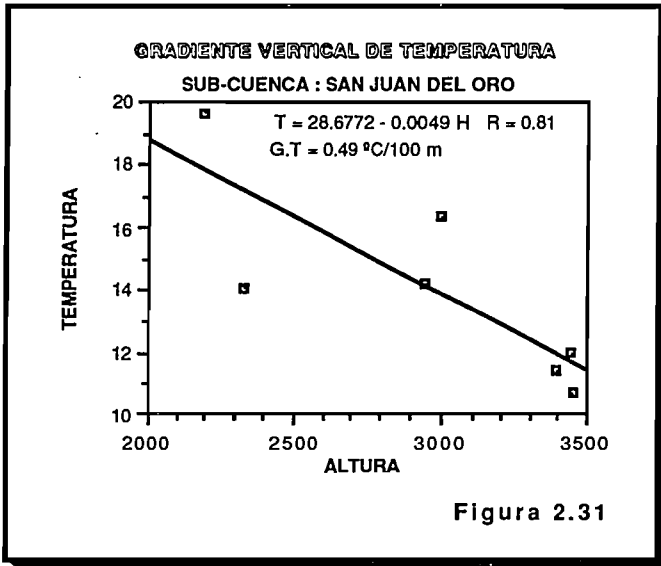


Figura 2.31

Cuadro 2.18

ESTACION	ALTURA (msnm)	TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$)
MOJO	3400	11.4
OPLOCA	2338	14.1
Sn.J.P.GRANDE	3000	16.4
TUIZA	2952	14.2
VILLAZON	3443	12
EL PUENTE	2200	19.7
COPACABANA	3450	10.7

Para trazar el plano de isolíneas de evapotranspiración se utiliza la fórmula la formula de TURC, que, como ya se ha explicado es de fácil aplicación.

De el plano de Isolíneas de Evapotranspiración se calcula la Evapotranspiración Media por sub - cuencas de la misma forma que se han calculado los valores de Precipitación Media en el punto 2.3.3 .

SL 3 - CUENCA : RIO PILCOMAYO (TALULA)

Cuadro 2.19

EVAPOTRANSPIRACION (mm)	AREA ACUMULADA (Km2)
540	0
500	80
400	1550
320	6340

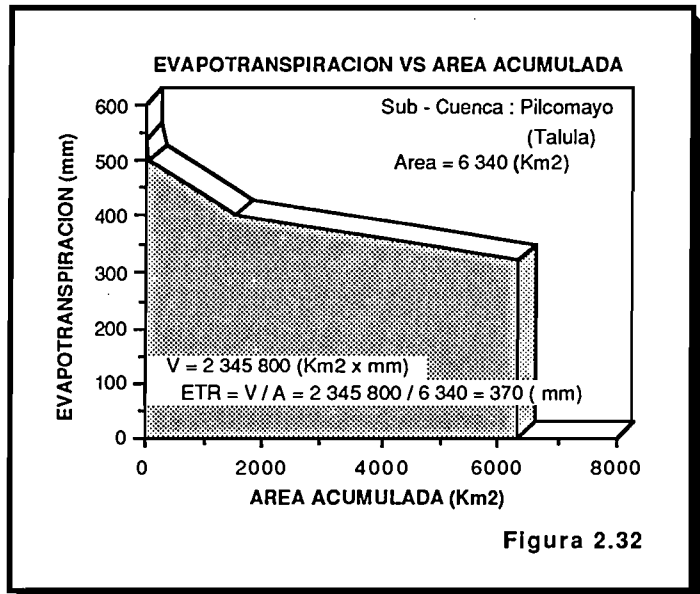
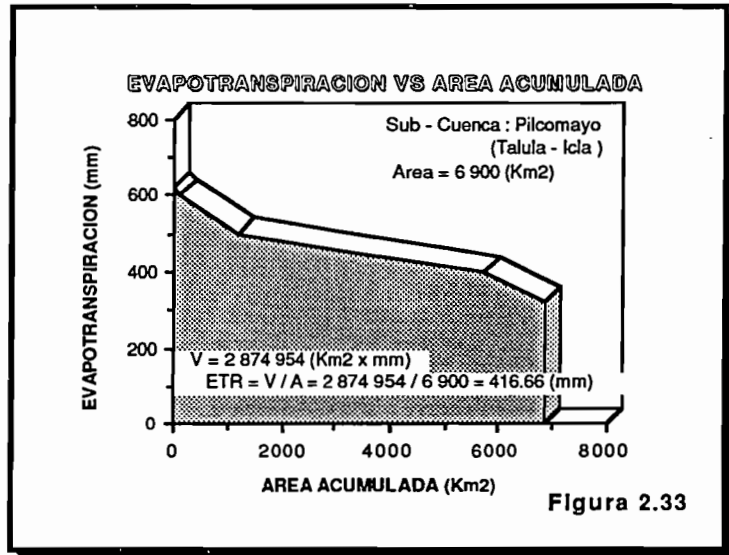


Figura 2.32

SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO (TALULA - ICLA)

Cuadro 2.20

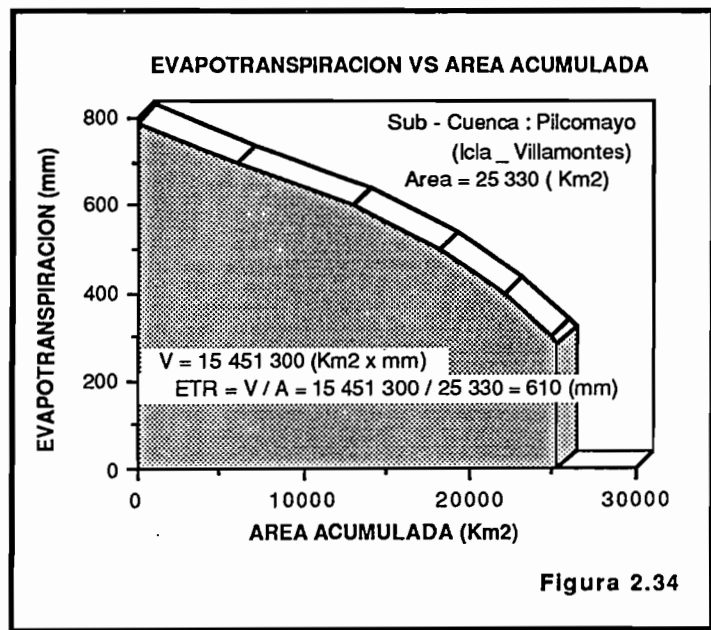
EVAPOTRANSPIRACION (mm)	A. ACUMULADA (Km2)
620	0
600	100
500	1170
400	4100
320	6900



SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO (ICLA - VILLAMONTES)

Cuadro 2.21

EVAPOTRANSPIRACION A ACUMULADA (mm)	(Km2)
790	0
700	5900
600	13200
500	18100
400	22050
300	24900
280	25330



SUB - CUENCA : RIO PILCOMAYO (VILLAMONTES - MISION LA PAZ)

Cuadro 2.22

EVAPOTRANSPIRACION (mm)	A ACUMULADA (Km ²)
750	0
700	1600
600	7800
495	11650

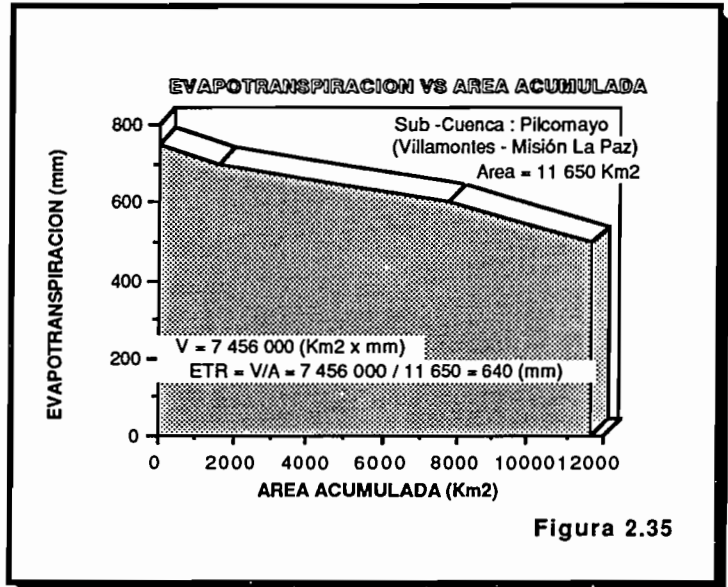


Figura 2.35

SUB - CUENCA : RIO TUMUSLA

Cuadro 2.23

EVAPOTRANSPIRACION (mm)	A ACUMULADA (Km ²)
515	0
500	100
400	690
300	12540
250	21096

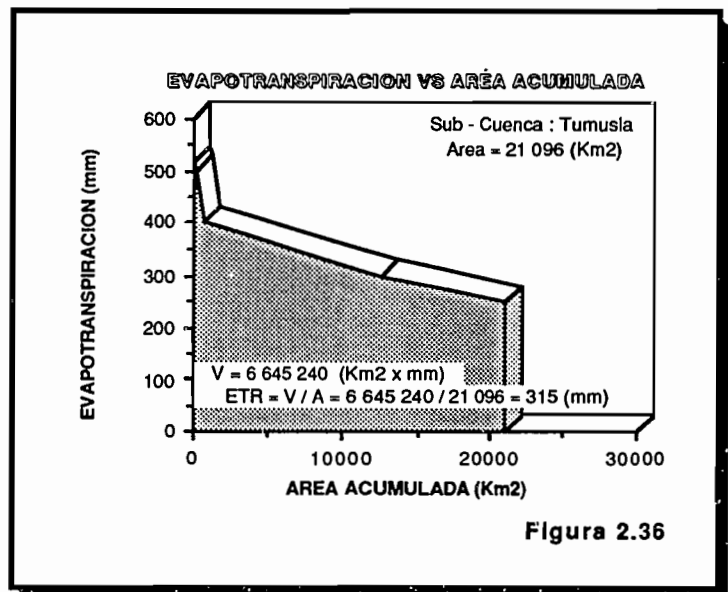


Figura 2.36

SUB - CUENCA : RIO SAN JUAN DEL ORO

Cuadro 2.24

EVAPOTRANSPIRACION (mm)	A ACUMULADA (Km2)
305	0
300	4100
250	21655

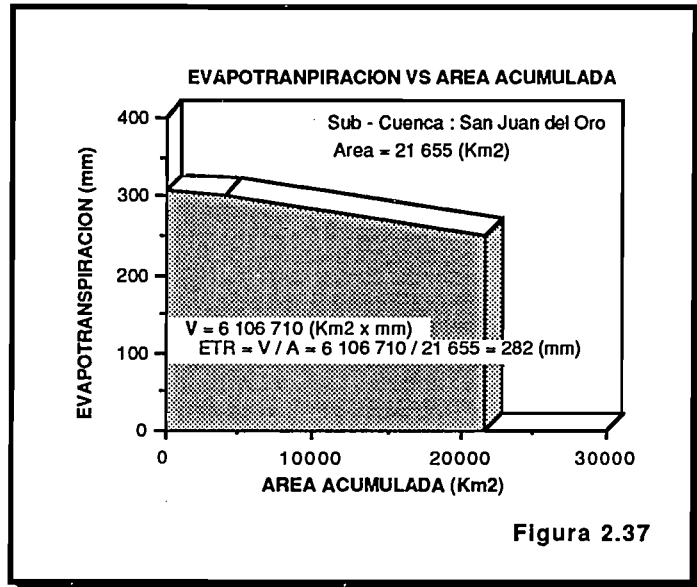


Figura 2.37

EVAPOTRANSPIRACION REAL PROMEDIO EN TODA LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO :

Con los valores de Evapotranspiración Real Medios para las sub - cuencas se calcula la Evapotranspiración Real Media de toda la cuenca de la siguiente manera :

$$\langle ETR \rangle = \frac{\sum(ETR_i \times A_i)}{A_t}$$

$$\langle ETR \rangle = \frac{370 \times 6340 + 416 \times 6900 + 610 \times 25330 + 635 \times 11650 + 282 \times 21655 + 315 \times 21096}{92971}$$

$\langle ETR \rangle = 439 \text{ (mm)}$

2.5 ESCORRENTIA .-

Se tienen datos de escorrentía para toda la cuenca en las estaciones de :

- Talula
- Viña Quemada
- Chilcara
- Villamontes
- Misión La Paz (República Argentina)

Por las características de homogeneidad de información que poseen estas estaciones hidrométricas y la división de Unidades Hidrológicas de la cuenca , se han elegido para el análisis de información las estaciones de **Talula , Villamontes y Misión La Paz.**

La estación hidrométrica de Talula está ubicada a aproximadamente 20 Km de la ciudad de Sucre a 19º 07' LS y 65º 27' LW, es la estación de referencia aguas arriba de donde estará ubicado el embalse ICLA, posee un record de información desde OCTUBRE de 1947 hasta DICIEMBRE de 1963, desde el año 1964 hasta el año 1979 se ha obtenido la información del estudio realizado por el consorcio SHAW-INIGAN-CONNAL sobre el proyecto ICLA.

La estación hidrométrica de Villamontes está ubicada en las proximidades de la población de Villamontes; es la estación más importante del Río Pilcomayo en la cuenca correspondiente a Bolivia está ubicada a 21° 15' LS y 63° 30' LW recibiendo el aporte de 81 321 Km²; fue puesta en funcionamiento en OCTUBRE de 1941 y suspendida en 1956, se reinstaló en 1973, pero existe ausencia de información hasta OCTUBRE de 1976; a partir de OCTUBRE de 1976 se tiene información hasta OCTUBRE de 1977, existiendo un vacío de información hasta OCTUBRE de 1978; desde esta fecha se tiene información hasta SEPTIEMBRE de 1981. El SENAMHI posee información más actualizada pero sin procesar por lo que se utiliza solamente la información anterior.

La estación hidrométrica de Misión La Paz, ubicada en la República Argentina sobre el Río Pilcomayo a 180 Km aguas abajo de Villamontes, es el punto de control de toda la cuenca del Río Pilcomayo motivo de este Estudio. Posee un récord de información continuo desde SEPTIEMBRE de 1960 hasta DICIEMBRE de 1982; por lo que se posee información confiable hasta el año calendario de 1982.

2.5.1 RELLENO DE LAS ESTADÍSTICAS .-

Se ha realizado el relleno de datos en las estaciones de Talula y Villamontes para los años faltantes. En el caso de Talula se han relleno los valores de escorrentía para tres años en base a la correlación entre la escorrentía y la lluvia medidas en la estación misma.

Para Villamontes se han relleno los datos faltantes a partir de los de Misión La Paz utilizando los coeficientes de pluviosidad y de superficie que relacionan ambas cuencas.

Luego de esta evaluación se realizó el análisis de doble masa con miras a comprobar la validez de los resultados de escorrentía. Este análisis comprende la comparación de:

Escorrentía:

Talula - Villamontes
Talula - Misión La Paz

Pluviometría - Escorrentía :

Talula (Esc) - PPA (Sucre, Sucre AASANA, Colavi, Yotala, Talula, Villa García, Quila Quila, Puente Sucre)

Villamontes (Esc) - PPA (Tupiza, Oploca, S. José de P Grande, Mojo, El Puente)
Villamontes (Esc) - PPA (Vitichi, Tumusla, Camargo, San Roque, Cotagaita, Villa Abecia)

2.5.1 RELLENO DE DATOS DE CAUDALES EN TALULA :

Los datos de caudales en Talula hasta 1979, cuyas unidades son de (m³/seg), se transforman en (mm) de escorrentía .

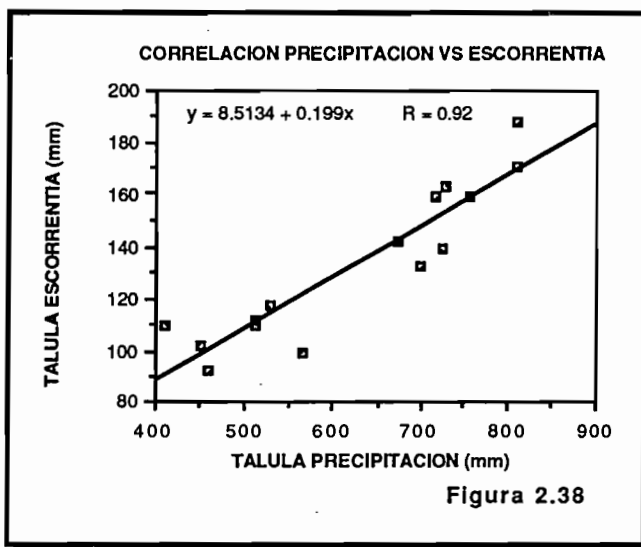
$$R = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/seg)} \times 31.536 \times 10^3}{A \text{ (Km}^2\text{)}}$$

Estos datos de Escorrentía (mm) en Talula se comparan con los datos de precipitación de la misma estación; se nota que los datos siguen una misma tendencia por lo que se procede a realizar una regresión para calcular los valores que faltan para completar el período de 1968-1982. (Ver figura 2.38 .)

Cuadro 2.25

AÑO	TALULA PREC (mm)	TALULA ESC (mm)
1968	810	187
1969	451	102
1970	460	92
1971	411	110
1972	529	117
1973	566	99
1974	725	139
1975	717	159
1976	514	110
1977	698	132
1978	728	163
1979	756	159
1980	514	*111
1981	810	*170
1982	673	*142

* Valores rellenados



ESTIMACION DE CAUDALES EN VILLAMONTES :

Como la estación hidrométrica de Villamontes posee un registro de tan solo 3 años calendarios completos en la contrastación con la estación argentina de Misión La Paz, se utiliza la siguiente fórmula que nos permite estimar el caudal en función del área de las cuencas y de la pluviosidad :

$$Q_x = \frac{A_x < P_x >}{A_b < P_b >} Q_b$$

Q_x : Caudal en Villamontes

$< P_x >$: Precipitación Media de la cuenca hasta Villamontes

A_x : Area de la cuenca hasta Villamontes

Q_b : Caudal en Misión La Paz

$< P_b >$: Precipitación Media de la cuenca hasta Misión La Paz

A_b : Area de la cuenca hasta Misión La Paz

Datos

$$A_x = 81\,321 \text{ Km}^2$$

$$< P_x > = \frac{480 \times 6340 + 500 \times 6900 + 675 \times 25330 + 370 \times 21096 + 345 \times 21655}{81\,321}$$

$$< P_x > = 478 \text{ (mm)}$$

$$< P_b > = 506 \text{ (mm)}$$

$$A_b = 92\,971 \text{ Km}^2$$

$$Q_x = 0.826 \times Q_b$$

Capítulo 2

La fórmula se calibra con los valores calculados y los valores reales de caudales que se tienen para la estación de Villamontes.

De acuerdo con este testeo los valores estimados en Villamontes están disminuidos en alrededor del 15 %. Por lo que la estimación correcta se realizará afectando los valores calculados por un factor de corrección, el mismo que resulta del promedio ponderado de las discrepancias.

$$F.C = 1 + \frac{160.7 \times 0.082 + 294.6 \times 0.158 + 149.3 \times 0.152}{160.7 + 294.6 + 149.3} = 1.136$$

$$Q_x = 1.136 \times 0.826 \times Q_p \\ = 0.938 \times Q_p \quad (\text{ver tabla de caudales medios anuales})$$

CAUDALES MEDIOS ANUALES (m³/seg)		
AÑO	MISION LA PAZ	VILLAMONTES
1968	256.5	*241
1969	115	*108
1970	177.2	*166
1971	210.2	*197
1972	142.4	*134
1973	166.9	*157
1974	277.1	*260
1975	238.8	*224
1976	178	*167
1977	194.6	175
1978	251.5	*236
1979	356.7	350
1980	180.7	176
1981	298.3	*280
1982	290.8	*270
* Valores rellenados		
Promedio	<u>222.186</u>	<u>209.4</u>

CUADRO 2.26

2.5.2 CURVAS DE DOBLE MASA

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 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.

Para analizar la consistencia de las mediciones fluviométricas se utiliza el método de las curvas de doble masa, como se explicó en el punto 2.3.1

A través de estas curvas se ha realizado el testeo de consistencia de las estaciones Talula, Villamontes y Misión La Paz. Para aplicar el método se han transformado los valores de caudal de (m³/seg) a (mm) de escorrentía aplicando la siguiente fórmula :

$$R = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/seg)} \times 31.536 \times 10^3}{A \text{ (Km}^2\text{)}}$$

Las figuras 2.38 a 2.47 presentan las curvas Doble Acumuladas de Escorrentía y Escorrentía vs Precipitación

CUADRO 2.27

CUADRO DE ACUMULADAS DE PPA Y ESCORRENTIA

AÑO	PPA1	PPA2	PPA3	PPA4	PPA5	PPA6	PPA7	PPA8	PPA9	PPA10	PPA11	PPA12	TALULA	VILLAMONTES	M LAPAZ
1968	531	728	908	510	777	723	582	645	325	409	507	309	187	82	87
1969	900	1198	1434	800	1139	1430	1104	1274	548	796	800	537	289	119	126
1970	1378	1722	2025	1264	1614	2202	1723	1915	820	1092	1099	863	381	176	186
1971	1772	2216	2522	1692	2069	2978	2344	2568	1159	1477	1457	1175	491	243	257
1972	2190	2779	3117	2112	2536	3690	2895	3206	1476	1683	1878	1489	608	289	305
1973	2682	3353	3764	2520	3085	4542	3608	3792	1735	1962	2236	1757	707	342	362
1974	3214	4085	4498	3026	3665	5385	4309	4396	2007	2261	2588	2088	846	431	456
1975	3772	4869	5303	3495	4267	6036	4813	5060	2328	2514	3024	2479	1004	507	537
1976	4140	5440	5788	3912	4701	6671	5380	5659	2561	2740	3351	2773	1114	564	597
1977	4628	6172	6586	4470	5349	7738	6091	6325	2961	3149	3847	3176	1246	641	663
1978	5143	6975	7331	5110	5988	8530	6706	6973	3425	3655	4315	3595	1409	713	748
1979	5631	7729	8066	5635	6534	9805	7707	7486	3832	4049	4753	3928	1568	842	869
1980	5923	8306	8479	5975	6919	10793	8388	7978	4062	4372	5011	4129	1676	885	910
1981	6409	9114	9253	6537	7580	11869	9553	8545	4486	4798	5411	4514	1849	962	1031
1982	6841	9852	9844	7041	8097	12815	10646	9079	4796	5085	5828	4791	1991	1043	1129

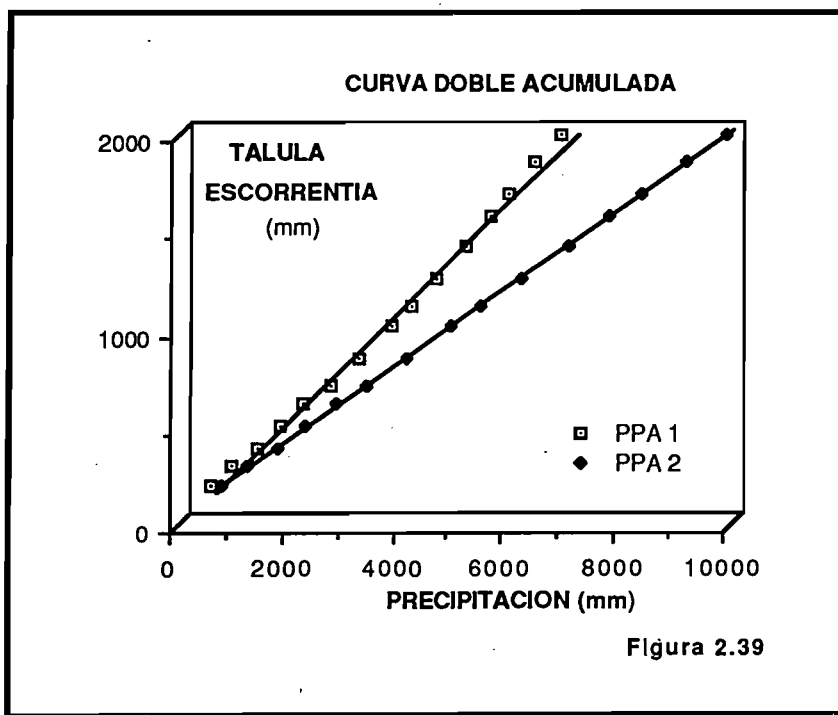
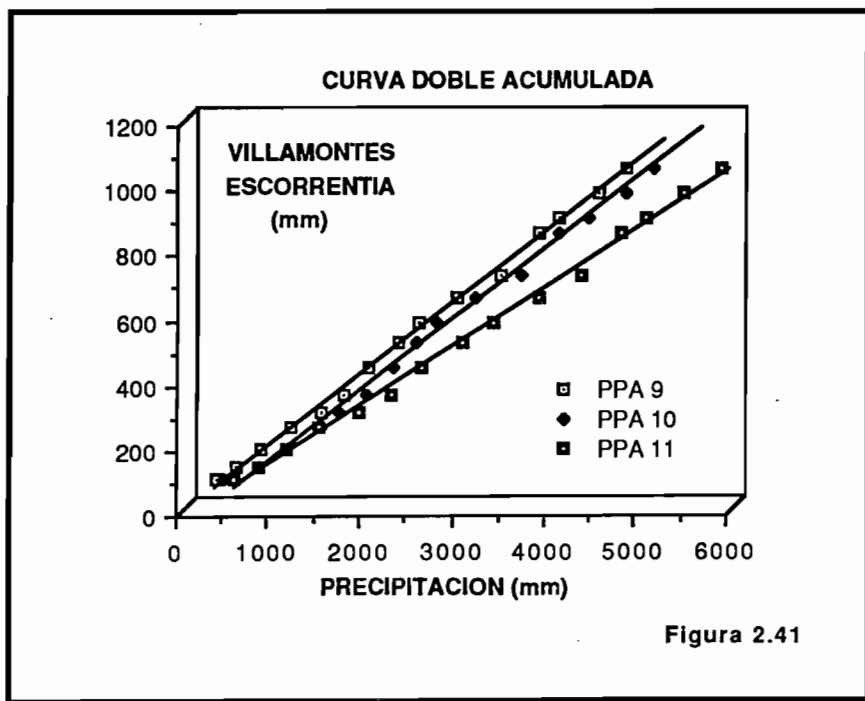
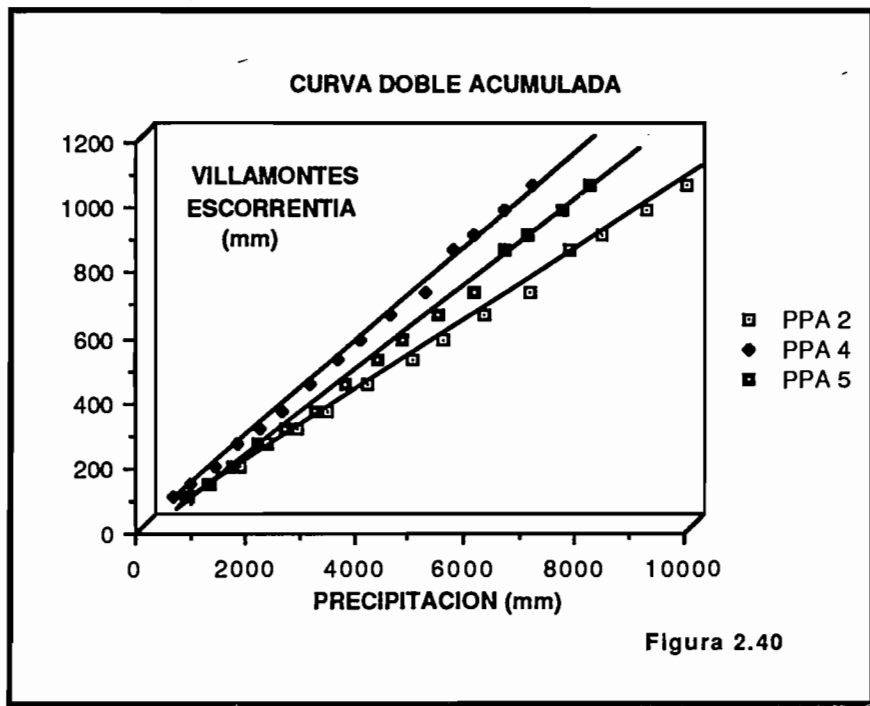
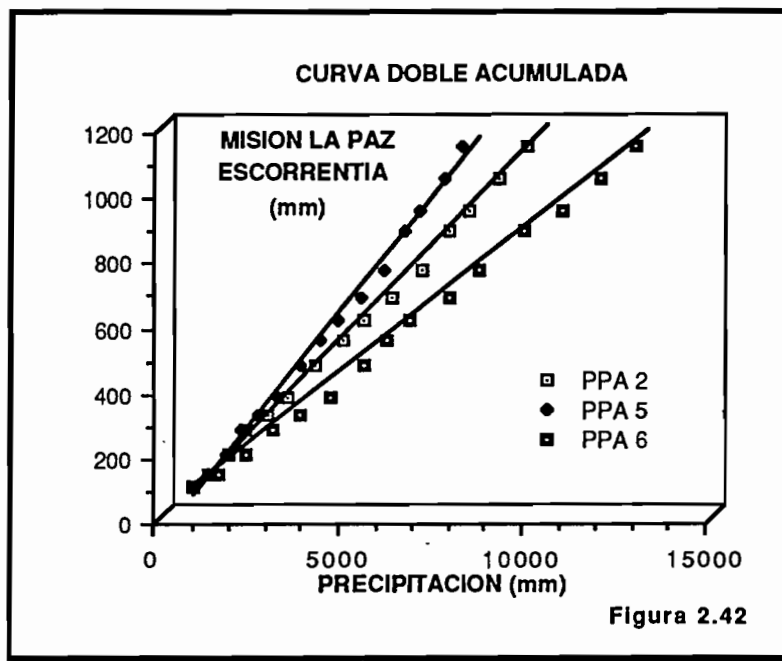


Figura 2.39





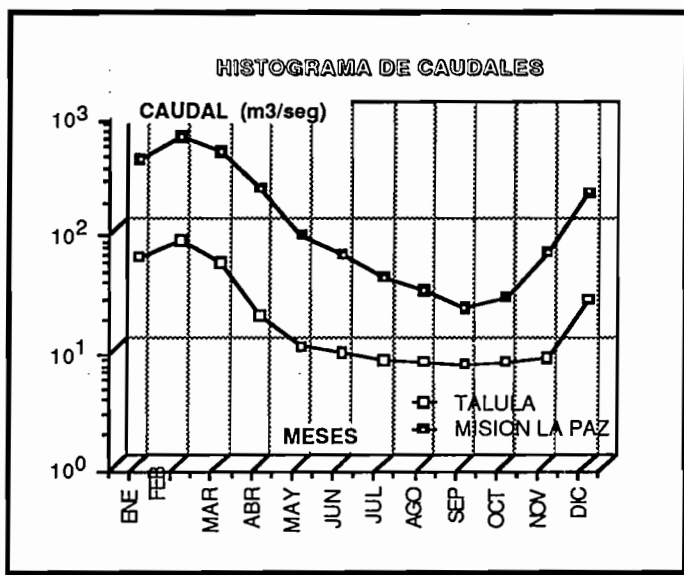
2.5.3 HISTOGRAMA DE CAUDALES

A continuación se presenta el cuadro y el histograma de caudales medios mensuales para el período 1968/1982 en las estaciones de Talula y Misión La Paz.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES

MES	TALULA	M. LA PAZ
ENE	58.14	394
FEB	79.02	612
MAR	50.22	453
ABR	18.18	226
MAY	9.8	90
JUN	8.67	60.4
JUL	7.63	39
AGO	7.09	29.5
SEP	6.84	20.6
OCT	7.12	25.5
NOV	7.88	62.3
DIC	24.4	206

Cuadro 2.28



CAPITULO III

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL

La forma como se calculará el Balance Hídrico de una cuenca dependerá de los antecedentes existentes o sea de los controles que en ella se efectúen.

Siendo la escorrentía R, la pluviometría P, y la evapotranspiración real ETR, en una cuenca pueden existir los siguientes casos :

- 1) Cuencas con control fluviométrico**
 - Con antecedentes de R, P y ETR
 - Con antecedentes de R y P
 - Con antecedentes de R solamente
- 2) Cuencas sin control fluviométrico**
 - Con antecedentes de P y ETR
 - Con antecedentes de P solamente
- 3) Cuencas sin antecedentes de R , P y ETR**

3.1.- Cuencas con control fluviométrico.-

Se consideran cuencas con control fluviométrico aquellas en las cuales se puede determinar R utilizando estadísticas observadas o ampliadas.

3.1.1 Cuencas con antecedentes de escorrentía, precipitación y evapotranspiración real

Al evaluar separadamente cada uno de los parámetros P, R y ETR se podrá comprobar la ecuación

$$P = R + ETR \pm \mu \quad (\text{mm})$$

donde μ es un término de discrepancia

Los valores de P y ETR se obtendrán a partir de los mapas de isoyetas y de isolíneas de evapotranspiración real. Así :

$$R = (P - ETR) \pm \mu$$

Como el valor R (escorrentía) es el más confiable, no se corregirá y por lo tanto el término correctivo deberá repartirse entre P y ETR, lo que equivale a ajustar el trazado de las isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración. Esta corrección se efectuará después de una detallada investigación de los posibles factores no considerados.

Tomado en cuenta que las pérdidas subterráneas pueden ser despreciadas y que el período de tiempo permite despreciar variaciones de almacenamiento en la cuenca se puede considerar que el déficit de escorrentía

corresponde a la evapotranspiración real en la cuenca

$$ETR_C = P - R$$

Denominando ETR_m a la evapotranspiración real obtenida a partir del mapa de isolíneas se tendrá que :

$$ETR_C - ETR_m = \mu$$

si μ es grande se revisa y ajusta el trazado de los mapas de isolíneas de P,T y ETR; siempre y cuando haya razones justificadas para realizar las modificaciones. Se puede también volver a analizar las series de escorrentías.

3.1.2 Cuencas con antecedentes de escorrentía y precipitación

Se presenta en cuencas donde no existen antecedentes de temperatura para realizar el trazado del mapa de isotermas que permita trazar el de isolíneas de evapotranspiración.

En este caso se calculará un déficit de escurrimiento

$$ETR_C = P - R$$

Este valor de ETR_C debe ser compatible con R, P y temperaturas q que deben estimarse de acuerdo al conocimiento que se tenga de la cuenca, lo que permitió aplicar fórmulas clásicas para comprobar ordenes de valores de ETR_t global que sean compatibles con el déficit de escurrimiento ETR_C . Así se podrá evitar grandes errores en la estimación del déficit de escurrimiento.

3.1.3 Cuencas con antecedentes de escorrentía solamente

En este caso se tiene que:

$$R = P - ETR$$

siendo P y ETR incógnitas.

Para resolverlo es recomendable estimar el parámetro q y calcular el valor de ETR y P de forma que sean compatibles con la anterior ecuación y con q. Por supuesto los valores así estimado son muy susceptibles de ser inexactos y son presentados únicamente como indicadores tentativos.

3.2 Cuencas sin control fluviométrico

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

Se pueden presentar dos casos:

3.2.1 Cuencas con antecedentes de precipitación y evapotranspiración real.

En este caso se tendrá que:

$$R = P - ETR_m$$

Ahora bien, como la estimación de P y ETR puede estar afectada de errores, especialmente en las zonas montañosas, es conveniente comparar el valor de R con el de cuencas cercanas o análogas para verificar que su valor sea lógico.

3.2.2 Cuencas con antecedentes de precipitación solamente.

Se puede operar de dos formas:

Capítulo 3

- en el caso que pueda estimarse el valor de q por analogía con cuencas cercanas se calcularía ETR presentándose el caso anterior.
- se considerará que en la cuenca en estudio existe una relación $R = f(P)$ análoga a la obtenida en cuencas cercanas que tengan características fisiográficas parecidas. En este caso el trazado de las isóneas será aproximado pero verificándose que:

$$P = R + ETR$$

y cuidando que en los mapas de isóneas éstas se unan con las isóneas análogas de cuencas vecinas.

En conclusión, cuando no existen a la vez los tres términos de la ecuación del balance, el o los términos faltantes que pueden ser generados de varias maneras tienen solamente el carácter de valores indicativos.

3.3 Presentación de Resultados.-

3.3.2 Cuencas con control fluviométrico

Las siguientes sub-cuencas tienen control fluviométrico, además de contar con antecedentes de Precipitación y Evapotranspiración Real :

Río Pilcomayo (Talula)
Río Pilcomayo (Isla - Villamontes)
Río Pilcomayo (Misión La Paz)

3.3.2.1 Sub-Cuenca del Río Pilcomayo (Talula)

$$\begin{aligned} A &= 6\,340 \quad (\text{Km}^2) \\ \langle P_m \rangle &= 480 \quad (\text{mm}) \\ \langle ETR \rangle &= 370 \quad (\text{mm}) \\ \langle R \rangle &= 132.6 \quad (\text{mm}) \\ \langle P_m \rangle &= \langle ETR \rangle + \langle R \rangle \pm \mu \\ 480 &= 370 + 132.6 - 22.6 \\ \text{Discrepancia con respecto a } \langle P \rangle &: 4.7\% \end{aligned}$$

3.3.2.2 Sub-Cuenca del Río Pilcomayo (Isla - Villamontes)

$$\begin{aligned} A &= 25\,330 \quad (\text{Km}^2) \\ \langle P_m \rangle &= 675 \quad (\text{mm}) \\ \langle ETR \rangle &= 610 \quad (\text{mm}) \\ \langle R \rangle &= 81.2 \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

Caudal en Villamontes :

$$Q_v = \frac{81.2 \times 81.321}{31.536} = 209.4 \quad (\text{m}^3/\text{seg})$$

Caudal en la sub-cuenca :

$$Q_S = 209.4 - 125.089 \text{ (Caudal en Villamontes - Caudales en las cuencas aportantes)}$$

$$Q_S = 84.31 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$R = \frac{84.31 \times 31.536}{25.33} = 104.9 \text{ (mm)}$$

$$\langle P_m \rangle = \langle ETR \rangle + \langle R \rangle \pm \mu$$

$$675 = 610 + 104.9 - 39.9$$

$$\text{Discrepancia con respecto a } \langle P \rangle : 5.9 \%$$

3.3.2.2 Sub-Cuenca Río Pilcomayo (Misión La Paz)

$$A = 11\,650 \text{ (Km}^2\text{)}$$

$$\langle P_m \rangle = 700 \text{ (mm)}$$

$$\langle ETR \rangle = 635 \text{ (mm)}$$

$$\langle R \rangle = 75 \text{ (mm)}$$

Caudal en Misión La Paz :

$$Q_{MLP} = \frac{75 \times 92.971}{31.536} = 221.1 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

Caudal en la sub-cuenca :

$$Q_S = 221.1 - 209.4 = 11.7 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$R = \frac{11.7 \times 31.536}{11.650} = 31.7 \text{ (mm)}$$

$$\langle P_m \rangle = \langle ETR \rangle + \langle R \rangle \pm \mu$$

$$700 = 635 + 31.7 + 33.3$$

$$\text{Discrepancia con respecto a } \langle P \rangle : 4.7 \%$$

3.3.1 Cuencas sin control fluviométrico

Dentro de la cuenca de Estudio se tienen las siguientes sub-cuencas sin control fluviométrico :

Río Pilcomayo (Talula - Icla)

Río Tumusla

Río San Juan del Oro

3.3.1.1 Sub-Cuenca del Río Pilcomayo (Talula - Icla)

Esta sub-cuenca no tiene control fluviométrico, pero cuenta con antecedentes de Precipitación y Temperatura (Cálculo indirecto de ETR a través de la fórmula de TURC).

$$A = 6\,900 \text{ (Km}^2\text{)}$$

$$\langle P_m \rangle = 500 \text{ (mm)}$$

$$\langle ETR \rangle = 416 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned} < R > &= 500 - 416 = 84 \text{ (mm)} \\ Q &= \frac{84 \times 6\,900}{31.536 \times 103} = 18.379 \text{ (m}^3\text{/seg)} \end{aligned}$$

3.3.1.2 Sub-Cuenca del Río Tumusla

Esta sub-cuenca no tiene control fluviométrico, cuenta con antecedentes de Precipitación y Evapotranspiración Real.

$$\begin{aligned} A &= 21\,096 \text{ (Km}^2\text{)} \\ < P_m > &= 370 \text{ (mm)} \\ < ETR > &= 315 \text{ (mm)} \\ < R > &= 370 - 315 = 55 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{55 \times 21\,096}{31.536 \times 103} = 36.792 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

3.3.1.3 Sub-Cuenca del Río San Juan del Oro

Al igual que las dos anteriores sub-cuencas no tiene control fluviométrico, pero tiene antecedentes de Precipitación y Evapotranspiración Real.

$$\begin{aligned} A &= 21\,655 \text{ (Km}^2\text{)} \\ < P_m > &= 345 \text{ (mm)} \\ < ETR > &= 282 \text{ (mm)} \\ < R > &= 345 - 282 = 63 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{63 \times 21\,655}{31.536 \times 103} = 43.261 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

3.3.3 Verificación de Caudales Por Balance

Esta verificación se realiza considerando que no existe control fluviométrico en ninguna sub-cuenca. Se toma en consideración, la salida de la cuenca en la Estación Misión La Paz, en la que se tiene un récord completo de información que se considera confiable, para la comprobación.

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Talula)

$$< P_m > = 480 \text{ [mm.]}$$

$$< ETR > = 370 \text{ [mm.]}$$

$$A = 6.340 \text{ Km}^2$$

$$R = 480 - 370 = 110$$

$$Q = \frac{110 \times 6.34}{31.536} = 22,114 \frac{\text{[m}^3\text{]}}{\text{[seg]}}$$

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Talula - Icla)

$$Q = 18,379 \text{ [m3]}$$

[seg]

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Icla - Villamontes)

$$\langle Pm \rangle = 675 \text{ [mm.]}$$

$$\langle ETR \rangle = 610 \text{ [mm.]}$$

$$A = 25.330 \text{ Km}^2$$

$$R = 675 - 610 = 65 \text{ [mm.]}$$

$$Q = \frac{65 \times 25.33}{21,536} = 56,208 \text{ [m3]}$$

$$21,536 \text{ [seg]}$$

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Tumusla)

$$Q = 36,792 \text{ [m3]}$$

[seg]

SUB - CUENCA: San Juan del Oro

$$Q = 43,261 \text{ [m3]}$$

[seg]

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Villamontes - Misión La Paz)

$$\langle Pm \rangle = 700 \text{ mm.}$$

$$\langle ETR \rangle = 635 \text{ mm.}$$

$$A = 11.650 \text{ Km}^2$$

$$R = 700 - 635 = 65 \text{ [mm.]}$$

$$Q = \frac{65 \times 11.65}{31,536} = 24,012 \text{ [m3]}$$

$$31,536 \text{ [seg]}$$

Caudal Acumulado por Sub - Cuenca en Misión La Paz

$$Q'MLp. = \sum Q_{\text{Sub-cuencas}} \text{ (Calculado)} = 200.766 \text{ [m3/seg]}$$

$$QMLp. = 222,186 \text{ [m3]} \text{ (Medido)}$$

[seg]

$$\text{Discrepancia} = \frac{(QMLp. - Q'MLp.)}{QMLp.} \times 100 = \underline{9.6 \%}$$

QMLp.

Se nota que la discrepancia está dentro de los términos aceptados por el Segundo Taller para la Elaboración del Balance Hídrico de Sud-América, en el siguiente punto se realiza la verificación de caudales por Balance en Villamontes.

3.3.4 VERIFICACION DE CAUDALES POR BALANCE EN VILLAMONTES

CUADRO 3.1

EVAPOTRANSPIRACION (mm)	AREA ACUMULADA (Km ²)
790	0
700	5900
600	13300
500	19450
400	34500
300	67890
250	81321

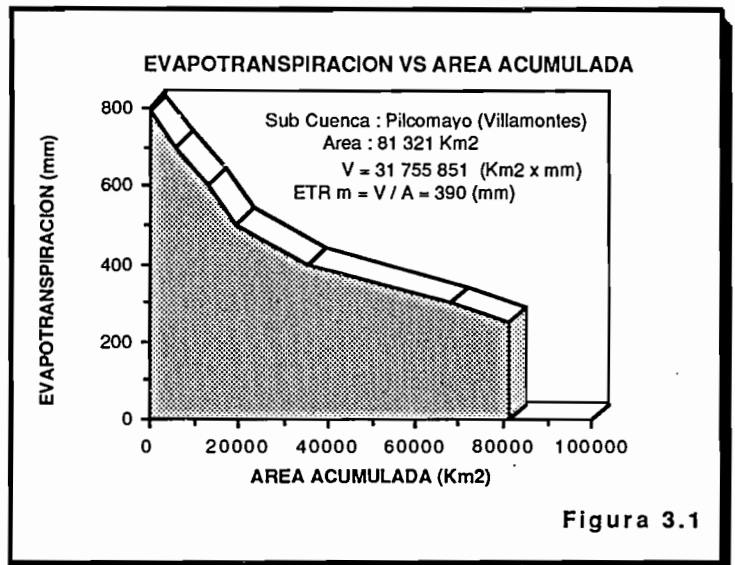


Figura 3.1

CUADRO 3.2

PRECIPITACION (mm)	AREA ACUMULADA (Km ²)
1100	0
800	6120
700	16480
600	23800
500	36200
400	60750
300	71060
240	81321

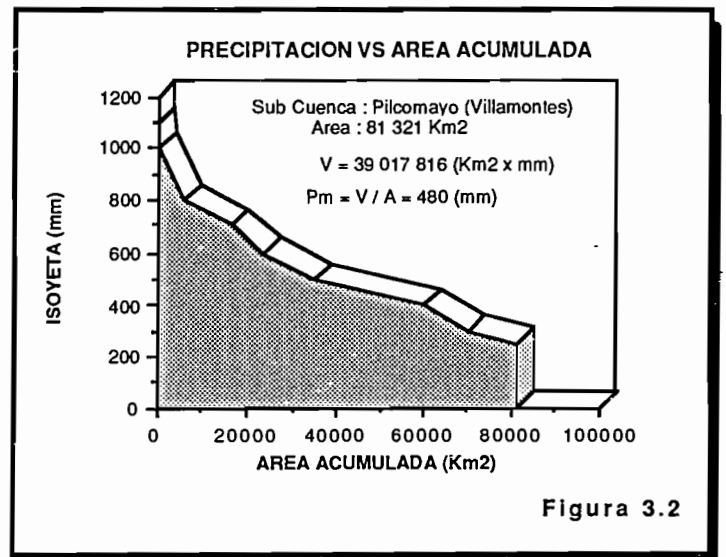


Figura 3.2

$$R = P - ETR$$

$$R = 480 - 390 = 90 \text{ (mm)}$$

$$Q = \frac{90 \times 81.321}{31.536} = 232.08 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$$31.536$$

Este valor de caudal se compara con el caudal medio anual obtenido por correlaciones :

$$\% \text{ Discrepancia} = \frac{209.4}{232.08} \times 100 = 9.7 \%$$

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. RESUMEN DEL BALANCE HIDRICO

El cuadro 4.1., presenta el resumen del Balance Hídrico por Sub-cuencas y el Balance Hídrico acumulado hasta la estación de Control Misión La Paz.

4.2. ANALISIS DE LOS COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN LA ECUACION DEL BALANCE HIDRICO

- El estudio realizado es a nivel preliminar, otros estudios puntuales merecerán una mayor profundidad en su análisis; pese a que este estudio ha sido realizado con el mayor detenimiento y detalle que permiten el espacio y el tiempo de análisis.

La información recolectada para el estudio ha sido obtenida directamente de los registros originales del SENAMHI notándose que existe consistencia en la misma, por la discrepancia de los resultados obtenidos.

PLUVIOMETRIA

- En el desarrollo del análisis de la información, se ha notado que existen varios períodos de discontinuidad en el control de los pluviómetros.

- También se han notado deficiencias en el control de la información en algunas estaciones, que pueden ser consideradas mínimas dada la magnitud del tamaño de la cuenca y el lapso del tiempo. El análisis ha eliminado la mayor parte de estos errores.

- La densidad de la red, no es la más adecuada.

Se cuenta con 68 estaciones, lo que representa aproximadamente 1 estación para cada 1.300 Km², distribución no uniforme en toda la cuenca, lo que es perjudicial para cualquier estudio..

- La falta de información en las divisorias de aguas, hace que se presenten problemas en su análisis.

- Al ser una cuenca fundamentalmente montañosa (87% del Area de la Cuenca), la precipitación principalmente es de tipo orográfico, también se presenta el fenómeno de precipitación convertiva, pero en menor escala.

TERMOMETRIA

- La densidad de la red es muy pobre, se tiene 1 estación por cada 3100 Km².

Sobre todo la zona de los llanos tiene una sola estación para 11650 Km².

- Como es una variable más estable que la precipitación, su análisis resulta más sencillo, ya que la

media, presenta pocas variaciones en períodos largos de tiempos.

- Se presenta una variación geográfica de la temperatura en función de la altitud, en general con un decremento de 0.5°C por cada 100 mts. de incremento de altura.

FLUVIOMETRIA

- En la cuenca existen 5 estaciones fluviométricas, número que es insuficiente para reevaluar un análisis detallado dentro de la cuenca, además de la discontinuidad en el control de las estaciones.

- La única estación con buen record de información es la estación Argentina de Misión La Paz, que es el punto de control de la cuenca, sobre el río Pilcomayo, posee información continua desde el año 1960 a 1982.

- La estación Talula, sobre el río Pilcomayo, posee información discontinua de aforos interdiarios, pero en el estudio realizado por el Consorcio Shawinnigan-Connal sobre el proyecto hidroeléctrico ICLA se tienen caudales medios mensuales desde 1964 hasta 1979, los mismos que han sido generados a través de un modelo matemático; estos caudales pueden ser utilizados con confiabilidad previo testeo.

- La estación Viña Quemada, sobre el río Pilcomayo; posee información, de aforos cada dos días de 1978 a 1981, luego no se tiene mayor información.

- La estación Chilcara sobre el río Camblaya, posee información de algunos meses entre los años 1975 a 1981, información insuficiente para un análisis completo.

- La estación villamontes, a la salida de la cuenca Andina, posee información discontinua entre 1973 y 1981, con sólo tres años completos. Los datos de esta estación se han rellenado mediante correlación con la estación Misión La Paz.

4.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- En general, la cuenca no presenta valores altos de precipitación.

- El mapa de Isoyetas, de precipitación media anual, muestra una variación de 1000 (mm.) a 300 (mm) de precipitación. En la zona del altiplano se presenta una variación uniforme de la precipitación, así como en la zona de los llanos. Las zonas de los Valles, y Montañas, presentan variaciones de precipitación del tipo orográfico combinadas con precipitaciones frontales influenciadas fundamentalmente por las variaciones de la presión atmosférica y la circulación general del aire con zonas de baja presión.

- El mapa de isotermas presenta la variación de la temperatura media anual en la cuenca, notándose una variación geográfica en función de la altitud. Se tienen valores en los llanos de 24°C con una disminución hasta los 6° en la zona montañosa siguiendo una variación gradual de acuerdo al gradiente de temperaturas.

- El mapa de isolíneas de evapotranspiración Real, muestra un incremento de la evapotranspiración hacia la zona de los llanos, con valores entre 600-700 (mm), disminuyendo estos valores de evapotranspiración en la zona montañosa hasta los 300 (mm.)

- El mapa de caudales específicos, muestra la variación de los caudales por subcuencas, notándose que son mayores en las zonas de montaña, lo que es lógico pues se trata de ríos con régimen torrencial y

menores en los ríos donde se presentan pocas variaciones topográficas en función de la variación geográfica, lo que les confiere un régimen laminar.

4.4. RECOMENDACIONES

- Se debe densificar la red de estaciones termopluviométricas, sobre todo en las Sub-cuencas ICLA - VILLAMONTES y del SAN JUAN DEL ORO, y en la divisoria de aguas entre cuencas y sub-cuencas. (Ver plano de estaciones y recomendación de nuevas instalaciones).
- Instalar un número adecuado de estaciones pluviométricas a lo largo de los ríos principales: Pilcomayo, San Juan del Oro y Tumusla, y de ser posible en los ríos de zonas con mayor potencial agrícola.
- Instalar una red de estaciones pluviométricas y pluviométricas vía Satélite, con objeto de poder contrastar valores obtenidos mediante este método con valores medidos por personal del SENAMHI y así poder detectar deficiencias en las medidas.
- Se deben realizar actualizaciones periódicas del Balance hasta completar un ciclo hidrológico.
- Realizar un inventario de proyectos que involucren el recurso hídrico para así poder planificar la utilización de los mismos en la cuenca.

CUADRO 4.1
RESUMEN DEL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE
LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

CUENCA	SUBCUENCA	AREA DE DRENAJE (Km ²)	PRECIPITACION < Pm >		ESCORRENTIA < R >			EVAPOTRANSPIRACION REAL < ETR >		DISCREPANCIA			COEF. ESCURR.
			(mm)	(Km ³)	(l/s/Km ²)	(mm)	(Km ³)	(mm)	(Km ³)	(mm)	(Km ³)	(%)	< R > / < P >
PILCOMAYO	PILCOMAYO (TALULA)	6340	480	3,04	4,20	132,6	0,84	370	2,35	22,60	0,14	4,71	0,28
	PILCOMAYO (TAL.-ICLA)	6900	500	3,45	2,66	84,0	0,58	416	2,87	---	---	---	0,17
	PILCOMAYO (ICLA-VILL.)	25330	675	17,10	3,33	104,9	2,66	610	15,45	39,90	1,01	5,91	0,16
	PILCOMAYO (VILL.-MLP)	11650	700	8,16	1,01	31,7	0,37	635	7,40	33,30	0,39	4,76	0,05
	TUMUSLA	21096	370	7,81	1,74	55,0	1,16	315	6,65	---	---	---	0,15
	SAN JUAN DEL ORO	21655	345	7,47	2,00	63,0	1,36	282	6,11	---	---	---	0,18
	TOTAL	92971	506	47,04	2,38	75	6,97	439	40,81	8	0,744	1,6	0,15

ANEXO 1CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES QUE PARTICIPAN EN EL BALANCE HIDRICO

Esta información se presenta en un cuadro compuesto de 8 columnas. La primera columna se denomina "Código de la estación". Donde se codifica cada estación.

El código consta de 8 caracteres, distribuidos de la siguiente manera:

1 2 3 4 5 6 7 8

- 1: País
- 2: Departamento
- 3: Provincia
- 4: Cuenca
- 5:}
- 6:} Sub cuenca
- 7:}
- 8:} Número de la estación en la sub cuenca.

1. País: ARGENTINA (A)*
BOLIVIA (B)
PARAGUAY (C)*

2. Departamento de Bolivia:
Chuquisaca 3
Oruro 5
Potosí 7
Tarija 9

3. Provincia:

CHUQUISACA

- A. Azurduy
- B. Belisario Boto
- C. Hernando Siles
- D. Luis Calvo
- E. Nor Cinti
- F. Oropeza
- G. Sub Cinti
- H. Tomina
- I. Yamparaez
- J. Zudañes

ORURO

- A. Atahuallpa
- B. Avaroa
- C. Carangas
- D. Cercado
- E. Laidslao Cabrera
- F. Litoral
- G. Pantaleon Dalence
- H. Poopo
- I. Sajama
- J. San Pedro de Totora
- K. Sancari
- L. Sur Carangas
- M. Tomás Barrón

POTOSI

- A. Alonso de Ibañes
- B. Bustillos
- C. Cornelio Saavedra
- D. Chayanta
- E. Charcas
- F. Daniel Campos
- G. Tomás Frías
- H. Gral. Bilbao
- I. Linares
- J. Modesto Omiste
- K. Nor Chichas
- L. Nor Lipez
- M. Quijarro
- N. Sud Chichas
- O. Sud Lipez

TARIFA

- A. Arce
- B. Avilez
- C. Cercado
- D. Gran Cacho
- E. Mendez
- F. O'Connor

4. Cuenca:

- A. Amazonas
- B. Del Plata
- C. Endorreica

5 y 6 Sub Cuenca:

Pilcomayo (Talula)	P1
Pilcomayo (Talula-Icla)	P2
Pilcomayo (Icla-Villamontes)	P3
Pilcomayo (Vill. - M. La Paz)	P4
Tumusla:	CT
San Juan del Oro:	SJ

7 y 8 Número:

Por Sub cuenca desde 01 - 99

Por ejemplo, tenemos la estación de Thola Palca:

País: Bolivia	B
Depto: Oruro	5
Prov.: Cercado	D

Cuenca: Del Plata	B
Sub cuenca: Pilcomayo (Talula)	P1
Número:	01

entonces el código de la estación es: B5 DB P1 01

La característica o el tipo de estación se muestra en otra columna:

Sub cuenca + Número + Tipo de Estación.

1 2 3 4 5 6

El tipo de estación se codifica de la siguiente manera:

Pluviométrica:	PV
Termopluviométrica:	TP
Climatológica Ordinaria:	CO
Sinóptica (AASANA):	SA

La estación pluviométrica (Senamhi) consta de: un Pluviómetro.

La estación termopluviométrica (Senamhi) consta de: un termómetro y un pluviómetro.

La estación climatológica Ordinaria (Senamhi) consta de:

- 1 Heliógrafo
- 1 Pluviómetro
- 1 Pluviógrafo
- 1 Caseta Meteorológica: Cicrómetro de 4 termómetros
Termohidrógrafo
- 1 Anemómetro
- 1 Geotermómetro
- 1 Tanque Evaporímetro
- 1 Barómetro
- 1 Barógrafo

La estación sinóptica (AASANA) consta de:

- Barógrafo
- Barómetro
- Anemómetro
- Anemógrafo
- Pluviómetro
- Pluviógrafo
- Caseta Meteorológica: Cicrómetro
Termohidrógrafo
- Tanque Evaporímetro

En las demás columnas se muestra la altitud (m), latitud, longitud, y el período de registro de la estación.

ANEXO 1

Entonces la estación THOLA PALCA llena su registro de la siguiente manera:

CODIGO	NOMBRE	NºIDENTIF.	ALTITUD	LATITUD S.	LONGITUD W.	TIPO	SERVICIO
BSDBP101	Thola Palca	P101PV	3900	17 51	66 50	PVM	64/82

ANEXO 2
PROGRAMA DE CORRELACIONES CorrePA-CorrePM.
(R. Arellano y A. Allaga)

Programa desarrollado sobre un equipo de computación GOUPIL, de las siguientes características:

Micro Procesador Z80
 Sistema Operativo FLEX -09 lenguaje S BASIC.
 Memoria RAM 256 K.
 Unidad de Diskettes: 2 de 8".

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

Se ha desarrollado este programa en lenguaje S BASIC como una aplicación más al paquete de análisis hidrológico PLUVIO, realizado en la ISLA GUADALUPE, por M. Morell y D. Rossignol de ORSTOM. (Disponible en PHICAB).

Siguiendo la concepción del paquete PLUVIO se accede, al programa de correlaciones a través de menús. Dentro del PLUVIO, se tiene un menú principal:

- Informaciones
- Catálogo de Diskettes.
- Ficheros de Identificación.
- Creación, corrección y Edición de Datos.
- Tratamiento Diario
- Tratamiento Mensual
- Tratamiento Anual
- Tratamiento Estadístico
- Fin del Trabajo

El programa de correlación trabaja sobre ficheros mensuales y anuales, o sea, que se pueden correlacionar datos de estaciones, ya sea a nivel mensual o bien sea a nivel anual.(se explica el desarrollo de una aplicación a nivel anual)

CORRELACION ANUAL

A través del Menú principal, se elige el tratamiento de datos a nivel mensual, utilizando las teclas **fl**, una vez realizada esta operación a través de la validación de la instrucción mediante la presión de la tecla **o**, cuando la línea de remarcación está sobre la instrucción deseada, aparece un sub-menú:

A) TRATAMIENTO DE INFORMACION ANUAL

- | | |
|--------------------------------|---|
| - Fin de Trabajo..... | 0 |
| - Correlación *..... | 1 |
| - Tratamiento estadístico..... | 2 |

ANEXO 2

Presionando la tecla marcada con 1, se accede a otro sub menú:

- B) - Fin de Trabajo..... 0
- Catálogo de estaciones disponibles..... 1
- Creación, Corrección y Edición de datos..... 2
- Correlación entre estaciones..... 3

- Presionando la tecla "0"; se retorna al anterior sub-menú.

- Presionando la tecla "1"; la máquina dá un listado de las estaciones, con datos a nivel anual, que se encuentran en el diskette de la unidad de trabajo, las mismas que sirven para trabajar con la correlación.

- Presionando la tecla "2", automáticamente se ubica en el programa de creación, corrección y edición de datos a nivel anual, del mismo que para retornar al programa de correlación se debería salir al menú principal del programa PLUVIO.

- Presionando la tecla "3"; se ingresa al programa de correlación.

En este punto, aparece en la pantalla:

Número de Estaciones a Correlacionar: ?

- Se deberá teclar un número comprendido entre 1 y 8 (Por ejm.: 2).

- La máquina vuelve a preguntarle:

- NOMBRE DE ESTACION: ? (Por ejm.: **TALULA** y **COLAVI**, se valida presionando **Ø**)

Hecho esto, la máquina procede a la búsqueda de la información en su banco de datos; luego ordena la matriz de trabajo; la misma que es presentada en la pantalla.

TABLA DE CORRELACION

Año	Talula	Colavi
1965	459	663
1966		
1967		
1968	810	993
1969	451	510
1970	460	
1971	411	
1972	529	
1973	566	
1974	725	
1975	717	
1976	514	
1977	698	926
1978	728	874
1979	756	864
1980	514	634
1981	810	1127
1982	673	864

....En espera.

- Presionando la barra espaciadora, se presenta el siguiente sub-menú:

- C)
- | | |
|-----------------------------|---|
| - Fin de Trabajo..... | 0 |
| - Correlación simple..... | 1 |
| - Correlación múltiple..... | 2 |

- Presionando "0", se ubica en el sub-menú "B".

- Presionando "1", aparece la pregunta:

. Desea el cálculo rápido del coef. de correlación (s/n): ?

- Presionando: "S", la máquina calcula el coeficiente de correlación $r = \frac{s_x y}{s_x s_y}$

el mismo que es presentado como una tabla (En el ej.):

COEFICIENTES DE CORRELACION

Talula - Colavi: 0.94

.....En espera

Presionando la barra espaciadora, aparece:

No. (1) : **TALULA**

No.(2) : **COLAVI**

Indique el No. de la estación a Correlacionar:

("0" retorna al menú "C")

Presionar el número deseado (Por ejm.: 1)

No. de la estación a contrastar: (Por ejm.: 2)

En este momento la máquina presenta el tipo de correlación:

- D)
- | | | |
|-----------------------------------|--|---|
| - Modelo Lineal: | $y = a + b x t$+..... | 1 |
| - Modelo Exponencial: | $y = a_1 b_1^{x1} + a_2 b_2^{x2}$+.. | 2 |
| - Modelo Potencial: | $y = a_1 x_1^{b1} + a_2 x_2^{b2}$ | 3 |
| - Retorno al menú de correlación. | | 0 |

ANEXO 2

Eligiendo de 1 a 3, la máquina desarrolla cualquiera de los tres modelos (Por ejm.: 1), entonces se presenta la información de esta manera:

$$Y = 4.04 + 1.26 x$$

Valores Reales Valores del Modelo

Coef. de Correlación: 0.94

Desviación media: 132

¿Desea realizar alguna estimación con el modelo? (s/n):

- Si responde "N" se vuelve al menú "D"
- Presionando "S"; la máquina preguntará:

Introduzca las correspondientes xi

x1 = ?

Introduciendo un valor (**x = 460**), la máquina coloca inmediatamente debajo (**Y1 = 582**).

De esta manera sencilla de acceder a través de menús, el operario no tiene ningún problema en la utilización del programa puesto que el mismo programa va guiándolo, para lograr sus objetivos.

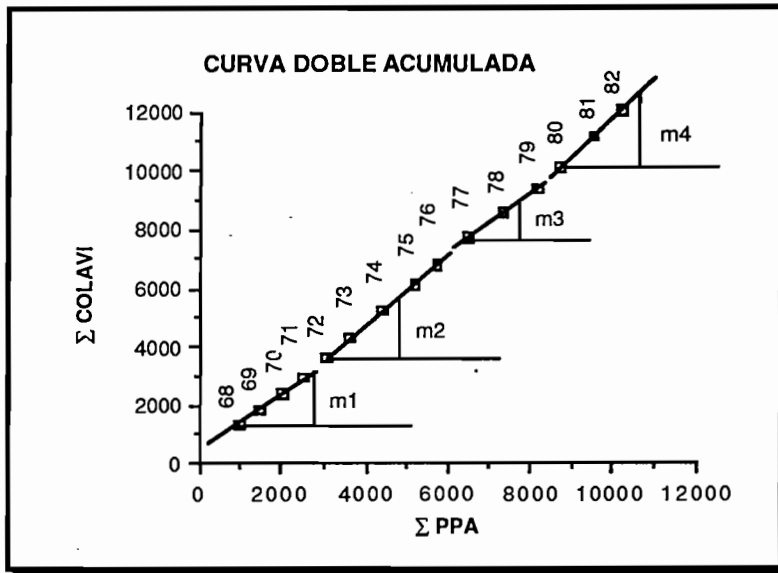
El manejo del programa de correlación mensual se realiza de la misma manera, accediendo a través de: Tratamiento de Información mensual con la única salvedad que en este programa es necesario introducir el "mes de correlación".

ANALISIS Y CORRECCION POR DOBLE ACUMULADA.-

En el ejemplo anterior se realizó el relleno de información utilizando la correlación simple, para realizar el analisis por doble acumulada se utiliza el PPA generado con las estaciones del SUBGRUPO II (ver CAP 2).

AÑO	Σ TALULA	Σ COLAVI	Σ PPA
1968	810	993	770
1969	1261	1503	1266
1970	1721	2085	1808
1971	2132	2606	2291
1972	2661	3275	2843
1973	3227	3991	3420

AÑO	Σ TALULA	Σ COLAVI	Σ PPA
1974	3952	4907	4181
1975	4669	5813	4960
1976	5183	6463	5530
1977	5881	7389	6291
1978	6609	8263	7136
1979	7365	9127	7924
1980	7879	9761	8499
1981	8689	10888	9304
1982	9362	11752	10042



Entonces de la gráfica se obtienen cuatro tendencias :

Per. Quiebre	Pendiente	Factor de Corrección
1968-1971	$m = 1.062$	
1972-1976	$m = 1.186$	$\beta = 1.186/1.062 = 1.116$
1977-1979	$m = 1.064$	$\beta = 1.064/1.186 = 0.897$
1980-1982	$m = 1.292$	$\beta = 1.292/1.064 = 1.214$

La estación Colavi deberá ser afectada por los anteriores factores de corrección para los períodos correspondientes. La estadística modificada es la siguiente:

AÑO	COLAVI x β	COLAVI
1968	993	993
1969	510	510
1970	582	582
1971	521	521
1972	747	669
1973	799	716
1974	1022	916

ANEXO 2

<u>AÑO</u>	<u>COLAVI x β</u>	<u>COLAVI</u>
1975	1011	906
1976	725	650
1977	831	926
1978	784	874
1979	775	864
1980	769	634
1981	1368	1127
1982	1049	864

Una vez afectada la estación por los coeficientes de corrección, la estación presenta la tendencia general del grupo de estaciones con el cual ha sido contrastada, con lo cual se ha terminado el trabajo de correlación y testeo de la estación elegida.

ANEXO 3

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS EN EL CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION REAL MEDIANTE LA FORMULA DEL TURC Y EL METODO DE THORNTHWAITE EN 9 ESTACIONES EN LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

ESTACION	ETR (TURC)(mm.)	ETR THORNTHWAITE(mm)	DISCREPANCIA % (1- $\frac{ETR THORNTHWAITE}{ETR TURC}$)	
1	Sucre	568	574	1,0
2	Potosí	337	358	6,2
3	Puna	387	413	6,7
4	Salto Leon	268	284	5,9
5	S.José Pampa Gr.	329	333	1,2
6	Tupiza	331	332	0,3
7	Vitichi	363	371	2,2
8	Mojo	309	335	8,4
9	Villamontes	659	661	0,3

Como se puede notar en el cuadro precedente, THORNTHWAITE da resultados mayores que TURC en un rango de 0,3% a 8,4%; discrepancia que se puede considerar más que aceptable. En consecuencia, se utilizará la fórmula de TURC más sencilla de uso para evaluar la Evapotranspiración Real en la cuenca del río Pilcomayo.

El cálculo a través de la fórmula de Thornthwaite es algo más complejo ya que a parte de necesitarse la pluviometría y la temperatura mensual, se hace necesario estimar la capacidad de retención del suelo o la reserva de agua útil; lo que no puede ser cuantificado ciertamente a la escala de una gran cuenca.

Según Thornthwaite, la saturación es alcanzada cuando las reservas superficiales acumuladas llegan a 100 (mm.); cifra que debe ser adaptada para cada caso, pero podría convenir para empezar aplicaciones del método.

J.R. Mather dice que se alcanzará la saturación con 10 ó 20 mm. por 30 cm. de espesor de terreno arenoso y más de 100 mm. por 30 cm. de espesor de terreno limoso o arcilloso.

Descripción del método de Thornthwaite

El método de Thornthwaite consiste en:

ANEXO 3

1) Calcular el índice $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$ para cada mes. T = Temperatura media mensual.

2) Calcular el Índice de calor anual

$$i = 12$$
$$I = \sum_{i=1} i_i$$

3) Calcular

$$ET = \frac{16}{30} \left(\frac{10T}{I}\right)^a \left(\frac{\text{mm}}{\text{mes}}\right) \text{ (Evapotranspiración media mensual sin corregir).}$$

$$\text{donde } a = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1.792 \cdot 10^{-2} I + 0.49239$$

4) De acuerdo con la latitud de la estación, calcular para cada mes el índice de iluminación mensual para 12 h.

5) Multiplicar (3) x (4) para cada mes = Evapotranspiración Potencial

6) Calcular la evapotranspiración Real de acuerdo al Balance Hídrico de Thornthwaite.

CUENCA :		PILCOMAYO		LONGITUD		65° 16'							
SUB-CUENCA :		PILCOMAYO (TALULA)		LATITUD		19° 01'							
PAIS :		BOLIVIA		ALTURA		2890							
DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	16.6	16.2	16.3	15.4	14.2	12.8	12.7	13.7	15.1	16.7	17.2	16.9	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	159	131.7	109	28.1	6.8	2	4.6	15.4	24.2	52.8	57.1	115.3	706
INDICE DE CALOR MENSUAL	6.15	5.93	5.98	5.49	4.86	4.15	4.1	4.6	5.33	6.21	6.49	6.32	l=65.61
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.1	29.6	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.3	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.2	2.1	2.1	1.9	1.7	1.4	1.4	1.7	1.9	2.2	2.3	2.3	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	75	62.2	66.1	55.3	49	38.2	40	50.5	38	71.1	75.2	79.4	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	159	131.7	109	28.1	6.8	2	4.6	15.4	24.2	52.8	57.1	115.3	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	64.1			-27.2	-42.2	-30.6						35.9	
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	100	100	100	72.8	30.6	0	0	0	0	0	0	35.9	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	75	62.2	66.1	55.3	49	32.6	4.6	15.4	24.2	52.8	57.1	79.4	573.7
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	84	69.5	42.9	-27.2	-42.2	-36.2	-35.4	-35.1	-13.8	-18.3	-18.1	35.9	

POTOSI

ANEXO 3

3.2

CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 65° 34'
 SUB-CUENCA : PILCOMAYO (TAL-ICLA) LATITUD 19° 51'
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 3860

DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	10.5	10.4	10.4	9.2	7.6	6.1	6	6.7	8.1	9.4	10.9	10.5	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	117	77	60	12	1	0	0	5	17	17	27	71	404
INDICE DE CALOR MENSUAL	3.08	3.03	30.3	2.52	1.89	1.35	1.32	1.56	2.08	2.6	3.25	3.08	$I=28.79$ $a=0.96$
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.2	30	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.4	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	1.85	1.83	1.83	1.63	1.35	1.09	1.08	1.2	1.44	1.66	1.91	1.85	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	63.13	54.87	57.61	47.32	38.88	29.93	30.75	35.62	28.78	53.78	62.56	63.68	ETR = 358.3
PRECIPITACION MENSUAL (b)	117	77	60	12	1	0	0	5	17	17	27	71	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	42.68			-35.32	-14.68								7.32
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	50	50	50	14.68	0	0	0	0	0	0	0	7.32	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	63.13	54.87	57.61	47.32	15.68	0	0	5	17	17	27	63.68	
DEFICIT DE AGUA (f)	0	0	0	0	0	-29.93	30.75	30.62	11.78	36.78	35.56		
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	53.87	22.13	2.39	-35.32	-37.88	-29.93	-30.75	-30.62	-11.78	-36.78	-35.56	7.32	

CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 65° 30'
 SUB-CUENCA : PILCOMAYO (TAL-ICLA) LATITUD 19° 47'
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 3280

DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	13.9	14	13.7	12.5	10.3	8.8	8.6	9.8	11.8	13.3	14.3	14.2	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	108.2	81.5	66.1	16.8	2	2	0.4	7.7	16.6	29.8	31.7	81.2	444
INDICE DE CALOR MENSUAL	4.7	4.75	4.6	4	2.99	2.35	2.27	2.77	3.67	4.4	4.91	4.86	46.27
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.1	29.9	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.3	32.6	34.3	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2	2.1	1.9	1.8	1.4	1.1	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.2	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	68.2	62.8	59.8	52.4	40.3	32.8	30	41.6	32	61.4	71.7	75.5	413.3
PRECIPITACION MENSUAL (b)	108.2	81.5	16.8	16.8	2	2	0.4	7.7	16.6	29.8	31.7	81.2	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	34.3			-35.6	-4.4								5.7
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	40	40	40	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	68.2	62.8	59.8	52.4	6.4	2	0.4	7.7	16.6	29.8	31.7	75.5	
DEFICIT DE AGUA (f)	0	0	0	0									
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	40	18.7	6.3	-35.6	-38.3	-30.8	-29.6	-33.9	-15.4	-31.6	-40	5.7	

CUENCA :	PILCOMAYO	LONGITUD	66° 00'										
SUB-CUENCA :	TUMUSLA	LATITUD	20° 06'										
PAIS :	BOLIVIA	ALTURA	4572										
DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	16.8	17.8	16.6	14.8	11.7	9	9.7	10.7	12	13.9	15.7	17	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	88.9	75.6	32	5.5	1.5	0.6	0.1	1.9	3.6	5.5	11.9	43.9	271
INDICE DE CALOR MENSUAL	6.26	6.84	6.15	5.17	3.62	2.43	2.73	3.16	3.76	4.7	5.65	6.9	57.37
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.2	30	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.4	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.4	2.6	2.3	2.1	1.5	0.6	1.1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.4	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	82	78	72.5	61.1	43.2		31.4	35.6	30	58.3	71.9	82.5	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	88.9	75.6	32	5.5	1.5		0.1	1.9	3.6	5.5	11.9	43.9	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	13.1	-2.4	-17.6										
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	20	17.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	82	78	49.6	5.5	1.5	0.6	0.1	1.9	3.6	5.5	11.9	43.9	284.1
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	6.9	-2.4	-40.5	-55.6	-41.7	-26.7	-31.3	-33.7	-26.4	-52.8	-60	-38.9	

CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 65° 49'
 SUB-CUENCA : SAN JUAN DEL ORO LATITUD 21° 41'
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 3000

DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	16.60	16.70	17.40	17.20	16.10	14.60	14.60	15.50	16.00	17.40	17.40	17.20	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	101.20	49.70	46.50	6.10	0.00	0.00	0.00	0.60	3.30	5.60	23.20	97.80	334.00
INDICE DE CALOR MENSUAL	6.15	6.21	6.61	6.49	5.87	5.07	5.07	5.55	5.82	6.61	6.61	6.49	72.55
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.20	30.00	31.50	29.10	28.80	27.30	28.50	29.70	20.00	32.40	32.70	34.50	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.10	2.10	2.30	2.20	2.00	1.70	1.70	1.80	2.00	2.30	2.30	2.20	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	71.80	63.00	72.50	64.00	57.60	46.41	48.50	53.50	40.00	74.50	75.20	75.90	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	101.20	49.70	46.50	6.10	0.00	0.00	0.00	0.60	3.30	5.60	23.20	97.80	334.00
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	28.10	-13.30	-26.00	-10.70								21.90	
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	50.00	36.70	10.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.90	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	71.80	63.00	72.50	16.80	0.00	0.00	0.00	0.60	3.30	5.60	23.20	75.90	332.70
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	29.40	-13.30	-26.00	-57.90	-57.60	-46.40	-48.50	-52.90	-36.70	-68.90	-52.00	21.90	

CUENCA :	PILCOMAYO		LONGITUD	65° 43'									
SUB-CUENCA :	SAN JUAN DEL ORO		LATITUD	21° 26'									
PAIS :	BOLIVIA		ALTURA	2952									
DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	16.2	16.6	16.8	14.9	11	8.7	9.2	11.4	13.7	16.3	17.9	17.8	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	101	87.6	44.4	8.5	0	0	0	0.5	2.4	6.2	18.8	76.6	346
INDICE DE CALOR MENSUAL	5.93	6.15	6.26	5.22	3.3	2.31	2.52	3.48	4.6	5.98	6.9	6.84	59.49
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.2	30	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.4	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.2	2.3	2.3	2	1.3	0.9	1	1.4	1.7	2.2	2.6	2.5	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	75.2	69	72.5	58.1	37.4	24.5	28.5	41.6	34	71.3	85	86.2	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	101	87.6	44.4	8.5	0	0	0	0.5	2.4	6.2	18.8	76.6	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	4.2		-28	2									
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	30	30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	75.2	69	72.5	10.5	0	0	0	0.5	2.4	6.2	18.8	76.6	ETR = 331.7
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	25.8	18.6	-28	-49.6	-37.4	-24.57	-28.5	-41.1	-31.6	-65.1	-66.2	-9.6	

CUENCA :		PILCOMAYO		LONGITUD		65° 29'							
SUB-CUENCA :		TUMUSLA		LATITUD		20° 12'							
PAIS :		BOLIVIA		ALTURA		3020							
DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	17.4	17.4	16.6	16.4	15.3	14.7	15	15.5	16.6	17.5	17.6	17	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	90.6	71.8	58.2	13.6	2	0	0	0	8.4	10	25.2	93	375
INDICE DE CALOR MENSUAL	6.61	6.61	6.15	6.04	5.44	5.12	5.28	5.55	6.15	6.66	6.72	6.38	=72.71
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.2	30	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.4	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.3	2.3	2.1	2	1.7	1.6	1.7	1.7	2.1	2.3	2.3	2.2	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	78.6	69	66.1	58.2	48.9	43.7	48.5	50.5	42	74.5	75.2	75.9	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	93.4	71.8	58.2	13.6	2	0	0	0	8.4	10	25.2	93	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	12.9		-7.9	-22.1									
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	30	30	22.1	0	0	0	0	0	0	0	0	17.1	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	78.6	69	66.1	35.7	2	0	0	0	8.4	10	25.2	75.9	370.9
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	14.8	2.8	-7.9	-44.6	-46.9	-43.7	-48.5	-50.5	-33.6	-64.5	-50	17.1	

MOJO

ANEXO 3

3.8

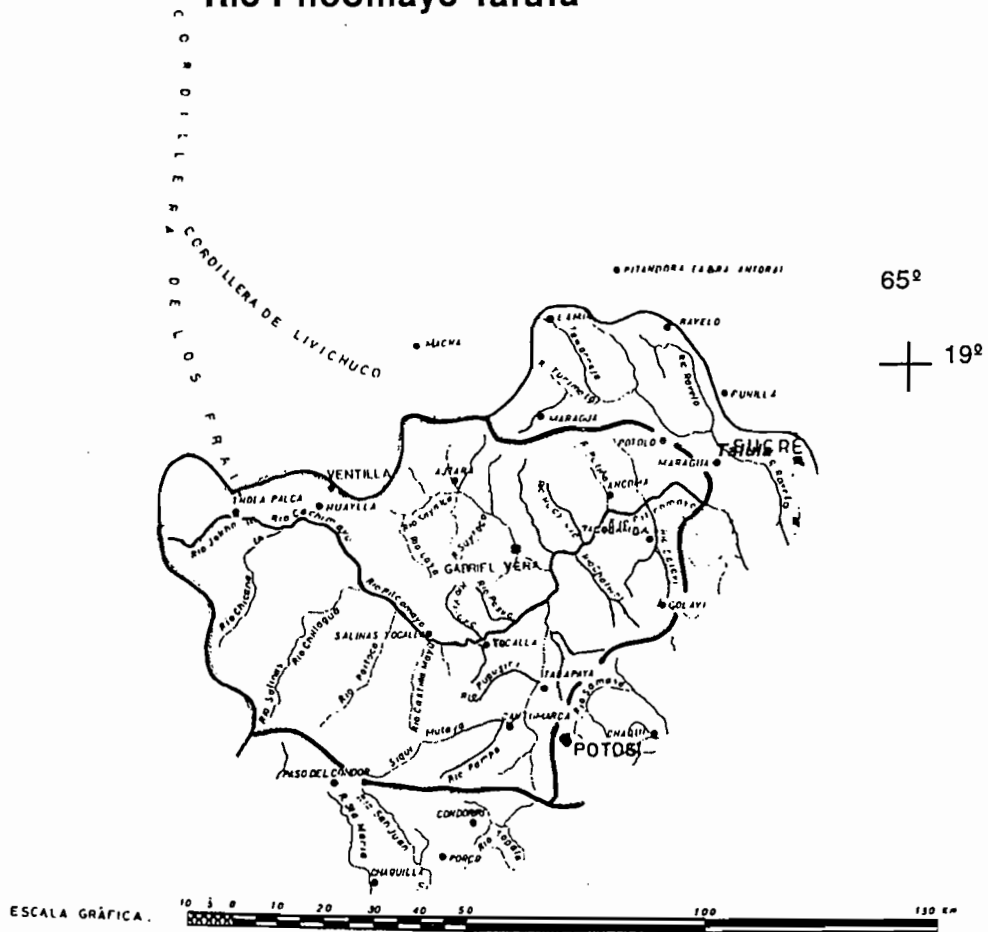
CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 65° 33'
 SUB-CUENCA : SAN JUAN DEL ORO LATITUD 21° 49'
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 3400

DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	14.9	14.8	14.5	11.9	7.9	5.4	5.6	7.8	10.9	13.6	14.9	14.9	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	95.8	65	52.5	8.2	1.7	0	0.2	1.7	1.7	14	27.6	63.6	332
INDICE DE CALOR MENSUAL	5.22	5.17	5.01	3.72	2	1.12	1.19	1.96	3.25	4.55	5.22	5.22	43.63
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.5	30	31.5	29	28.4	27	29	29.5	22	27	33	34.8	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	2.3	2.3	2.2	1.8	1.1	0.7	0.7	1	1.6	2	2.3	2.3	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	79.3	69	69.3	52.2	31.2	18.9	20.3	29.5	35.2	54	75.9	80	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	95.8	65	52.5	8.2	1.7	0	0.2	1.7	1.7	14	27.6	63.6	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	3.5	-4	-16										
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	20	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	79.3	69	68.5	8.2	1.7	0	0.2	1.7	1.7	14	27.6	63.6	335.5
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)	13												
ESCURRIMIENTO (h)	6.5	3.2	1.6										13
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	16.5	-4	-16.8	-44	-29.5	-18.9	-20.1	-27.8	-33.5	-40	-48.3	-16.4	

CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 63° 28'
 SUB-CUENCA : PILCOMAYO (ICLA-VILL) LATITUD 21° 01'
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 340

DATOS	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	27.2	26.9	25.7	23.1	20.2	17.9	19.8	20	22.5	26.4	27.2	27.6	
PLUVIOMETRIA MEDIA MENSUAL	172	85	124	57.1	19.1	7.7	6.4	9	5.2	15.5	60	127	691
INDICE DE CALOR MENSUAL	12.99	12.78	11.92	10.15	8.28	6.9	7.37	8.16	9.75	12.42	12.99	13.28	126.9
INDICE DE ILUMINACION UNIDAD MENSUAL 12 H	34.2	30	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	20	32.4	32.7	34.5	
E.T CON TEMP. MEDIA MENSUAL SIN CORREGIR	4.9	4.8	4.2	3	2.1	1.5	1.7	2	2.8	4.5	4.9	5	
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (a)	167.5	144	132.3	87.3	60.48	43.95	48.5	59.4	56	145.8	160.2	172.5	
PRECIPITACION MENSUAL (b)	172	85	124	57.1	19.1	7.7	6.4	9	8.2	15.5	60	127	
VARIACIONES EN LA RESERVA DE HUMEDAD (c)	55.5	-59	-1										
RESERVA DE AGUA UTIL (d)	60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EVAPOTRANSPIRACION REAL EFECTIVA DE THORNTWAITE (ETR) (e)	167.5	59	125	57.1	19.1	7.7	6.4	9	8.2	15.5	60	127	661.5
DEFICIT DE AGUA (f)													
EXCEDENTE (g)													
ESCURRIMIENTO (h)													
DIFERENCIA ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (i)	4.5	-59	-8.3	-30.2	-41.38	-33.25	-42.1	-50.4	-47.8	-130.3	-100.2	-45.5	

Subcuenca Rio Pilcomayo Talula



$P = 332$ km *Perímetro de la cuenca*
 $A = 6340$ km² *Area de la cuenca*
 $L = 540$ km *Longitud de los ríos de la subcuenca*
 $L_p = 139$ km *Longitud del río principal*

$H_{max} = 4500$ msnm *Altitud máxima del río*
 $H_{min} = 2000$ msnm *Altitud mínima del río*

$$I_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 332}{\sqrt{6340}} = 1.17$$

I_c : *Indice de compacidad*

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{540}{6340} = 0.085$$

D_d : *Densidad de drenaje*

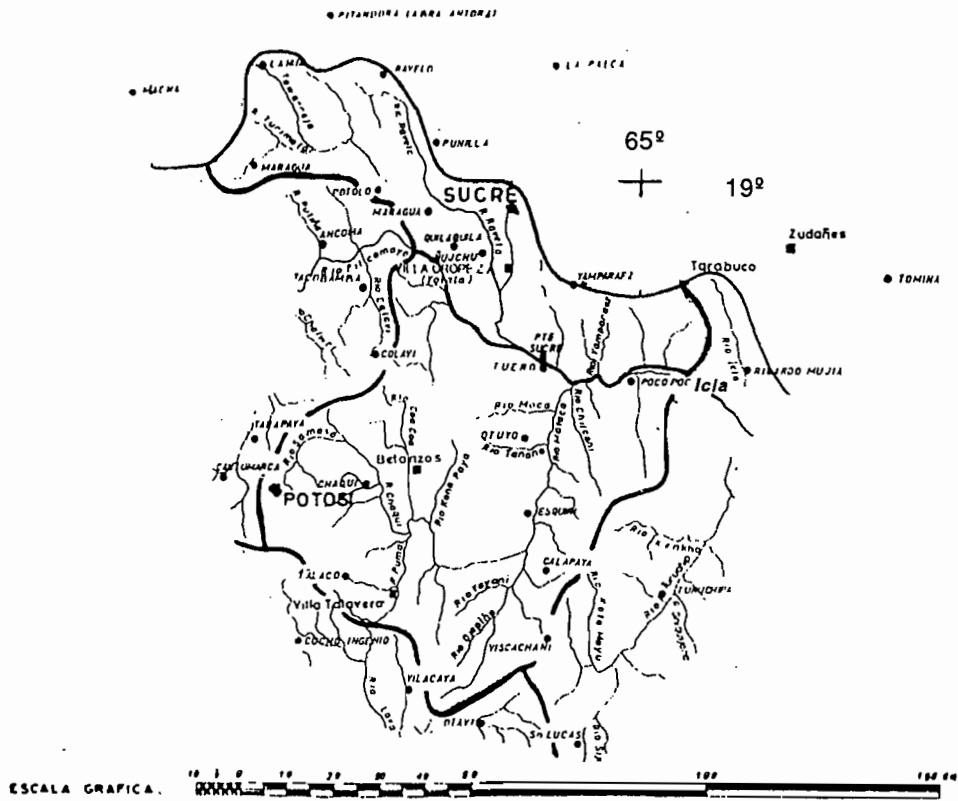
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{6340}{4 \times 540} = 2.94$$

E_m : *Extensión media del escurrimiento superficial*

$$I_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000 \times L_p} = \frac{4500 - 2500}{1000 \times 139} = 1.438 \times 10^{-2}$$

I_r : *Pendiente media del río*

Subcuenca Rio Pilcomayo Talula-Icla



$P = 449$ km *Perímetro de la cuenca*
 $A = 6900$ km² *Area de la cuenca*
 $L = 769$ km *Longitud de los ríos de la subcuenca*
 $L_p = 69$ km *Longitud del río principal*

$H_{max} = 2500$ msnm *Altitud máxima del río*
 $H_{min} = 2200$ msnm *Altitud mínima del río*

$$I_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 449}{\sqrt{6900}} = 1.51$$

I_c : *Indice de compacidad*

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{769}{6900} = 0.111$$

D_d : *Densidad de drenaje*

$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{6900}{4 \times 769} = 2.24$$

E_m : *Extensión media del escurrimiento superficial*

$$I_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000 \times L_p} = \frac{2500 - 2200}{1000 \times 69} = 4.348 \times 10^{-3}$$

I_r : *Pendiente media del río*

Subcuenca Rio Pilcomayo Icla-Villamontes

$P = 929$ km *Perímetro de la cuenca*
 $A = 25\,330$ km² *Area de la cuenca*
 $L = 2\,849$ km *Longitud de los ríos de la subcuenca*
 $L_p = 291$ km *Longitud del río principal*

$H_{\max} = 2\,200$ msnm *Altura máxima del río*

$H_{\min} = 340$ msnm *Altura mínima del río*

$$I_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 929}{\sqrt{25\,330}} = 1.63$$

I_c : *Índice de compacidad*

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{2\,849}{25\,330} = 0.112$$

D_d : *Densidad de drenaje*

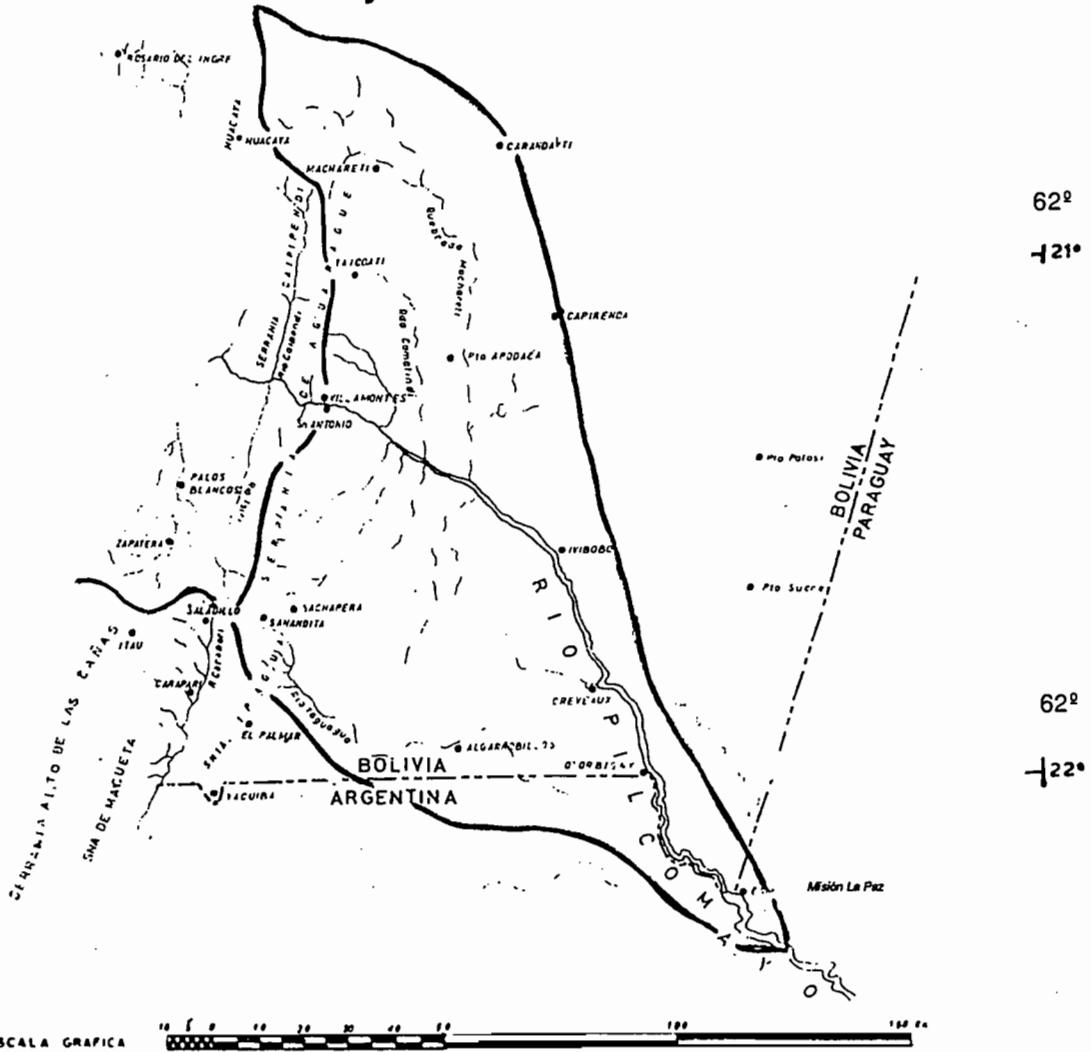
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{25\,330}{4 \times 2\,849} = 2.22$$

E_m : *Extensión media del escurrimiento superficial*

$$I_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1000 \times L_n} = \frac{2200 - 340}{1000 \times 929} = 6.392 \times 10^{-3}$$

I_r : *Pendiente media del río*

**Subcuenca
Rio Pilcomayo VILLAMONTES - MISION LA PAZ**



P = 570 km *Perímetro de la cuenca*
 A = 11 650 km² *Area de la cuenca*
 L = 523 km *Longitud de los ríos de la subcuenca*
 L_p = 172 km *Longitud del río principal*

H_{max} = 340 msnm *Altitud máxima del río*
 H_{min} = 280 msnm *Altitud mínima del río*

$$I_c = \frac{0.28 \cdot P}{A} = \frac{0.28 \times 570}{11650} = 1.47$$

I_c : *Indice de compacidad*

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{523}{11650} = 0.045$$

D_d : *Densidad de drenaje*

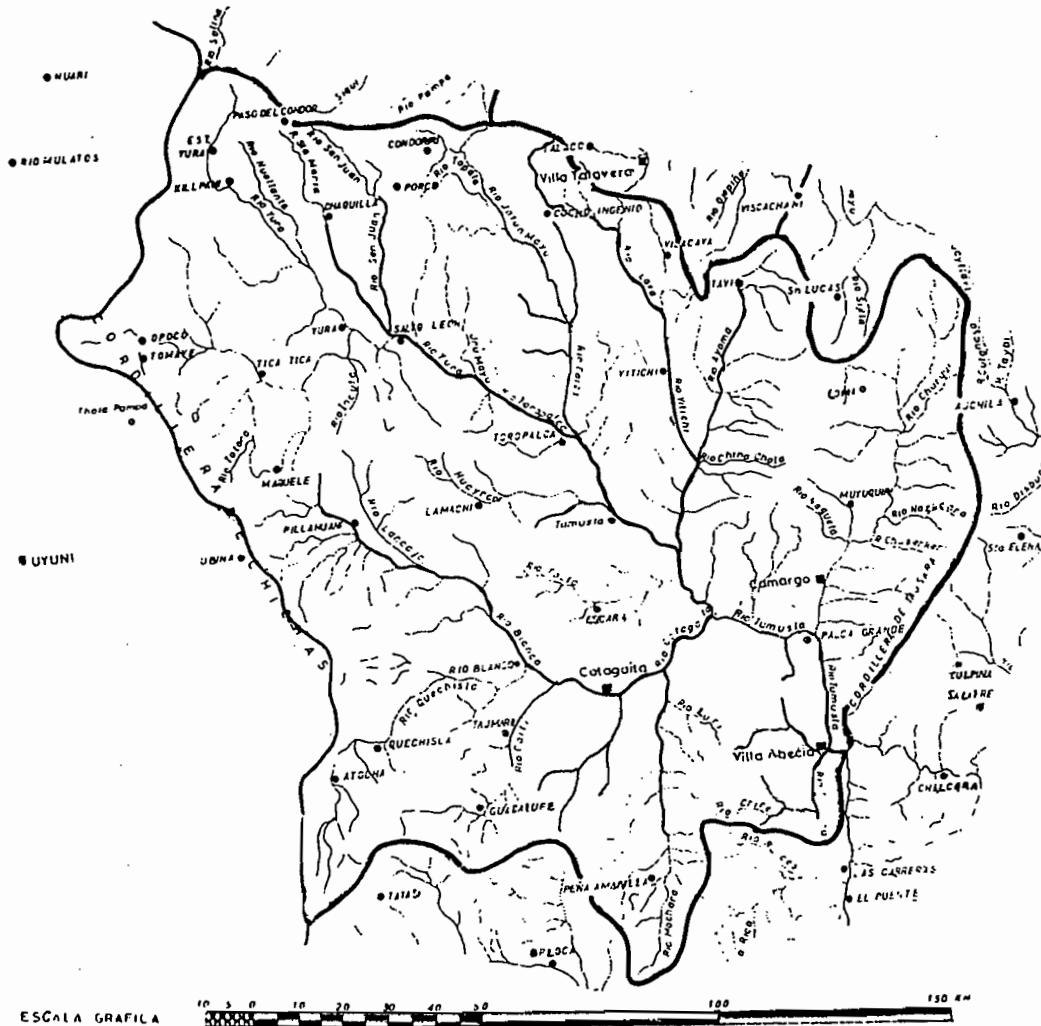
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{11650}{4 \times 523} = 5.56$$

E_m : *Extensión media del escurrimiento superficial*

$$I_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000 \times L_p} = \frac{340 - 230}{1000 \times 172} = 6.39 \times 10^{-3}$$

I_r : *Pendiente media del río*

Subcuenca Rio TUMUSLA



P = 700 km Perímetro de la cuenca
 A = 21 096 km² Área de la cuenca
 L = 2 359 km Longitud de los ríos de la subcuenca
 L_p = 218 km Longitud del río principal

H_{max} = 4 500 msnm Altitud máxima del río
 H_{min} = 2 490 msnm Altitud mínima del río

$$I_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 700}{\sqrt{21\,096}} = 1.35$$

I_c : Índice de compacidad

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{2\,359}{21\,096} = 0.111$$

D_d : Densidad de drenaje

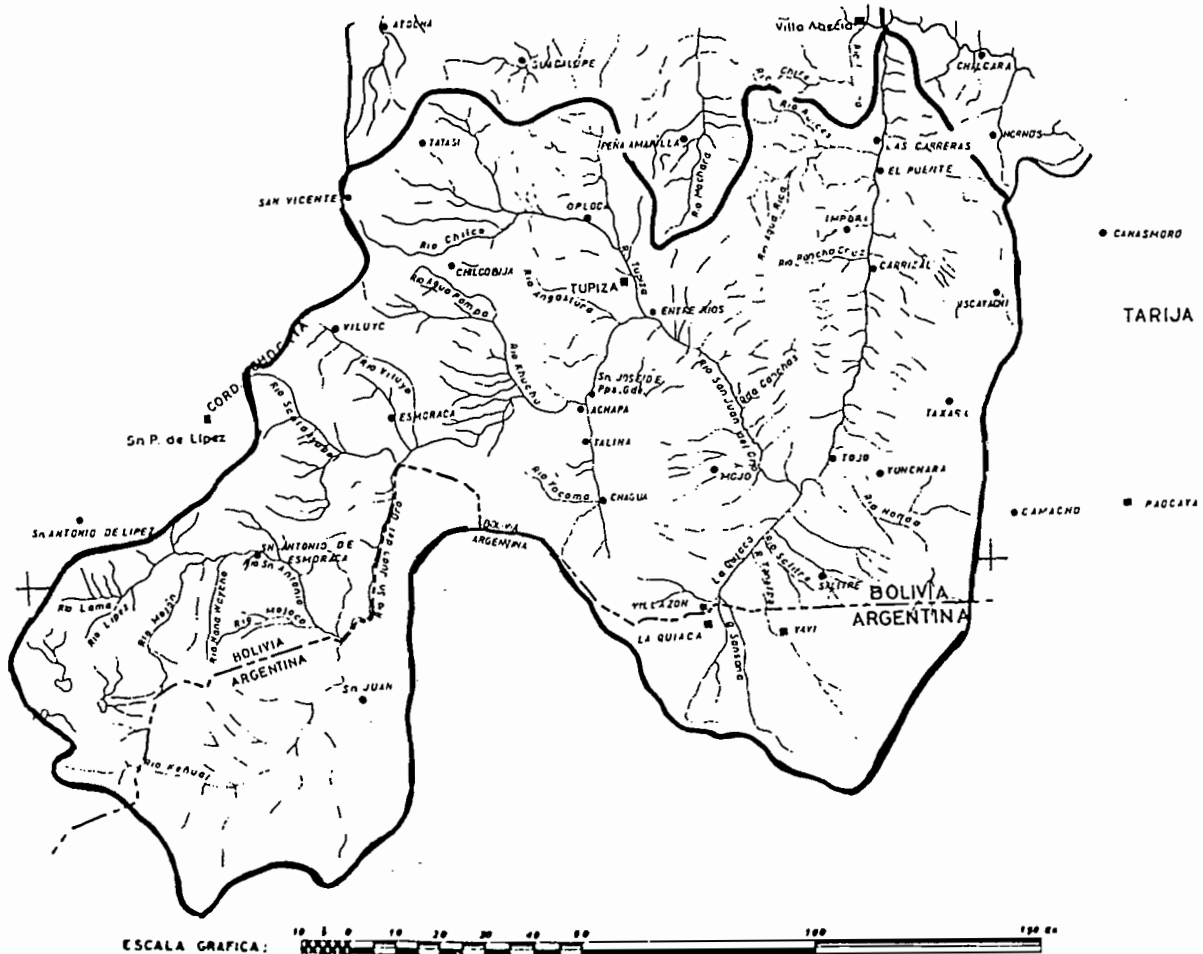
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{21\,096}{4 \times 2\,359} = 2.24$$

E_m : Extensión media del escurrimiento superficial

$$I_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000 \times L_p} = \frac{4500 - 2490}{1000 \times 218} = 9.22 \times 10^{-3}$$

I_r : Pendiente media del río

Subcuenca Rio SAN JUAN DEL ORO



$P = 842$ km *Perímetro de la cuenca*
 $A = 21\ 655$ km² *Area de la cuenca*
 $L = 2\ 771$ km *Longitud de los ríos de la subcuenca*
 $L_p = 340$ km *Longitud del río principal*

$H_{max} = 5\ 000$ msnm *Altitud máxima del río*
 $H_{min} = 2\ 200$ msnm *Altitud mínima del río*

$$I_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 842}{\sqrt{21\ 655}} = 1.60$$

I_c : *Índice de compacidad*

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{2\ 771}{21\ 655} = 0.13$$

D_d : *Densidad de drenaje*

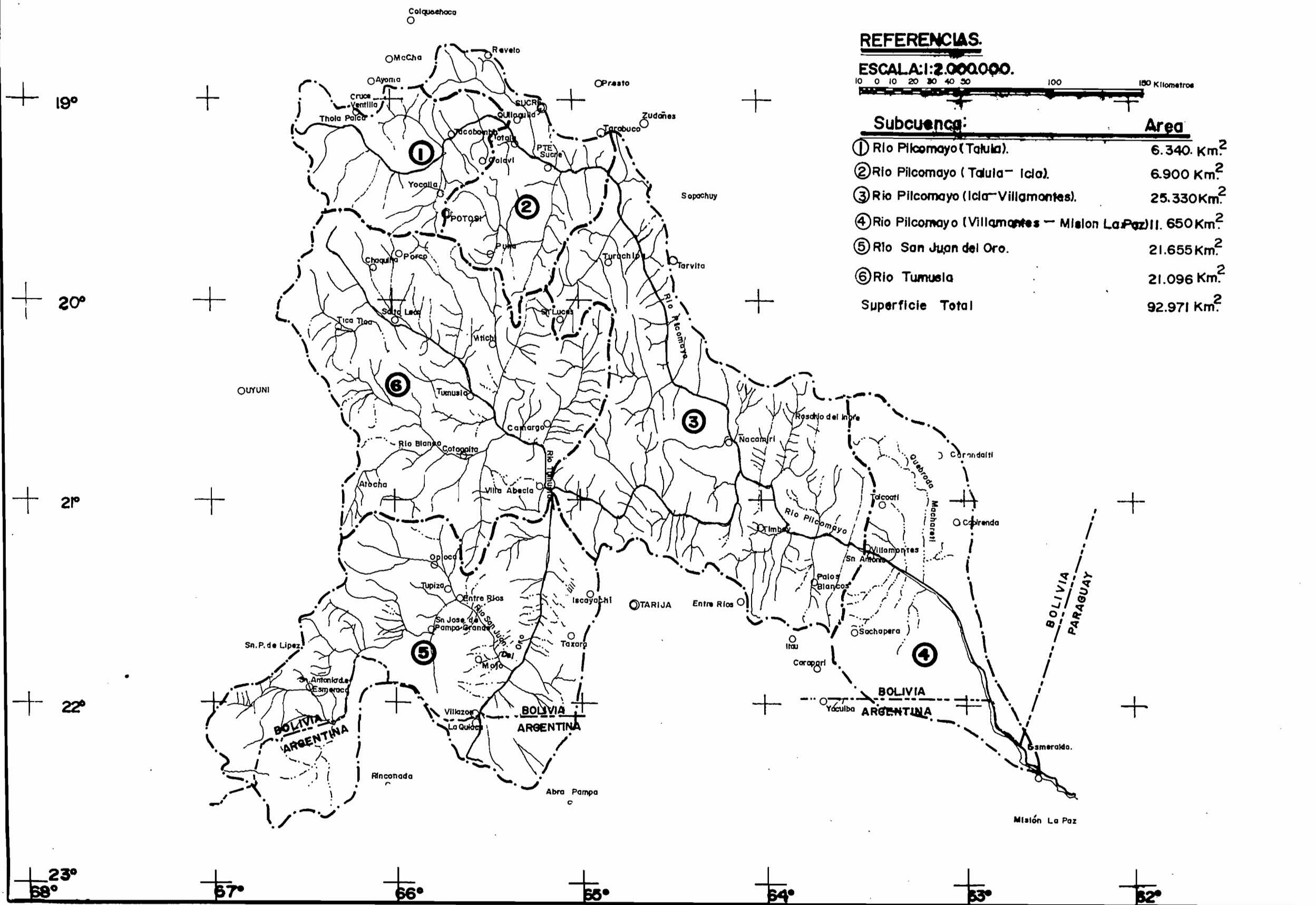
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{21\ 655}{4 \times 2\ 771} = 1.95$$

E_m : *Extensión media del escurrimiento superficial*

$$I_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000 \times L_p} = \frac{5000 - 2200}{1000 \times 340} = 8.235 \times 10^{-3}$$

I_r : *Pendiente media del río*

Cuenca del Rio Pilcomayo



REFERENCIAS.

ESCALA: 1:2.000.000.

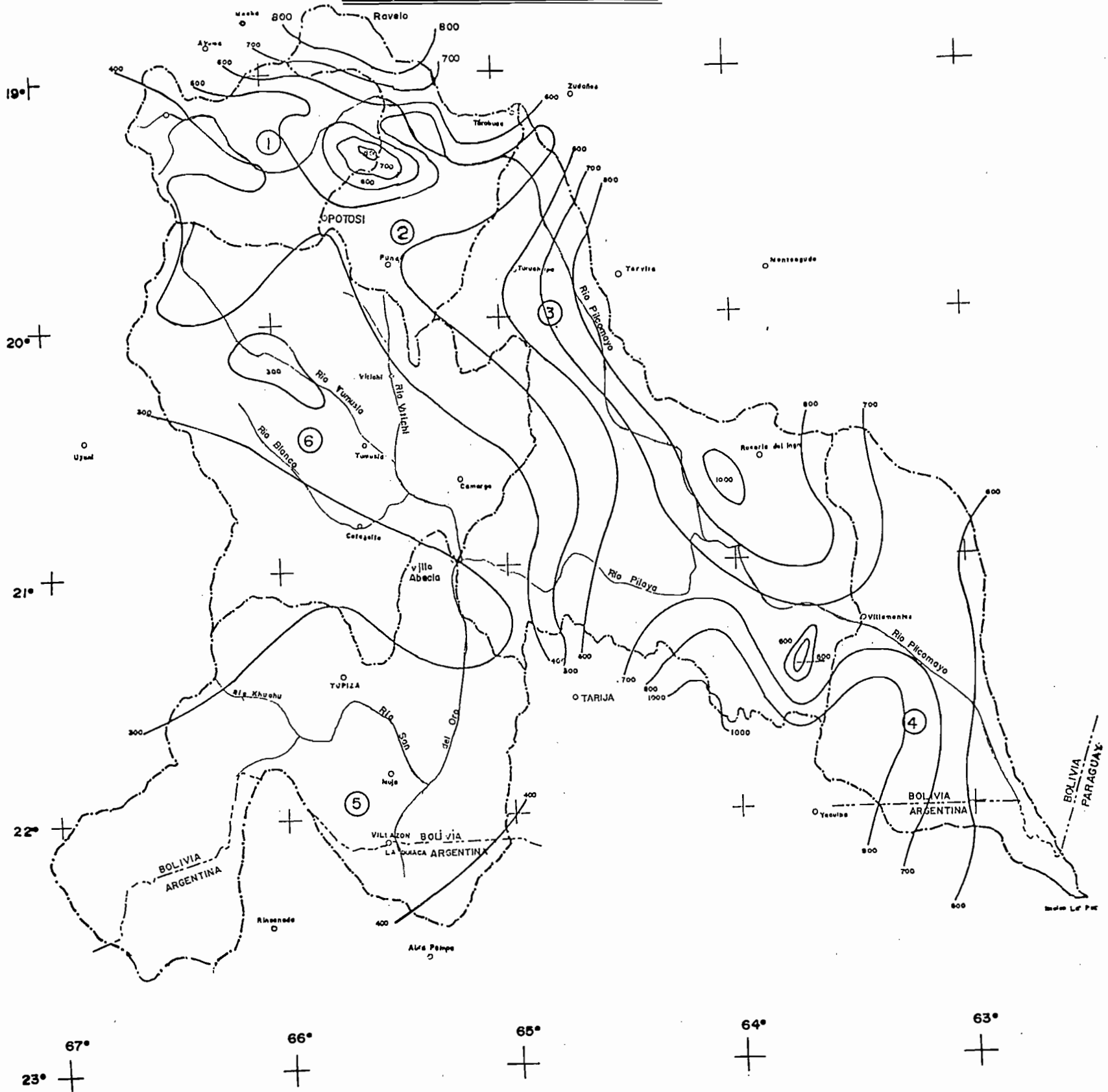


Subcuenca:	Area
① Rio Pilcomayo (Tatula).	6.340 Km. ²
② Rio Pilcomayo (Tatula - Icla).	6.900 Km. ²
③ Rio Pilcomayo (Icla - Villamontes).	25.330 Km. ²
④ Rio Pilcomayo (Villamontes - Misión La Paz) II.	6.650 Km. ²
⑤ Rio San Juan del Oro.	21.655 Km. ²
⑥ Rio Tumusla	21.096 Km. ²
Superficie Total	92.971 Km.²

Cuenca del Rio Pilcomayo

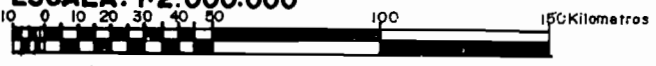
Plano de Isoyetas.

Periodo (1968-1982).



Referencias

ESCALA: 1:2.000.000



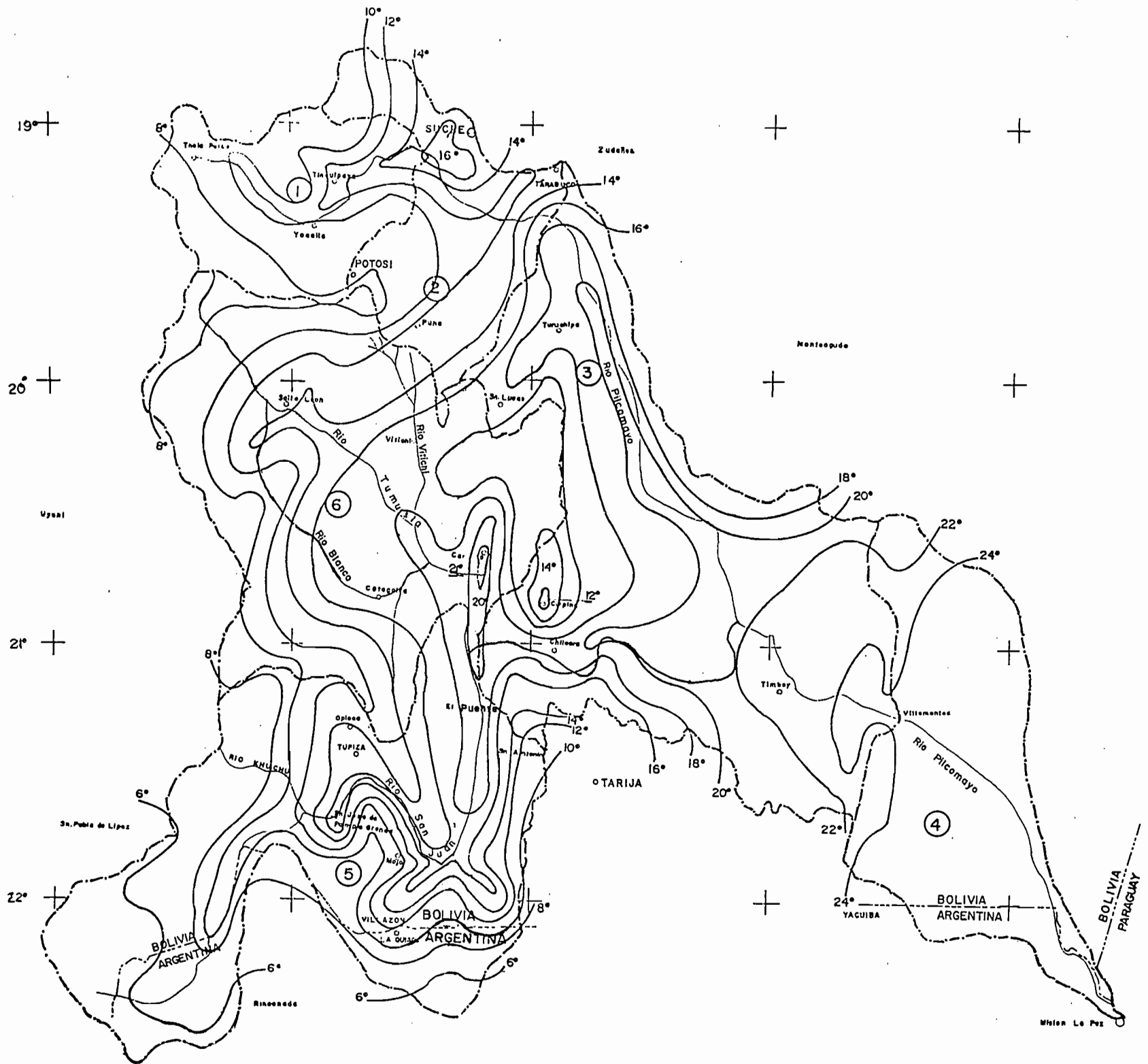
Subcuenca	Area	
① Rio Pilcomayo (Talula).	6.340	Km ²
② Rio Pilcomayo (Talula-Icla).	6.900	Km ²
③ Rio Pilcomayo (Icla-Villamontes).	25.330	Km ²
④ Rio Pilcomayo (Villamontes-Misión La Paz) II.	650	Km ²
⑤ Rio San Juan del Oro	21.655	Km ²
⑥ Rio Tumusla	21.096	Km ²
Superficie Total	92.971	Km²

NOTA: El plano tiene una reducción del 10% del tamaño original.

Cuenca del Rio Pilcomayo

Plano de Isolneas de Temperaturas

Periodo (1968-1982).



Referencias

ESCALA: 1:2.000.000



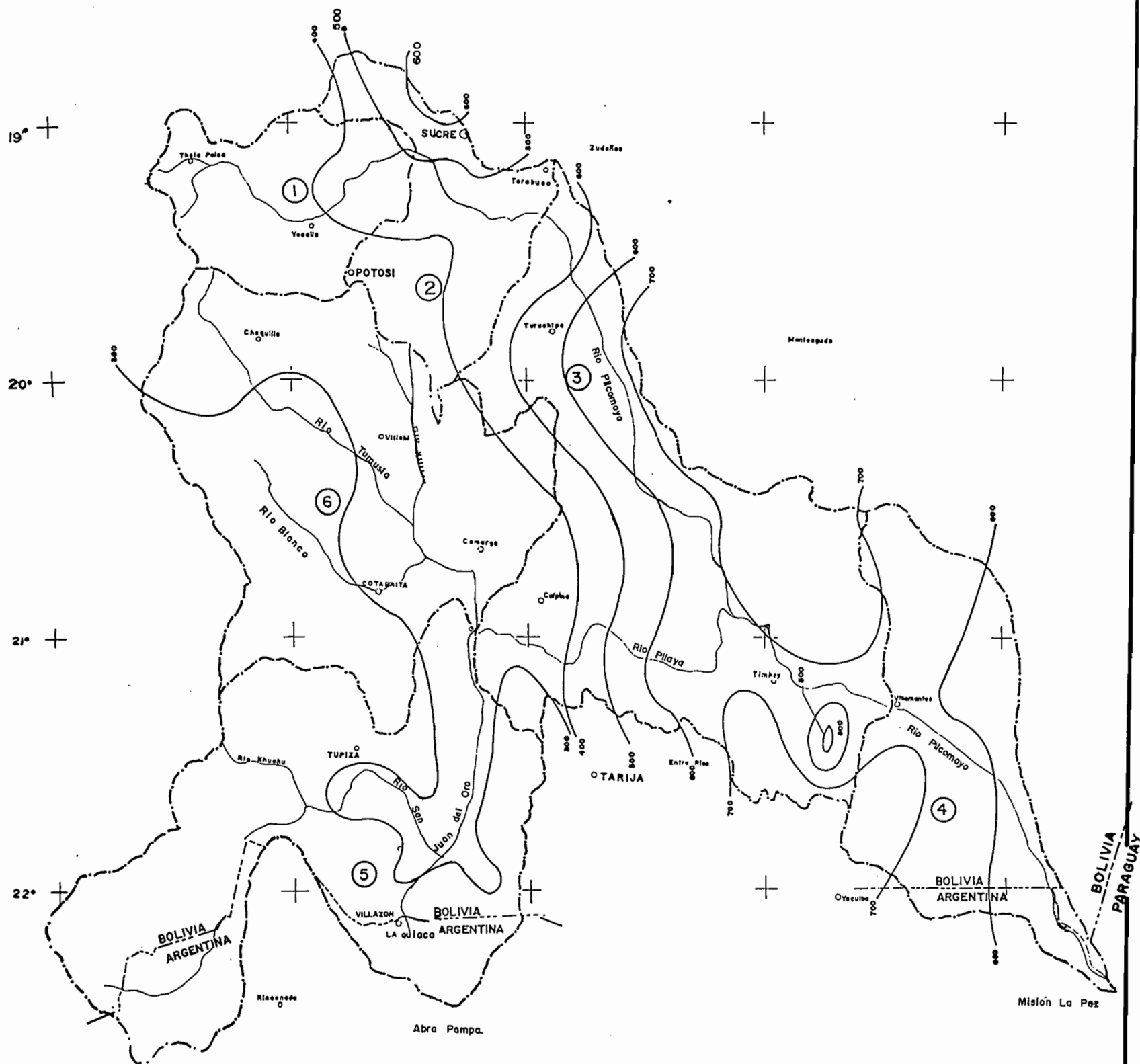
Subcuenca

Subcuenca	Area Km ²
1) Rio Pilcomayo (Talula).	6.340
2) Rio Pilcomayo (Talula-Ica)	6.900
3) Rio Pilcomayo (Ica-Villamontes).	25.330
4) Rio Pilcomayo (Villamontes-Mision La Paz)	11.680
5) Rio San Juan del Oro	21.655
6) Rio Tumusia	21.096
Superficie Total	92.971

Cuenca del Rio Pilcomayo

Plano de Isolineas de Evatranspiracion

Periodo (1968-1982).



Referencias

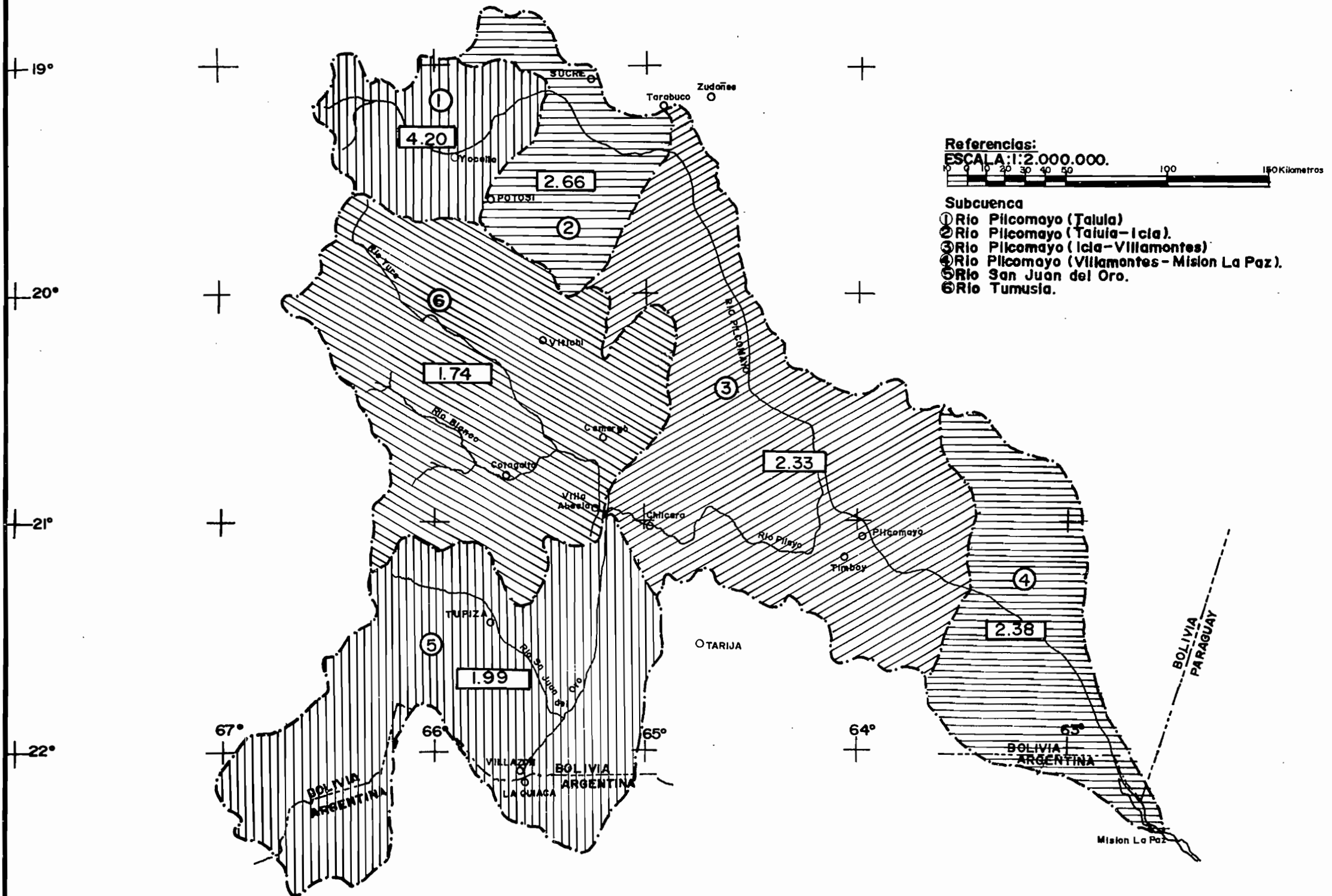
ESCALA: 1:2.000.000



Subcuenca

Subcuenca	Area	Km ²
① Rio Pilcomayo (Talula).	6.340	
② Rio Pilcomayo (Talula-Icla).	6.900	
③ Rio Pilcomayo (Icla-Villamontes).	25.330	
④ Rio Pilcomayo (Villamontes-Mision La Paz).	11.650	
⑤ Rio San Juan del Oro	21.655	
⑥ Rio Tumusia	21.096	
Superficie Total	92.971	

CUENCA DEL RIO PILCOMAYO MAPA DE CAUDALES ESPECIFICOS



Bibliografía

1. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia - *Ismael Montes de Oca* - La Paz 1982
2. Estudios Hidrológicos de la Cuenca del Río Pilcomayo - *Gregorio Ortega V.-Cochabamba, ENDE, 1973*
3. Hidrología Subterránea - *E. Custodio - M. Llamas*
4. Hidrología para Ingenieros - *R. Linsley - Kohler y Paulus - McGraw Hill 1978*
5. Tratado de Hidrología Aplicada- *G. Remenieras- ETA 1980*
6. Mapa Ecológico de Bolivia - *Ministerio de Asuntos Campesinos-1981*
7. Manual de Hidrología Tomo I. Principios Básicos en Hidrología-*Instituto de Hidrología Rafael Heras-España - 1975*
8. Hidrología y Recursos Hidráulicos Tomo I - II.-*Instituto de Hidrología - Rafael Heras España - 1981*
9. Guía de Prácticas Hidrometereológicas - *OMM N° 168 TP 82 1970*
10. Hidrología Moderna - *Raphael Katzman - CECSA - 1975*
11. Presas de Embalse Tomo I - *Henry Varlet - Interciencia - Madrid 1971*
12. Estadística y Probabilidades- *Taro Yamane - LIMUSA -1979*
13. Algebra Lineal y Teoría Matricial- *Howard Anton- LIMUSA- 1981*
14. Estudios Sobre el Río Pilcomayo- *Alejandro Volpi - Min. RREE Argentina -1941*
15. Estadística - *Serie Schaum - Mc Graw Hill -1982*
16. Guía Metológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur - *UNESCO ROSTLAC 1983*