

Doc n° = 11

ORSTOM

IHH-UMSA

PHICAB

SENAMHI

CONAPHI

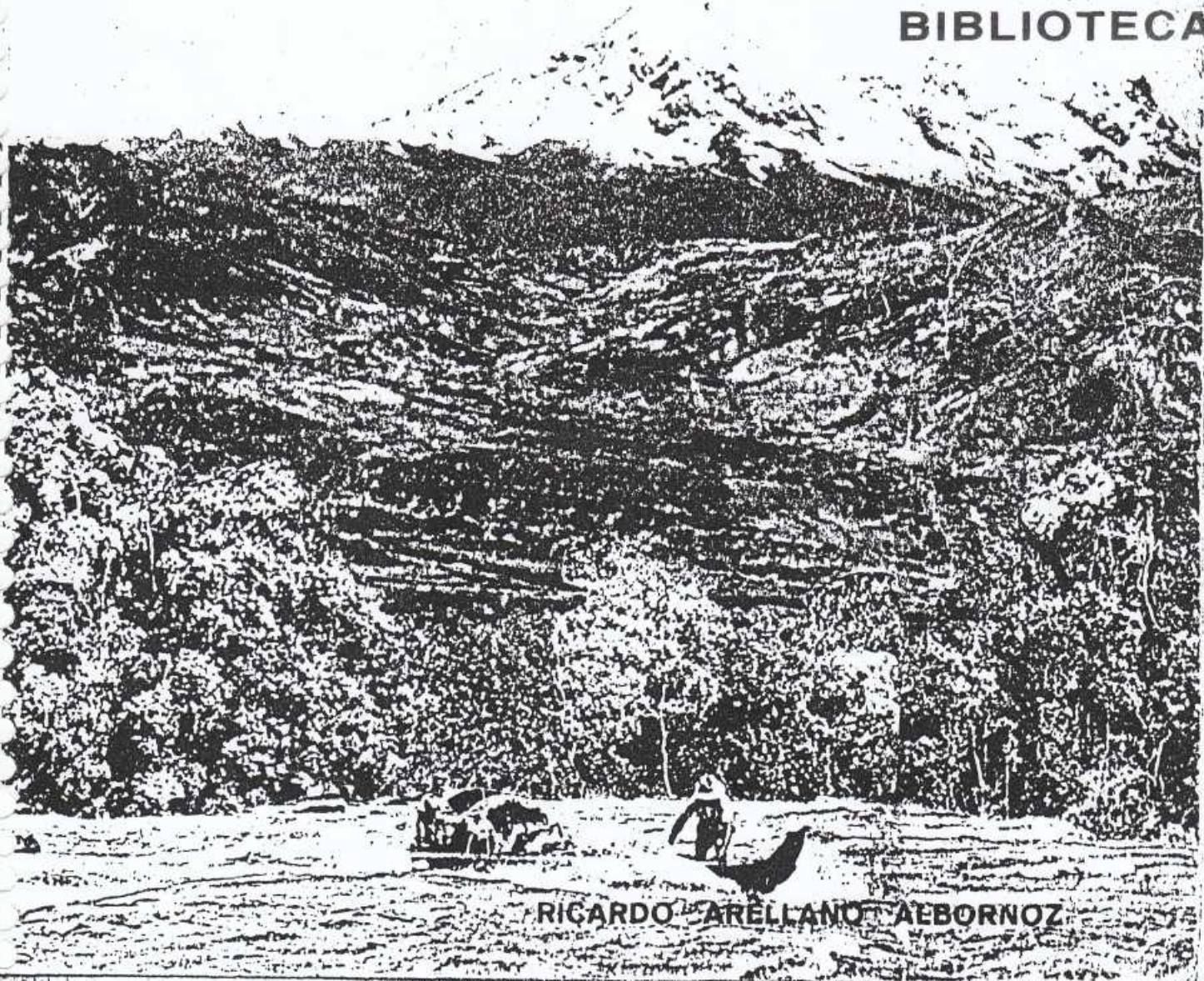


# BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO

## PILCOMAYO

RIO DE LA PLATA - BOLIVIA

Proyecto de gestión  
Integrada y Plan  
Maestro de la Cuenca  
del Rio Pilcomayo  
**BIBLIOTECA**



RICARDO ARELLANO AEBORNOZ

HH~077

ORSTOM

IHH - UMSA

PHICAB

SENAMHI

CONAFI

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL  
RIO PILCOMAYO

*Autor : Ricardo Arellano Albornóz*

CO-DIRECTOR PHICAB	Michel-Alain Roche
DIRECTOR I.H.H	Roger Matlos 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 (SENAH) y el Instituto Francés de Investigaciones Científicas para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), como parte del Balance Hídrico de Bolivia, que se realiza de acuerdo a la metodología propuesta por UNESCO/ROSLAC 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 regional, en el Continente.

La Paz, 1988

BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

CAPITULO I

INTRODUCCION

	<i>Página</i>
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. Presentación 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

- 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*

## 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 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

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<sub>sl</sub> = Entrada de agua superficial a la cuenca o cuerpo de agua
- Q<sub>ul</sub> = Entrada de agua subterránea a la cuenca o cuerpo de agua
- E = Evaporación
- ET = Evapotranspiración
- Q<sub>s0</sub> = Salida de agua superficial
- Q<sub>u0</sub> = 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<sub>L</sub> = Variación del almacenamiento en lagos y embalses
- ΔS<sub>ch</sub> = Variación del almacenamiento en canales de los ríos
- ΔS<sub>gl</sub> = Variación del almacenamiento en glaciares
- ΔS<sub>sn</sub> = 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 (hm<sup>3</sup>), o en forma de flujo (m<sup>3</sup>/s).

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

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

donde:

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

áreas e:

1.3 AM

1.3.1 I

Coordil  
del Río  
descie  
4 500  
Villamc  
cipal y  
msnm

activa,  
Río M:  
los Sal  
la Cue  
del Río  
Río de  
Río P.  
sistem

imbrife  
321 K  
viano,  
en la  
fracc  
peque  
Granc  
Yavi.

Norte  
mand  
Chac  
Desde  
hasta

< ETR >= Evapotranspiración media del periodo y área  
 $\mu$  = Término de discrepancia

Esta ecuación es aplicable si los cambios de almacenamiento en un periodo 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.

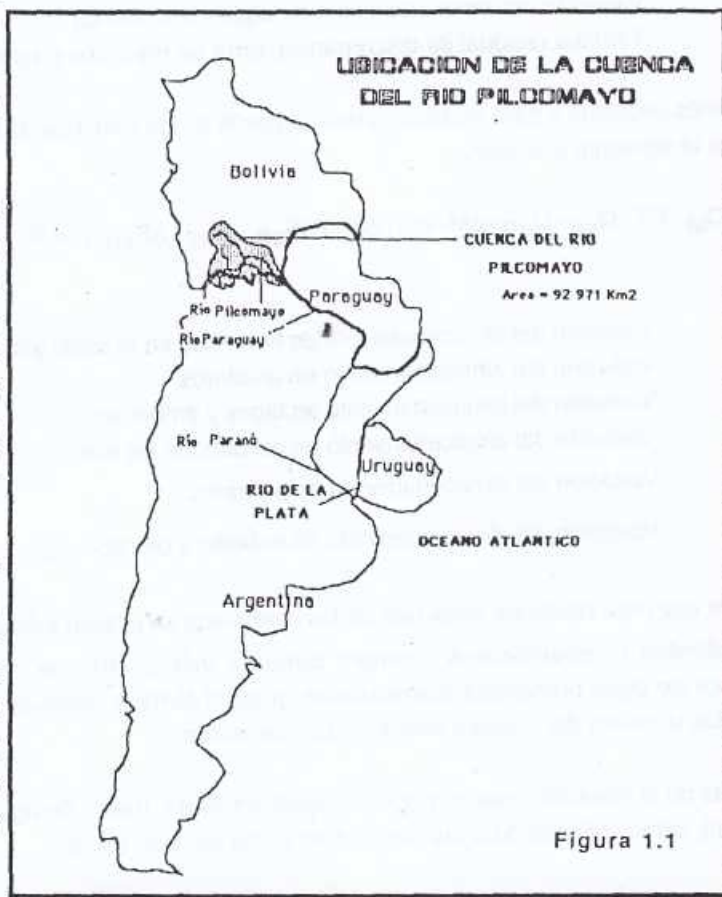
### 1.3 AMBITO GEOGRAFICO .-

#### 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 descende 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 Km<sup>2</sup>, casi totalmente en territorio boliviano, de esta superficie están ubicados en la República Argentina una pequeña fracción de 4 361 Km<sup>2</sup>, como una pequeña cuenca formada por los Ríos Grande de San Juan, La Quiaca, Yanalpa y Yavi.



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.



A partir del paralelo 22°, 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 recorrido desde sus nacientes 655 Km.

Desde el hito Tripartito Esmeralda, hasta su desembocadura en el Río Paraguay, en una longitud proximada 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 Paraguay una superficie de 1215 Km<sup>2</sup>. (ver Figuras 1.1 y 1.2). En resumen el Río Pilcomayo recorre desde sus nacientes una distancia de 695 Km.

### 3.2. División de Unidades Hidrológicas

En función de la distribución de la Red de Estaciones en toda la cuenca y de las simultaneidad de la formación 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 Km<sup>2</sup>, 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 Km<sup>2</sup>. 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 Km<sup>2</sup>.

#### d) Pilcomayo (Villamontes - Misión La Paz):

Esta sub-cuenca es la que recibe todo el aporte de las demás sub-cuencas del Río Pilcomayo y consiguente 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 Km<sup>2</sup>.

#### e) Tumusla:

Esta sub-cuenca se encuentra en la parte occidental media de toda la cuenca, recibe el aporte un área de 21 096 Km<sup>2</sup>. Es una cuenca sin control fluviométrico. El punto de control recomendado se sitúa a aproximadamente 4 Km de la población de Villa Abecia.

# CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

## RECOMENDACION DE DIVISION DE UNIDADES HIDROLOGICAS

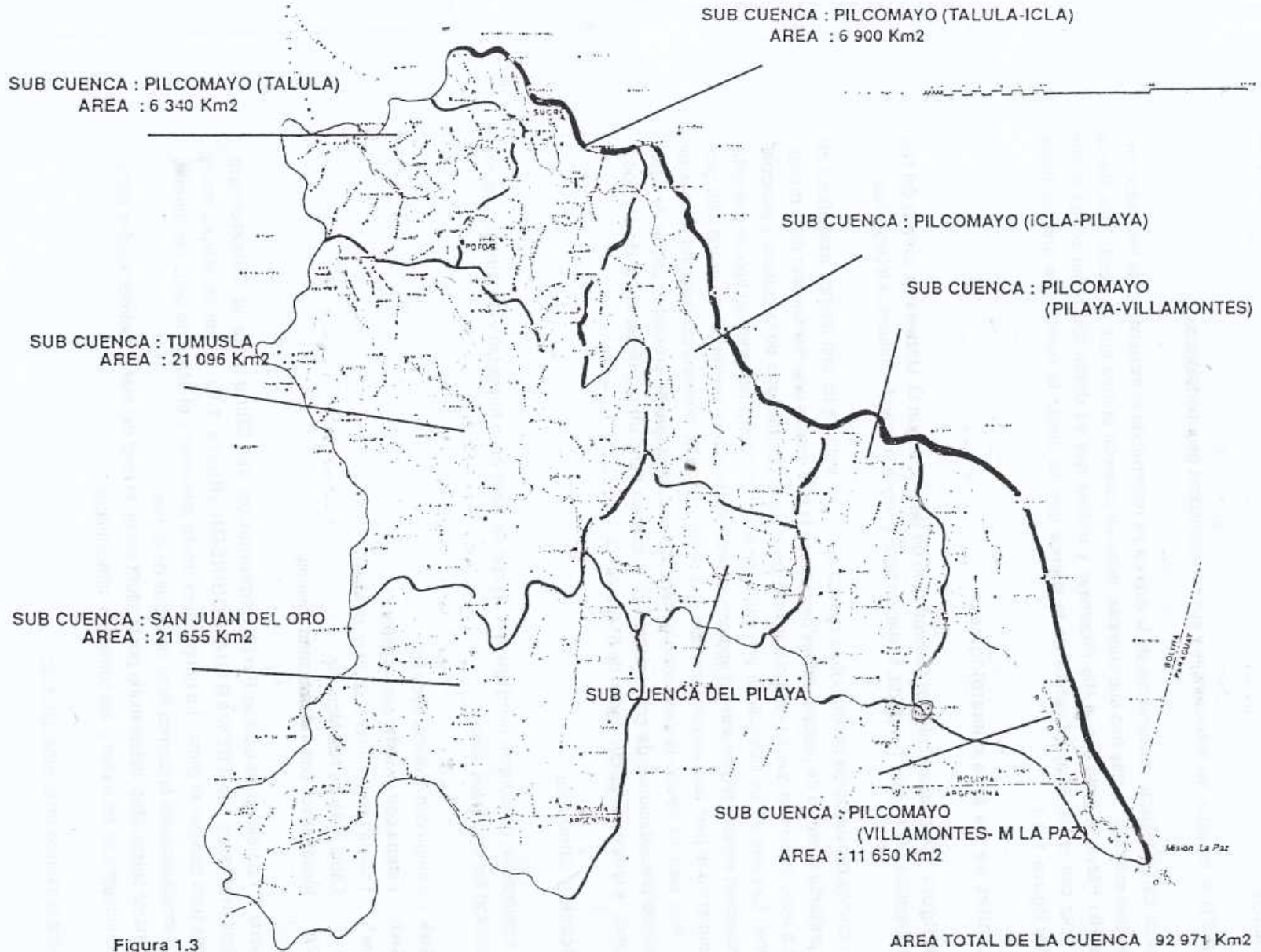


Figura 1.3

de l  
varia  
de ar  
el so

la cu

1.3.:

su m.  
tació  
ment  
ción  
eral,  
baja  
presi  
ción

Pilcoi

Pilcor  
Villan  
cas p  
hasta  
Pilcor

655 K  
lación

### 1) San Juan del Oro:

Esta sub-cuenca se encuentra en la parte meridional occidental de la cuenca, controla un área de 21 655 Km<sup>2</sup>. Es una cuenca sin control pluviométrico. Su punto de cierre se encuentra a 4 Km de la población de Villa Abecia.

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 Abecia 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 :

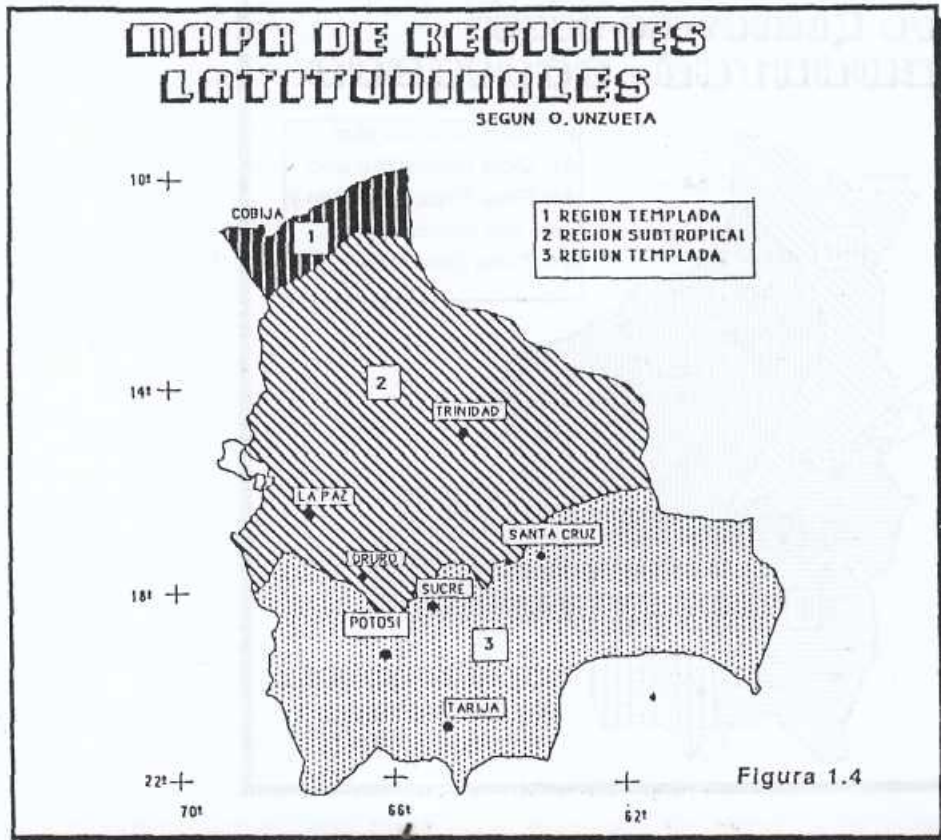
- BSwk : Estepa con invierno seco frío
- BSwh : Estepa con invierno seco caliente
- BSwh' : Estepa con invierno seco muy caliente
- EB : Clima Polar de Alta Montaña
- CWA : Mesotérmico con invierno seco caliente

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:

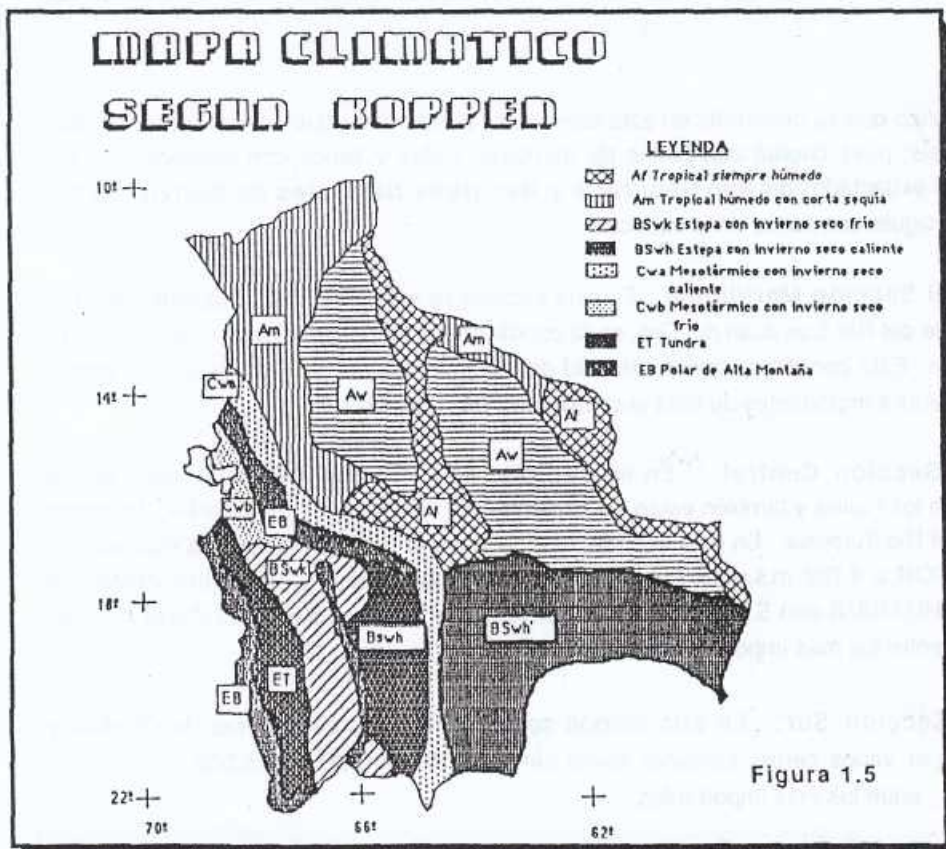
- El clima de tierras altas determinado por la altura sobre el nivel del mar y factores locales como el soleamiento, la orientación de los valles y las corrientes atmosféricas.
- El clima semi-árido en la zona del chaco.

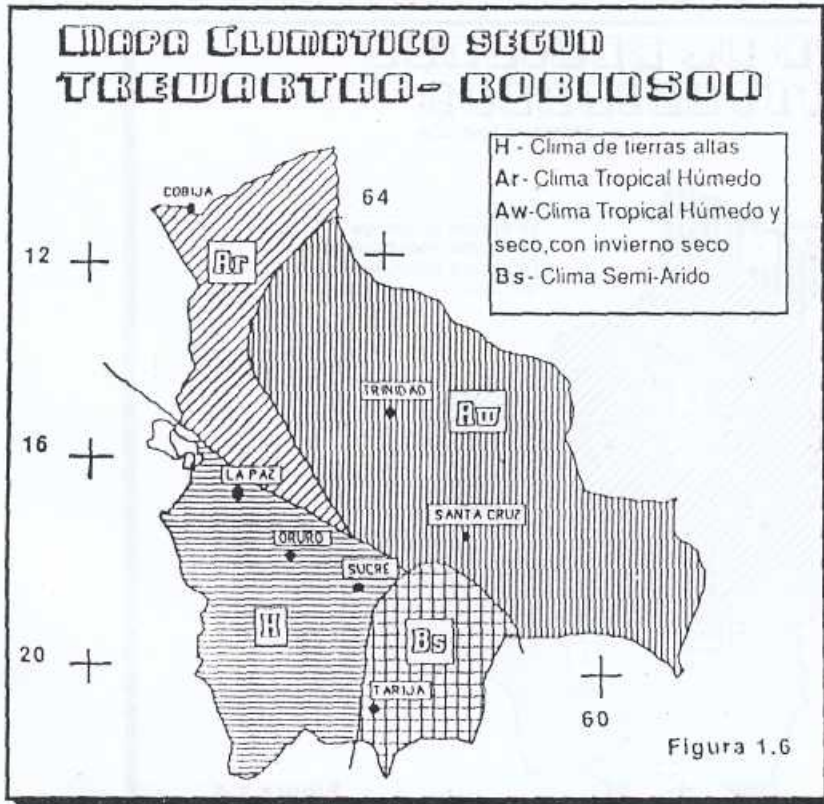
# MAPA DE REGIONES LATITUDINALES

SEGUN O. UNZUETA



# MAPA CLIMATICO SEGUN KOPPEN





4 Características de la cuenca

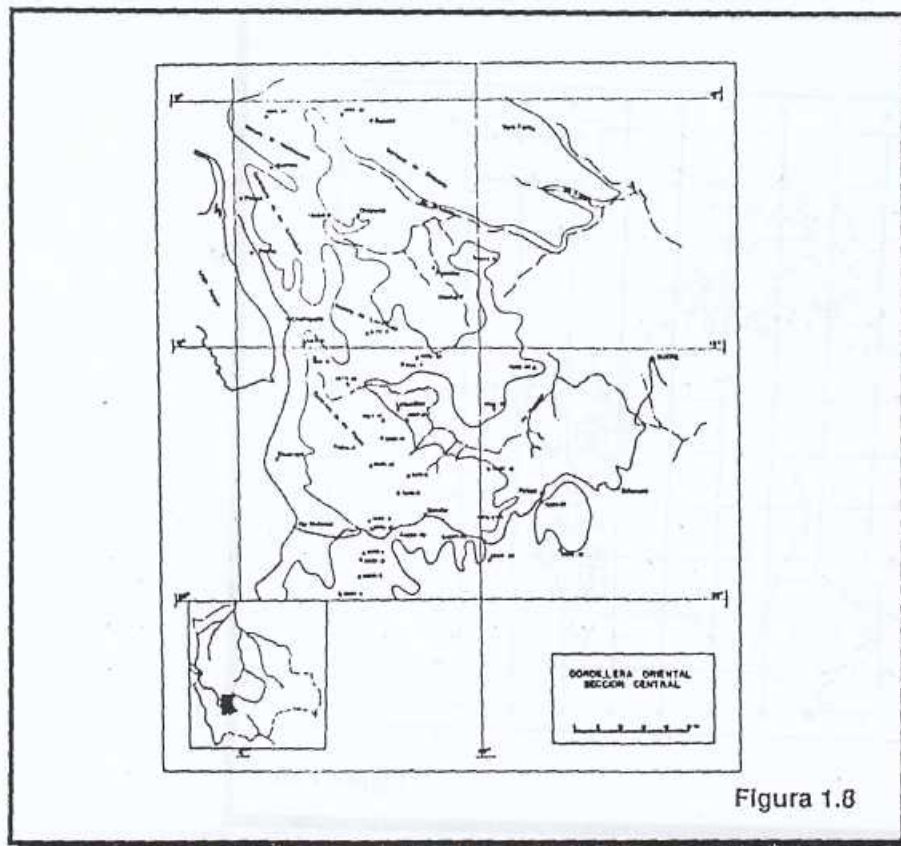
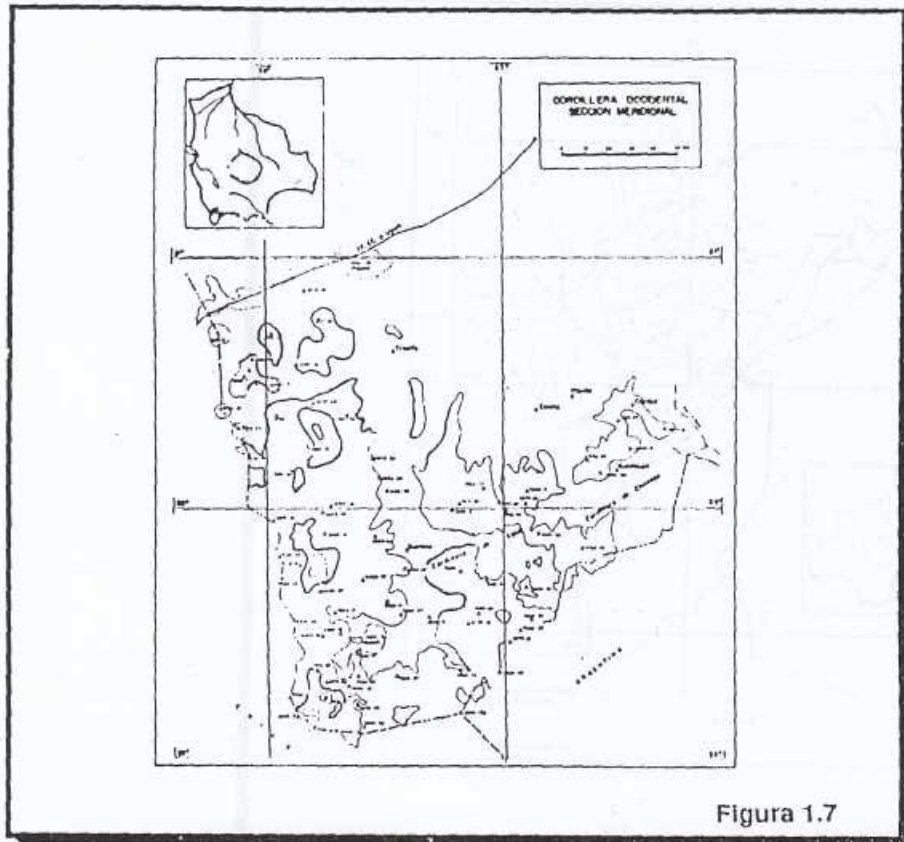
4.1 Topografía

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 pasos. De acuerdo a datos extractados del libro *Geografía y Recursos Naturales de Bolivia* del Ing. Carlos de Oca se tiene las siguientes zonas en la cuenca:

**Cordillera Occidental Sección Meridional :** En esta sección se encuentran las nacientes del Río de San Juan afluente del Río San Juan del Oro, en la cordillera de Chocaya: el pico más elevado es el Condor 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)

**Cordillera Oriental Sección Central :** En esta sección de la Cordillera Oriental, nace el Río Muyo en la Cordillera de los Frailes y también están las nacientes del Río Yuca afluente del Río Tocopalpa su vez es afluente del Río Tumusla. En esta sección, se encuentra la estación ferroviaria más alta del país: PASO DEL CONDOR a 4.782 m.s.n.m.; también se destacan las cumbres KHORIHUARINI con 5.386 m.s.n.m., CHOQUE HUARANI con 5.388 y Condor Chucuña con 4.290 m.s.n.m., el Cerro Rico de Tarija, con 4.824 m.s.n.m. entre los más importantes. (Ver figura 1.8)

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



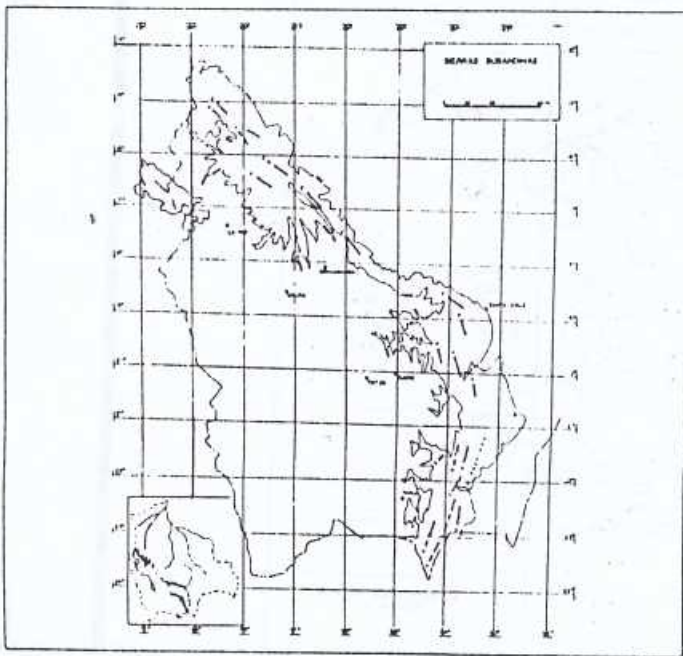
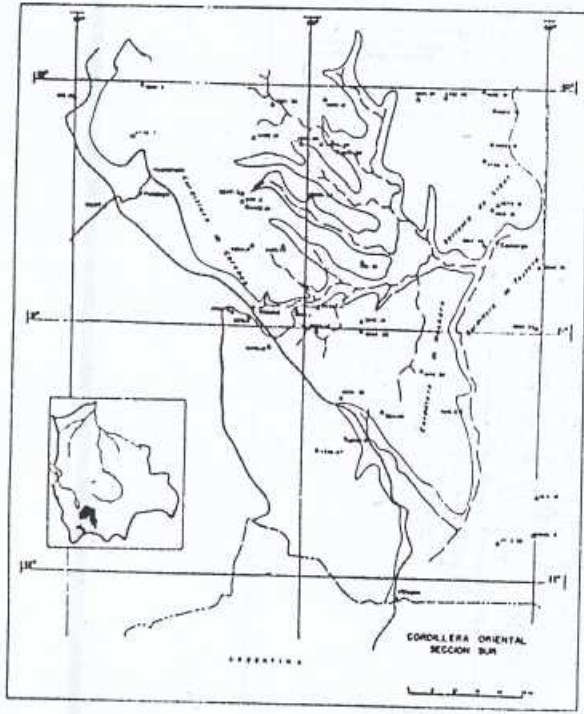
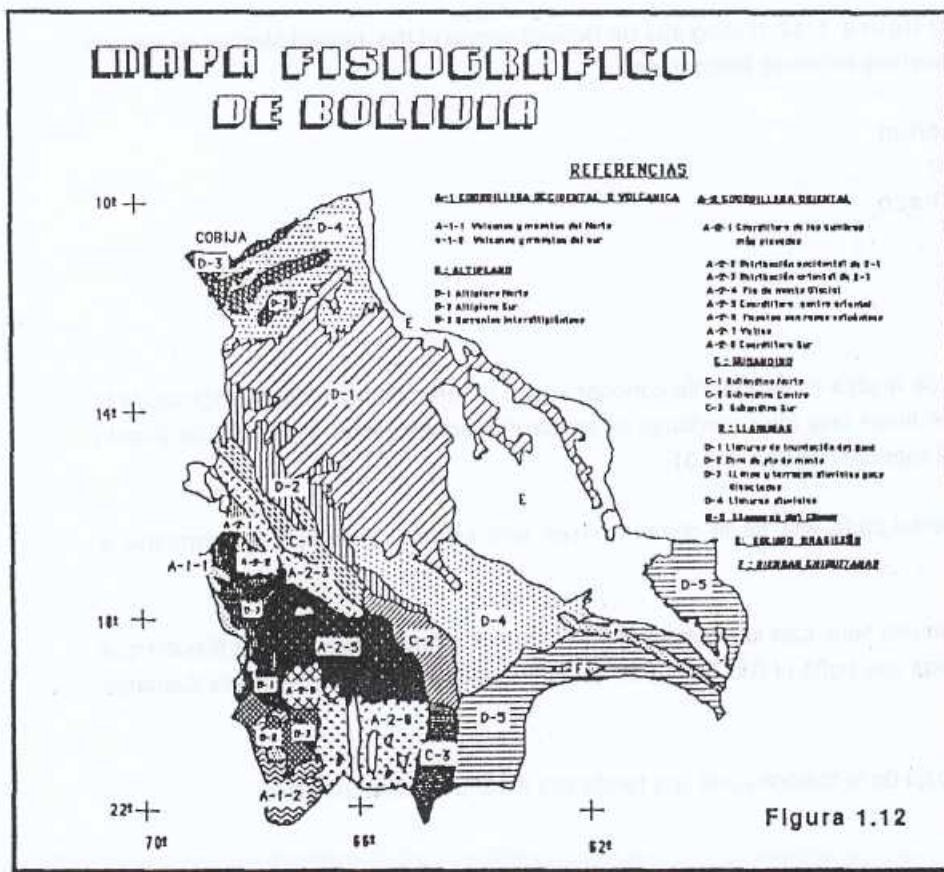
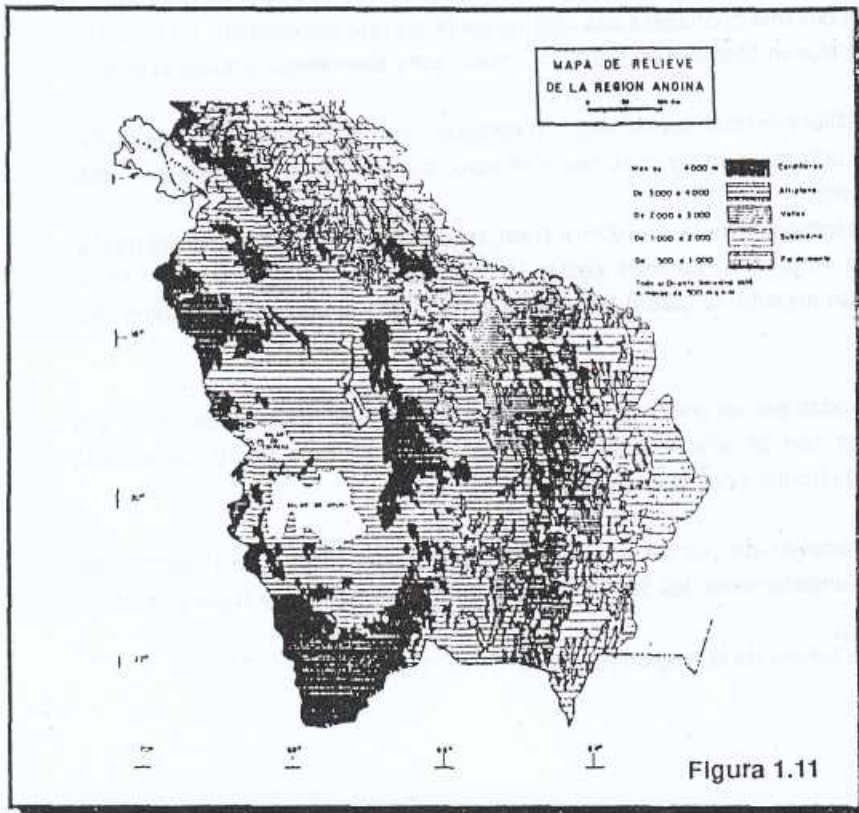


Figura 1.10



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).

**Sierres Subandinas:** Están formadas por un conjunto de Serranias 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 Guarabe, 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)

### 3.4.2 Fisiografía

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

- Cordillera Oriental
- Sub-Andino Sur
- Llanuras del Chaco

### 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 Medina e Ing. Rosa Viparelli de Zahender. (Figura 1.13).

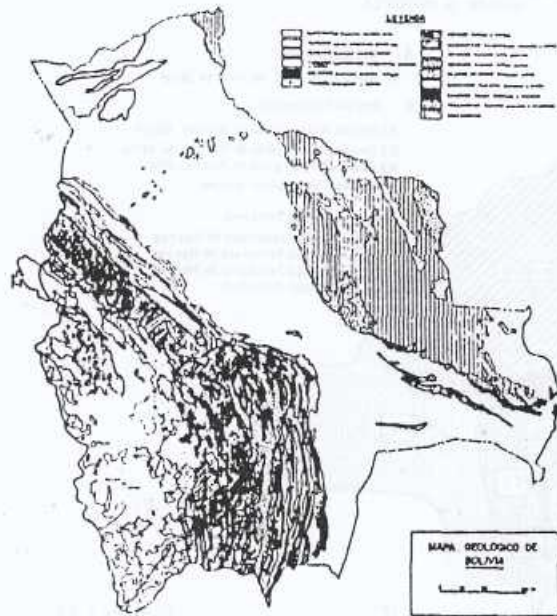
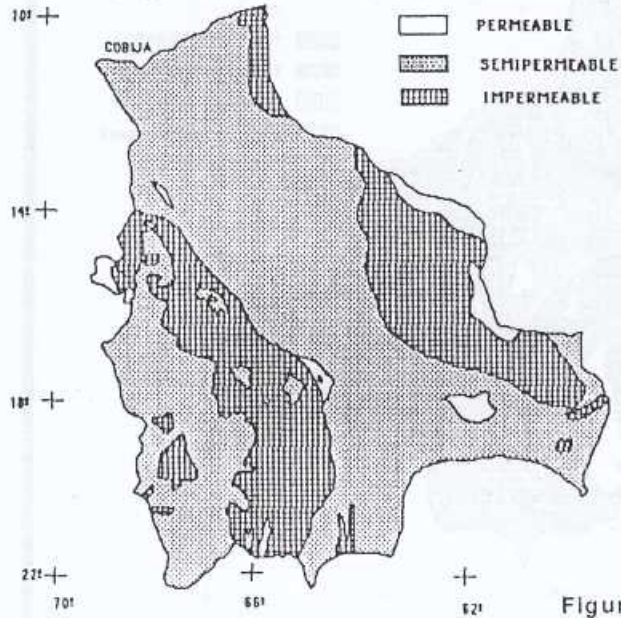
El sector Nor-occidental, parte alta de la cuenca posee una estructura de tipo Impermeable y semi-impermeable.

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 Agrado  
Ing. R. Yiparelli de Zebender



# MAPA DE COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

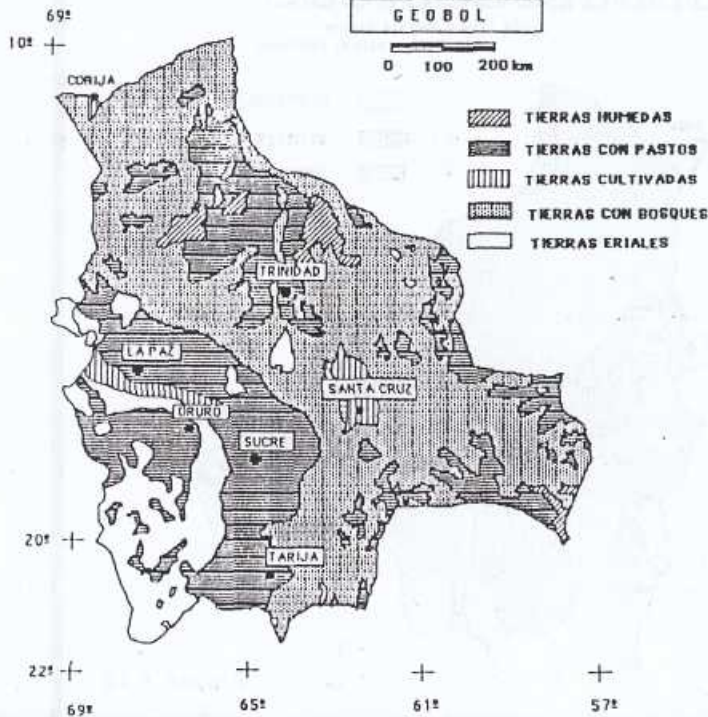


Figura 1.15

# MAPA ECOLOGICO GENERALIZADO

SEGUN O. UNZUETA

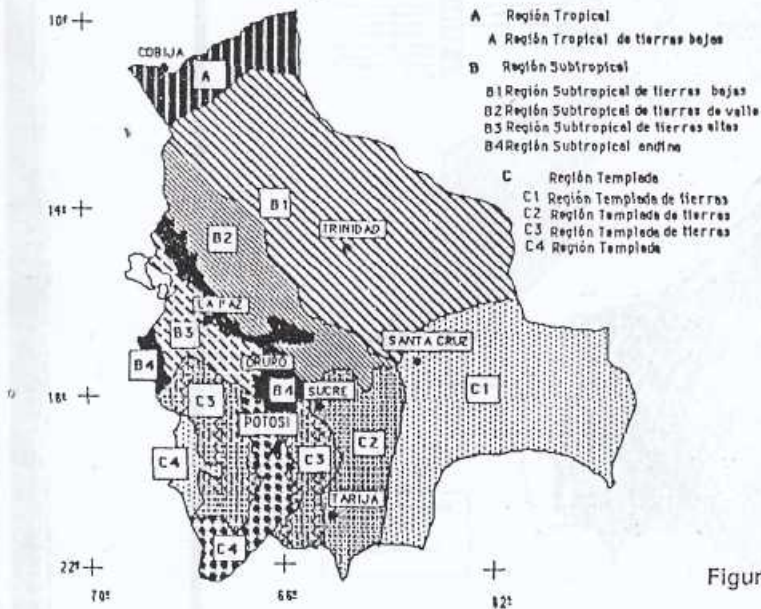


Figura 1.16

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, Taiguall, 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 alliplánica en el Departamento de Potosí se cría ganado Canélido: alpaca, llamas, cuya actividad se orienta a la utilización del 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 mormones 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 2.1  
ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (TALULA)

CODIGO	NOMBRE	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B5DBP101	TIOLA 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	AJAYARA	P103PV	3440.0	19 05	65 58	PVM	64/82
B7DBP104	TACORAMBA	P104PV	3060.0	19 12	65 43	PVM	64/82
B7DBP105	OCLAM	P105PV	3858.0	19 19	65 32	PVM	64/82
B7DBP106	SAJINAS DE YOCALLA	P106PV	3510.0	19 23	66 01	PVM	64/81
B7DBP107	YOCALLA	P107TP	3450.0	19 23	65 55	TP	44/82
B7DBP108	TIQUIPAYA	P108TP	3200.0	19 13	65 49	TP	64/82

SUB-CUENCA: RIO PILCOMAYO (TALULA-ICLA)

CODIGO	NOMBRE	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B3FBP201	VILLA GARCIA	P201PV	2740.0	19 05	65 28	PVM	62/74
B3FBP202	OULLA OULLA	P202PV	2840.0	19 05	65 22	PVM	62/82
B3FBP203	PUENTE (SUCRE)	P203PV	2222.0	19 21	65 10	PVM	73/82
B7DBP204	PAVELO	P204TP	3205.0	18 48	65 31	TP	45/82
B3FBP205	YUTALA	P205TP	2511.0	19 09	65 16	TP	46/82
B3FBP206	TALULA (X)	P206TP	2700.0	19 07	65 27	TP	63/82
B7FBP207	CHINOLI	P207TP	3450.0	19 38	65 22	TP	63/82
B3FBP208	TARWUCO	P208TP	3284.0	19 10	64 57	TP	43/82
B3FBP209	SUCRE SENAMHI	P209CO	2890.0	19 01	65 16	CO	43/82
B3FBP210	PIUNA	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	N° 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
B9FBP303	LEON CANCHAS	P303PV	2580.0	21 11	64 43	PVM	76/82
B9FBP304	SALADITO NORTE	P304PV	1000.0	21 18	64 07	PVM	77/82
B9FBP305	ALTO DE CAJAS	P305PV	2500.0	21 18	64 28	PVM	76/81
B3FBP306	SANTA ELENA	P306PV	2160.0	20 34	64 48	PVM	75/80
B3FBP307	POKSARU DEL SUR	P307PV	820.0	20 43	64 01	PVM	75/82
B3FBP308	NACAMINI	P308PV	860.0	20 43	64 01	PVM	75/82
B3FBP309	VIÑA OULMAIA	P309TP	2030.0	19 24	63 51	TP	77/82
B7FBP310	TURUCUIPA	P310TP	2360.0	19 49	64 56	TP	45/82
B3FBP311	CHICARAY	P311TP	3242.0	21 01	64 56	TP	73/82
B9FBP312	PUERTO MARGARITA	P312TP	560.0	21 01	63 48	TP	74/80
B3FBP313	SANLUZAS	P313TP	3055.0	20 06	65 08	TP	75/82
B3FBP314	CLAPIA	P314CO	2970.0	20 48	64 56	CO	74/82
B9DBP315	VILLAMONTES SENAMHI	P315CO	340.0	21 15	63 28	CO	43/84
B9DBP316	VILLAMONTES AASANA	P316SA	340.0	21 15	63 28	SA	44/82

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

CODIGO	NOMBRE	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B9DBP401	CAPINILLA	P401PV	390.0	21 06	63 00	PVM	75/82
B9DBP401	PAI MAIL GRANDE	P402PV	460.0	21 27	63 27	PVM	78/80
B9DBP403	PAPAMAL CHICO	P403PV	570.0	21 54	63 38	PVM	77/82
B9DBP404	ALGARIBOLLOS	P404PV	350.0	21 57	63 12	PVM	76/82
B9DBP404	ESMERALDA	P405PV	300.0	22 14	62 38	PVM	76/82
B9DBP405	CAPANDAITI	P406PV	260.0	20 43	62 52	PVM	76/82
B9DBP407	SACHAUFRA	P407PV	810.0	21 39	63 33	PVM	77/82
B9DBP408	SAN JUANITO	P408TP	400.0	21 26	63 13	TP	79/80

SUB-CUENCA: RIO TUMUSLA

CODIGO	NOMBRE	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
B7MBT01	POPO	T01PV	4050.0	19 49	66 00	PVM	67/73
B7MBT02	CHACULLA	T02PV	4000.0	19 51	66 08	PVM	67/82
B7MBT03	SALTO LEON	T03TP	4572.0	20 06	66 00	PVM	67/82
B7MBT04	LANDAYA	T04TP	3756.0	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	CAMAFSO	T08PV	2440.0	20 38	65 12	PVM	49/82
B3GBT09	VILLA ADECIA	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 39	TP	73/82
B7KBT12	VITICHI	T12TP	3020.0	20 12	65 29	TP	75/82

SUB-CUENCA: RIO SAN JUAN DEL ORO

CODIGO	NOMBRE	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
ABSJ001	LA GUANCA (ARG)	SJ001PV	3443.0	22 05	65 36	PVM	11/74
B9BBSJ01	COPACAYANA	SJ01PV	3650.0	21 51	63 04	PVM	65/81
B7DBSJ02	SN ANTONIO DE ESAO	SJ02PV	3700.0	21 44	66 20	PVM	76/81
B7MBSJ03	SN JOSE DE PAMPA GR	SJ03TP	3000.0	21 41	65 49	TP	43/82
B7JBSJ04	MOLLO	SJ04TP	3400.0	21 49	65 33	TP	43/82
B7JBSJ05	VILLAZON	SJ05TP	3443.0	22 05	65 36	TP	43/82
B9EBSJ06	EL PUENTE	SJ06TP	2230.0	21 15	65 16	TP	63/81
B7NBSJ07	TUPIZA	SJ07TP	2952.0	21 26	63 43	TP	43/82
B7NBSJ08	OPUCCA	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	N° IDENTIF	ALTITUD	LATITUD S	LONGITUD W	TIPO	SERVICIO
	TULLMA		2580.0	19 03	65 17	PVM	62/82
	YESERA 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	66/75
	COLORECHACA		4170.0	18 41	66 00	PVM	66/81
	QUIROCA		1880.0	18 26	65 13	PVM	64/80
	PRESTO		2460.0	18 56	64 56	PVM	68/80
	SOYACHUY		1950.0	19 30	64 30	PVM	67/81
	TARVITA		2248.0	19 50	64 32	PVM	67/81
	MONTEAJUDO		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
	ZUDAFES		2475.0	19 07	64 42	PVM	45/81
	SAN PABLO DE LIPEZ		4230.0	21 41	66 37	PVM	77/82
	UYUM		3660.0	20 27	66 49	PVM	43/82
	CAPAFARI		780.0	21 45	63 45	PVM	75/82
	YACUBA		643.0	22 05	63 42	TP	45/82
	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<sub>m</sub> = 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:

$\Delta P_C$  = error en la evaluación de la precipitación espacial.

$\Delta P$  = error en la medida de la precipitación puntual.

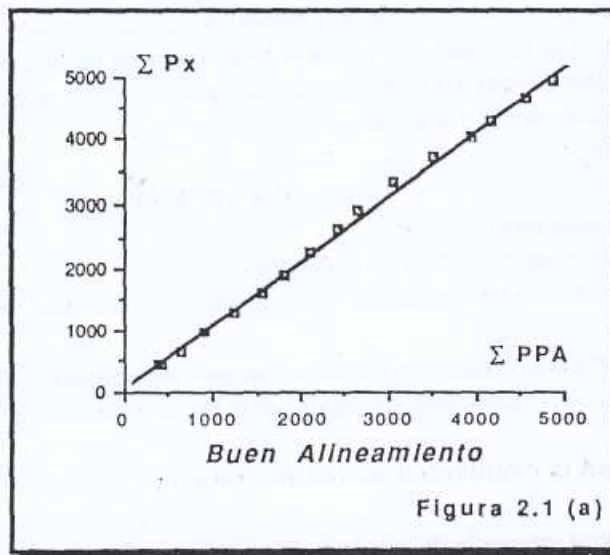
$\Delta P_G$  = error por no ser suficientemente representativa la precipitación puntual de la zona que representa, que puede ser muy grande si la densidad de la red es pequeña.

$\Delta P_F$  = 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.- 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 buen pluviométrico semejante, como el promedio de las precipitaciones anuales de un conjunto de estaciones pluviométricas que se considera 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 ( $\Sigma PPA$ ,  $\Sigma P_x$ ) a un gráfico, los puntos quedarán alineados si la Estación X está bien observada; lo que indicaría que su estadística es consistente. Si existe un cambio de pendiente a partir de un determinado año la estadística de la estación X debe corregirse.



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 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 :

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

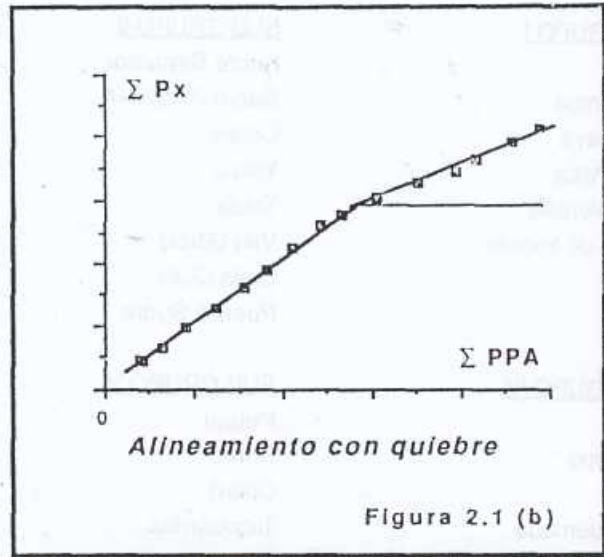


Figura 2.1 (b)

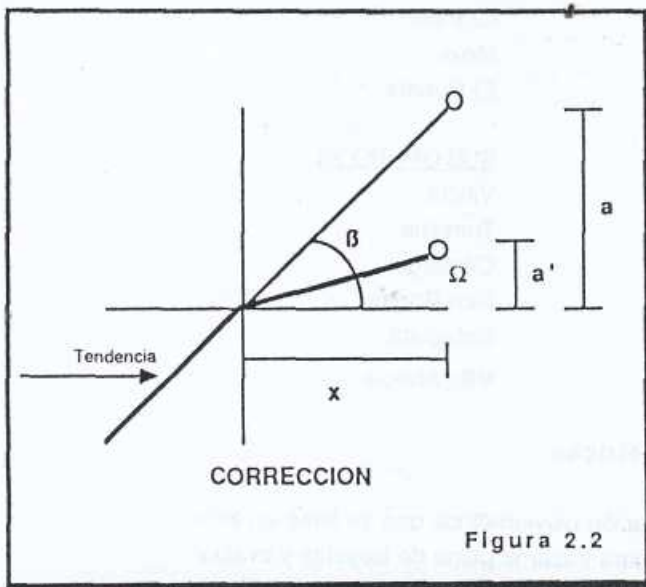


Figura 2.2

**Factor de corrección :**

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

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

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  
 Viña 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  
 Carandaiti  
 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  
 Colagaita  
 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, desarrollaron 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 ANEXO 2.

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 escurrentia 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 <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
2	P <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub>
"	"	"
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)

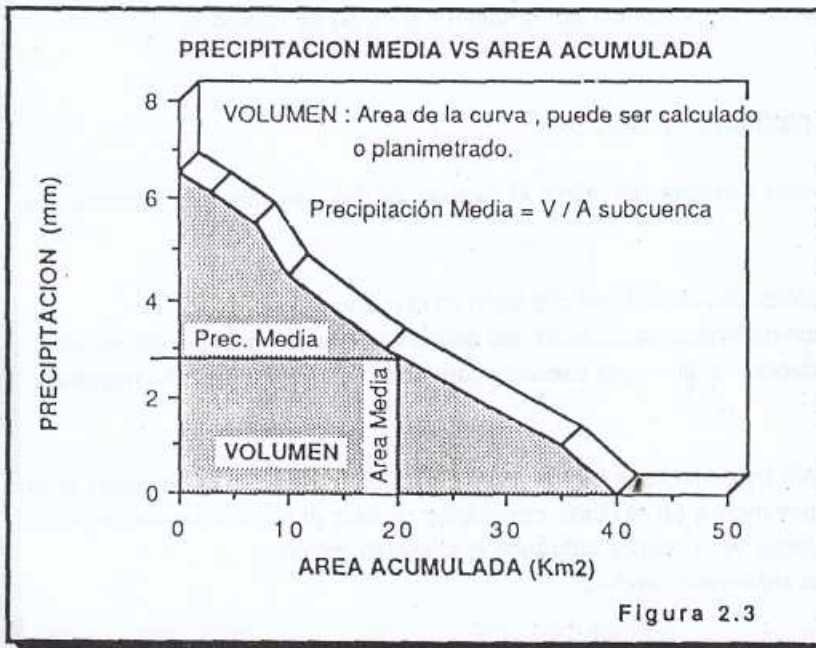
En la figura 2.3 se puede notar que en el valor correspondiente al área de la cuenca se tiene la ordenada de valor cero en precipitación; en la realidad casi no ocurre esta situación, en este caso se la

iza para dar mayor claridad a la explicación; puesto que el Volúmen Precipitado se estima entre la tenada 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 <Pm> de toda la cuenca realizamos el Promedio Ponderado de las subcuencas:

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

(Area total de la cuenca)



### 3.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .-

#### 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).

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6	Y.E7	Y.E8	Y.E9
1968	612	657	601	329	330	471	518	531	728	612	657	601	429	430	471	518	531	728
1969	411	411	448	285	330	332	378	378	1023	1068	1049	714	760	803	884	906	1068	1198
1970	437	549	588	362	543	485	382	478	1460	1617	1637	1076	1303	1288	1266	1328	1266	1727
1971	397	456	490	314	423	322	356	407	1857	2073	2127	1390	1726	1610	1619	1727	1610	2196
1972	471	442	490	351	512	358	407	418	2326	2515	2617	1741	2138	1966	2026	2196	2026	2814
1973	556	489	622	393	610	405	465	456	2884	3004	3239	2134	2650	2371	2491	2682	2491	3214
1974	483	466	602	356	572	362	445	533	3367	3566	3841	2490	3320	2961	2936	3214	2936	3774
1975	645	592	644	455	635	468	510	557	4012	4218	4488	2925	3846	3449	3468	3774	3468	4629
1976	705	654	668	373	526	390	315	368	4407	4612	4959	3298	4192	3790	3781	4140	3781	4828
1977	657	659	640	390	445	398	434	488	4984	5171	5592	3688	4637	4127	4125	4628	4125	5654
1978	530	601	688	376	492	434	489	514	5484	5772	6280	4064	5129	4561	4704	5143	4561	6190
1979	592	487	547	409	502	413	464	488	6086	6259	6827	4473	5631	4974	5168	5631	4974	7274
1980	334	368	380	284	241	215	254	292	6420	6627	7207	4757	5842	5189	5422	5923	5189	8074
1981	508	573	611	368	533	380	427	463	6928	7200	7818	5125	6375	5599	5846	6409	5599	9233
1982	400	490	517	316	456	339	399	441	7328	7690	8335	5441	6831	5966	6293	6841	5966	10244

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6	Y.E7	Y.E8	Y.E9
1968	741	787	432	740	728	693	640	693	728	741	787	432	610	728	693	640	693	728
1969	491	524	291	451	432	515	556	510	1272	1311	1272	1261	1160	1208	1180	1180	1261	1311
1970	511	558	397	460	485	661	534	582	1743	1869	1120	1721	1645	1869	1723	2085	1723	2525
1971	485	622	571	411	396	552	397	521	2228	2491	1891	2132	2041	2421	2120	2406	2120	2814
1972	566	741	554	529	468	512	381	747	2764	3232	2245	2661	2509	2353	2501	2353	2774	3274
1973	557	681	470	566	543	572	408	799	3351	3913	2715	3327	3052	2506	2909	4152	3052	4083
1974	808	754	422	712	639	777	711	1021	4159	4667	3137	3952	3591	3104	4554	4185	4886	5686
1975	678	934	700	717	822	531	1011	783	5037	5601	3837	4650	4382	5104	4854	6185	4854	7824
1976	594	609	428	514	488	565	648	725	5631	6210	4266	4883	4480	5690	4803	6910	5444	7444
1977	808	835	455	698	650	796	780	831	6439	7045	4720	5881	5503	6482	5383	7741	6177	8177
1978	902	912	442	728	690	917	756	784	7427	7937	5120	6809	6202	7382	6528	8325	6975	9775
1979	663	928	487	756	650	857	731	775	8243	8885	5682	7865	6861	8239	7269	9268	8325	10268
1980	663	683	336	514	518	518	776	776	8946	9508	5405	6849	7839	7292	8757	7974	10009	13009
1981	837	932	442	810	592	757	727	1368	9283	10500	6967	8689	7884	9514	8701	11437	9114	14114
1982	814	927	403	673	598	765	622	1049	10592	11477	6812	9362	8402	10279	9123	12486	8853	15486

SUB GRUPO III

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6	Y.E7	Y.E8	Y.E9
1968	612	657	1450	906	612	657	1450	906	1023	1068	2210	1434	1434	1068	1068	1434	1068	2210
1969	411	411	1450	906	1460	1617	2897	2025	1460	1617	2897	2025	2025	2897	2025	2025	2897	2025
1970	437	549	1450	906	1460	1617	2897	2025	1957	2073	3633	2527	2527	3633	2527	2527	3633	2527
1971	397	456	1450	906	2326	2515	4507	3117	2326	2515	4507	3117	3117	4507	3117	3117	4507	3117
1972	471	442	1450	906	2884	3004	6400	3704	2884	3004	6400	3704	3704	6400	3704	3704	6400	3704
1973	556	489	1450	906	3367	3566	6582	4490	3367	3566	6582	4490	4490	6582	4490	4490	6582	4490
1974	483	466	1450	906	4012	4218	7680	5302	4012	4218	7680	5302	5302	7680	5302	5302	7680	5302
1975	645	592	1450	906	4488	4687	8348	5788	4488	4687	8348	5788	5788	8348	5788	5788	8348	5788
1976	705	654	1450	906	4984	5171	9622	6586	4984	5171	9622	6586	6586	9622	6586	6586	9622	6586
1977	657	659	1450	906	5484	5772	10728	7331	5484	5772	10728	7331	7331	10728	7331	7331	10728	7331
1978	530	601	1450	906	6086	6259	11854	8066	6086	6259	11854	8066	8066	11854	8066	8066	11854	8066
1979	592	487	1450	906	6420	6627	12389	8478	6420	6627	12389	8478	8478	12389	8478	8478	12389	8478
1980	334	368	1450	906	6928	7200	13631	9253	6928	7200	13631	9253	9253	13631	9253	9253	13631	9253
1981	508	573	1450	906	7328	7690	14514	9844	7328	7690	14514	9844	9844	14514	9844	9844	14514	9844
1982	400	490	1450	906	7725	8035	15041	10244	7725	8035	15041	10244	10244	15041	10244	10244	15041	10244

SUB GRUPO IV

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6	Y.E7	Y.E8	Y.E9
1968	474	582	644	362	487	510	474	582	644	362	487	510	474	582	644	362	487	510
1969	209	325	229	270	319	290	773	917	1289	1532	1260	941	1308	1264	1308	1264	1308	1264
1970	516	605	387	309	502	464	1719	2075	1675	1675	1917	1775	1775	1917	1775	1775	1917	1775
1971	430	553	415	276	467	420	2114	2636	2083	1880	2247	2112	2112	2636	2083	1880	2247	2112
1972	395	561	408	263	427	420	2512	3082	2537	1767	2641	2520	2520	3082	2537	1767	2641	2520
1973	458	446	454	289	594	506	3082	3741	2981	2147	3180	3026	3026	3741	2981	2147	3180	3026
1974	510	658	444	380	539	506	3469	4361	3308	2463	3763	3455	3455	4361	3308	2463	3763	3455
1975	387	640	417	316	583	468	3937	4878	3748	3220	4757	4470	4470	4878	3748	3220	4757	4470
1976	463	495	351	356	422	417	4482	5540	4346	3920	4757	4470	4470	5540	4346	3920	4757	4470
1977	550	670	592	401	572	556	5148	6103	4911	3696	5383	5110	5110	6103	4911	3696	5383	5110
1978	666	887	667	565	476	626	6406	7413	5911	3896	5383	5110	5110	7413	5911	3896	5383	5110
1979	518	690	457	362	597	524	5666	7103	5368	4058	5980	5635	5635	7103	5368	4058	5980	5635
1980	347	421	293	301	317	346	8013	7524	5801	4359	6317	5925	5925	7524	5801	4359	6317	5925
1981	635	642	588	436	508	567	6648	8166	6248	4795	6825	6537	6537	8166	6248	4795	6825	6537
1982	527	648	414	402	531	504	7175	8814	6693									

SUB GRUPO VII  
E1 VILMAKOTES  
E2 CAMPANATI  
E3 CAMPANIDA  
E4 ROSARIO DEL MONTE  
E5 FACCHARI  
E6 PPA

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	509	264	504	844	650	562	809	264	504	844	650	562
1969	482	235	492	829	613	542	831	482	917	1314	1263	1104
1970	584	341	540	888	738	618	1575	847	1538	2560	2701	2244
1971	588	348	542	888	741	622	2163	1190	2078	3448	2842	2344
1972	493	241	492	838	681	551	2658	1417	2575	4268	3573	2898
1973	710	371	569	838	681	551	3366	1915	3174	5242	4341	3608
1974	630	465	592	959	818	712	4061	2377	3766	6192	5192	4309
1975	453	283	482	799	637	503	4494	2580	4233	6688	5787	4813
1976	450	280	482	799	637	503	4944	2810	4709	7841	6466	5380
1977	687	340	466	1116	847	711	5631	3250	5175	8053	7343	6091
1978	544	314	566	836	751	615	6175	3564	5743	9053	8084	6706
1979	730	314	679	892	787	680	7308	4082	6522	11310	9314	7707
1980	1196	703	853	1750	1325	1165	9234	5386	7201	12202	10101	8388
1981	1137	539	801	1612	1317	1093	10371	5038	8055	13564	12803	10645

SUB GRUPO VIII  
E1 QUILPINA  
E2 LEONCARIAS  
E3 ALTO DE CALAS  
E4 YESADOMONTE  
E5 SALADOMONTE  
E6 PPA

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	332	600	771	765	672	645	632	600	771	765	672	645
1969	293	698	785	759	613	629	925	1384	1556	1529	1285	1274
1970	334	698	770	763	648	641	959	2072	2329	2283	1933	1915
1971	326	694	770	758	704	652	1285	2786	3109	3041	2837	2568
1972	327	758	853	704	551	639	1812	3525	3962	3745	3188	3706
1973	428	536	600	832	470	585	2046	4061	4562	4637	3658	3792
1974	349	564	632	668	608	604	2389	4625	5164	5505	4266	4396
1975	441	718	807	738	616	664	2830	5343	6001	6243	4882	5060
1976	337	667	749	781	482	509	3167	6010	6750	7024	5344	5659
1977	365	735	644	859	726	666	3532	6245	7394	7863	6070	6325
1978	343	669	673	809	753	649	3875	7414	8067	8688	6823	6973
1979	302	269	468	752	670	512	4177	7283	8535	9440	7493	7486
1980	173	467	644	608	587	492	4350	8250	9170	10048	8060	7978
1981	361	444	428	738	871	568	4711	8694	9607	10784	8931	8545
1982	231	415	617	717	688	533	4942	9109	10224	11501	9817	9079

SUB GRUPO IX  
E1 TUNIZA  
E2 OROCA  
E3 SAJ DE PAMPACRUIDE  
E4 MOJO  
E5 EL PUENTE  
E6 PPA

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	521	385	238	340	143	325	521	385	238	340	143	325
1969	246	160	193	315	202	223	767	545	429	665	345	548
1970	313	268	276	247	255	272	1060	813	705	902	600	670
1971	357	341	391	311	294	339	1437	1154	1096	1213	894	1159
1972	336	305	344	320	283	318	1773	1459	1440	1533	1172	1476
1973	314	270	299	271	138	258	2087	1729	1739	1804	1315	1735
1974	313	274	304	270	199	272	2400	2003	2043	2018	1514	2007
1975	286	384	334	244	360	322	2868	2387	2377	2718	1874	2328
1976	255	215	255	210	232	233	2941	2062	2629	2522	2106	2561
1977	338	424	434	418	383	399	3279	2026	3063	2946	2468	2861
1978	525	526	472	492	308	464	3804	3552	3553	3438	2795	3425
1979	382	371	507	393	381	407	4186	3923	4042	3831	3176	3832
1980	280	163	145	395	168	230	4466	4086	4187	4278	3344	4062
1981	405	465	448	427	378	424	4871	4551	4802	4653	3722	4486
1982	314	311	375	326	224	210	5185	4862	5007	4978	3946	4796

SUB GRUPO X  
E1 VILUNON  
E2 LAQUICA  
E3 ISCAVACA  
E4 CORMAYANA  
E5 PPA

ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	453	406	332	375	418	409	453	406	332	375	418	409
1969	480	349	333	387	387	387	933	635	655	762	788	788
1970	309	318	268	286	286	295	1242	1153	923	1048	1082	1082
1971	366	431	397	328	385	385	1626	1584	1370	1374	1477	1477
1972	115	391	193	125	205	205	1743	1975	1513	1459	1683	1683
1973	262	286	348	222	280	280	2005	2261	1862	1721	1962	1962
1974	318	348	271	259	299	299	2323	2609	2133	1940	2261	2261
1975	228	248	236	298	253	253	2851	2858	2368	2278	2514	2514
1976	182	170	302	250	226	226	2733	3028	2621	2529	2740	2740
1977	374	434	402	425	409	409	3107	3462	3073	2954	3148	3148
1978	545	527	461	461	504	504	3652	3988	3534	3445	3658	3658
1979	364	402	394	414	394	404	4016	4391	3928	3885	4055	4055
1980	314	414	257	307	323	323	4330	4805	4185	4166	4278	4278
1981	422	455	402	425	425	425	4752	5260	4587	4587	4796	4796
1982	325	322	347	254	287	287	5072	5582	4834	4834	4845	5088

SUB GRUPO XI  
E1 PORCO  
E2 LAQUICON  
E3 SAUTOLEON  
E4 TICA TICA  
E5 PPA

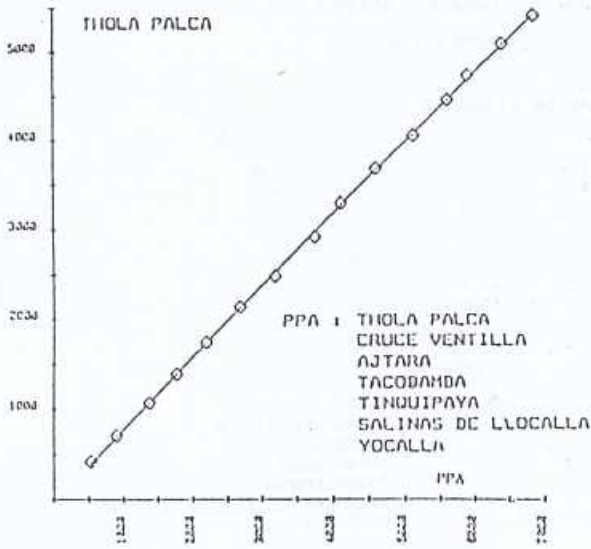
ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	600	389	387	303	293	293	600	389	387	303	293	293
1969	375	439	232	161	258	258	1075	1361	786	682	1009	1009
1970	531	415	211	273	356	356	1806	1776	997	1155	1457	1457
1971	408	536	289	373	422	422	2366	2312	1284	1528	1836	1836
1972	408	389	272	364	356	356	2784	2701	1558	1862	2236	2236
1973	385	391	205	356	352	352	3159	3092	1853	2248	2588	2588
1974	472	469	373	429	436	436	3631	3564	2232	2827	3024	3024
1975	475	431	178	225	327	327	4106	3892	2446	2802	3054	3054
1976	750	538	337	362	497	497	4856	4356	2752	3292	3351	3351
1977	687	514	296	373	466	466	5543	5044	3035	2637	3514	3514
1978	584	488	313	367	438	438	6122	5532	3348	2094	4753	4753
1979	584	488	313	367	438	438	6464	5912	3348	4161	5011	5011
1980	357	387	121	187	258	258	7064	6392	2706	4482	5411	5411
1981	580	473	237	311	400	400	7824	6838	4005	4861	5828	5828
1982	464	464	359	376	417	417						

20 XII  
I  
II  
III  
IV  
V  
VI  
VII  
VIII  
IX  
X  
XI  
XII

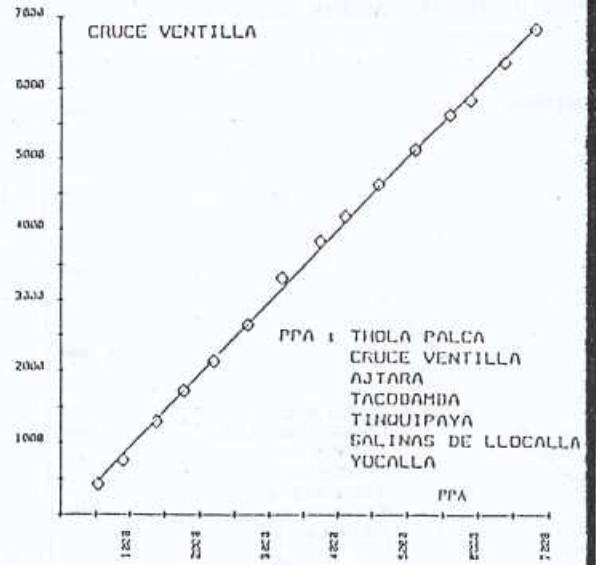
ANO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Y.E1	Y.E2	Y.E3	Y.E4	Y.E5	Y.E6
1968	308	317	311	305	250	240	308	317	311	305	250	240
1969	281	220	231	232	226	228	589	537	601	526	522	466
1970	382	326	330	331	295	308	971	862	937	847	817	774
1971	346	305	323	293	283	322	1287	1167	1260	1142	1100	1098
1972	352	308	323	293	283	315	1628	1475	1565	1418	1385	1411
1973	270	263	291	258	252	274	1908	1738	1876	1695	1637	1685
1974	346	330	328	249	241	331	2326	2084	2226	2023	1866	1878
1975	372	364	358	327	391	391	2793	2456	2590	2381	2208	2443
1976	303	314	307	291	268	268	3096	2770	2857	2671	2476	2772
1977	471	354	426	453	322	403	3569	3124	3323	3124	2798	3116
1978	546	427	403	366	415	419	4115	3551	3733	3490	3213	3474
1979	450	315	363	277	314	281	4565	3866	4089	3767	3527	3555
1980	343	297	188	119	148	144	4908	4163	4275	3816	3645	3899
1981	448	361	311	322	376	385	5356	4524	4586	4208	4021	4391
1982	268	290	351	329	310	277	5624	4814	4937	4537	4331	4504

CUADRO 232

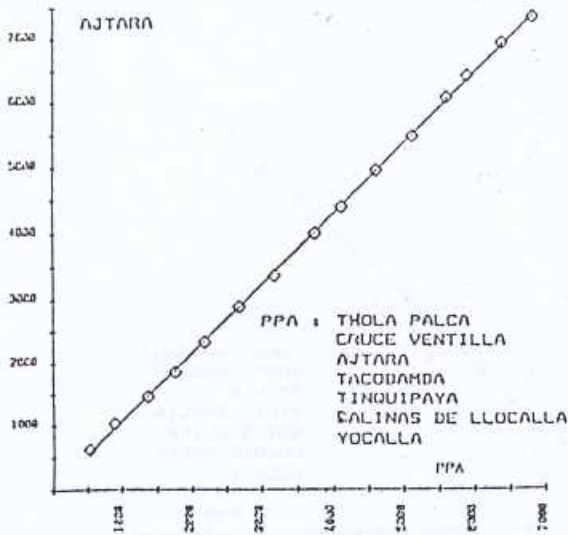
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



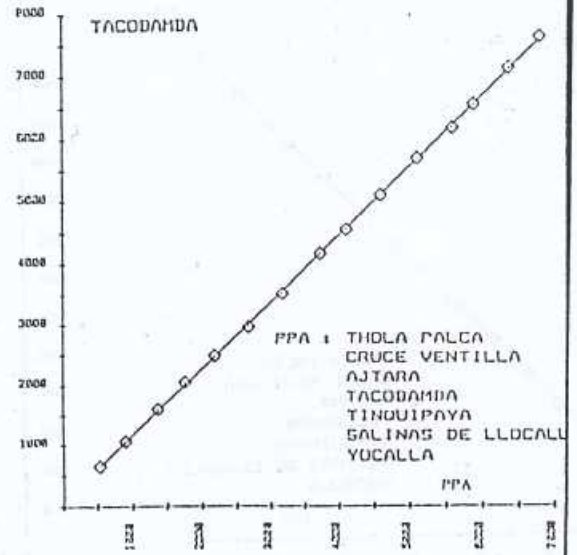
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



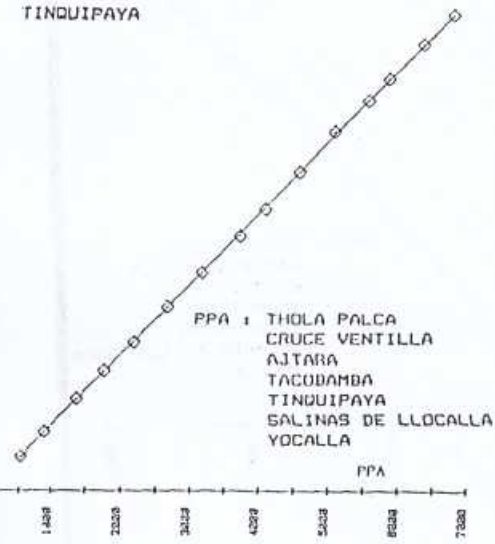
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

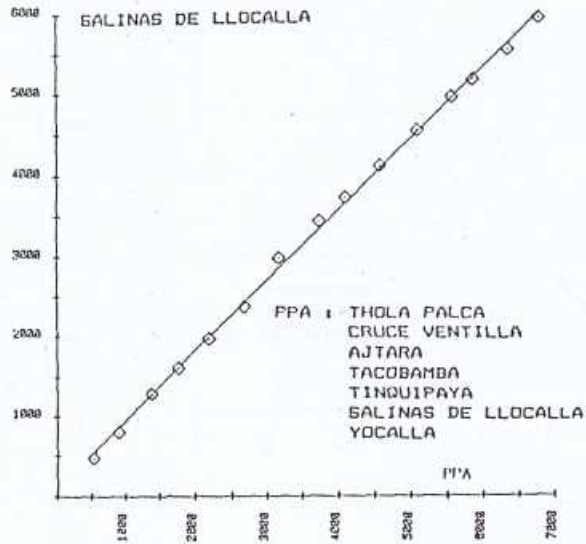
TINQUIPAYA



CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

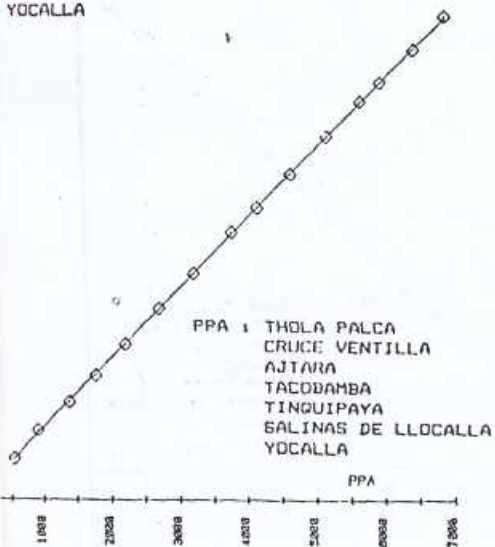
SALINAS DE LLOCALLA



CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO : 1968/1982

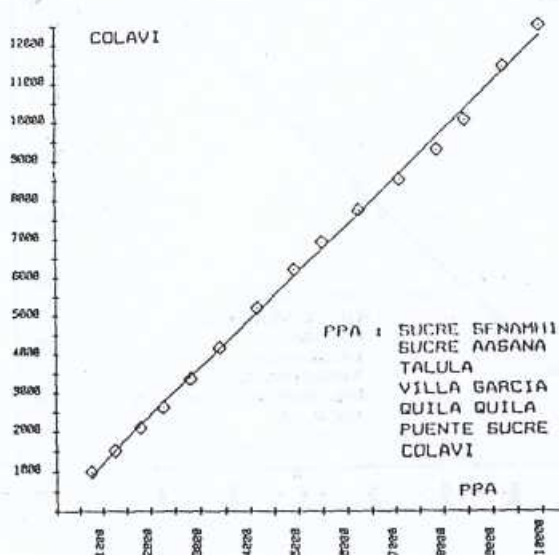
YOCALLA



CURVA DOBLE ACUMULADA

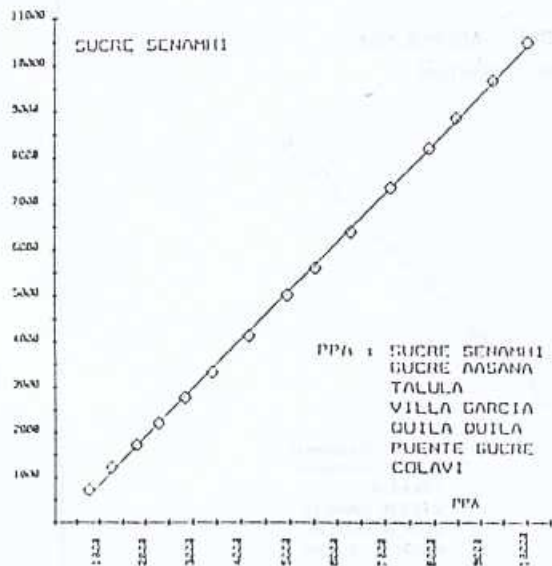
PERIODO : 1968/1982

COLAVI



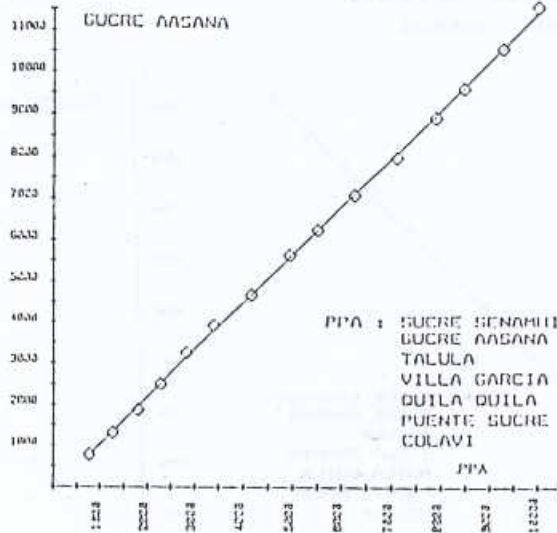
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO + 1960/1962



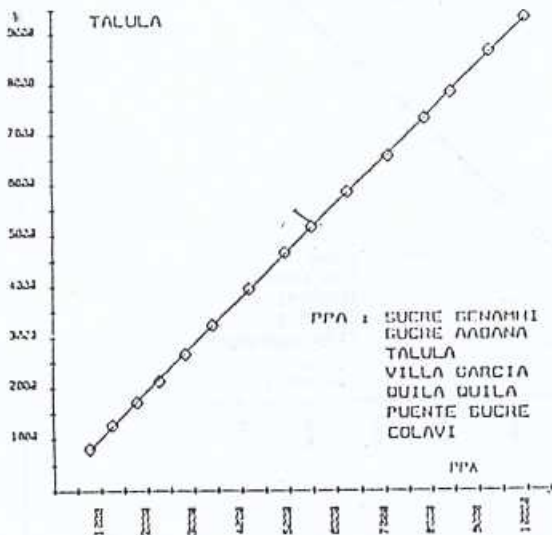
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO + 1960/1962



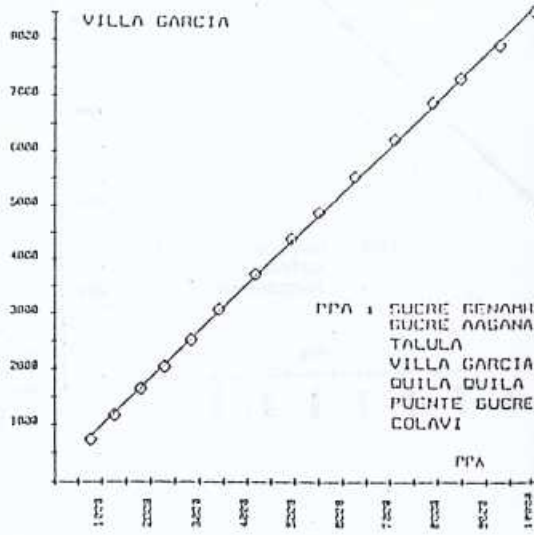
CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO + 1960/1962



CURVA DOBLE ACUMULADA

PERIODO + 1960/1962



CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982

QUILA QUILA

PPA : SUCRE SENAMHI  
SUCRE AASANA  
TALULA  
VILLA GARCIA  
QUILA QUILA  
PUENTE SUCRE  
COLAVI

PPA

CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982

PUENTE SUCRE

PPA : SUCRE SENAMHI  
SUCRE AASANA  
TALULA  
VILLA GARCIA  
QUILA QUILA  
PUENTE SUCRE  
COLAVI

PPA

CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982

RAVELD

PPA : RAVELD  
AJTARA  
TACOBAMBA

PPA

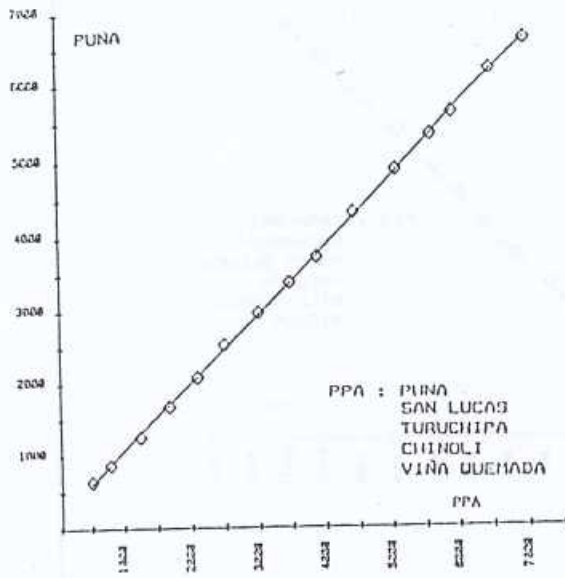
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982

VIÑA QUEMADA

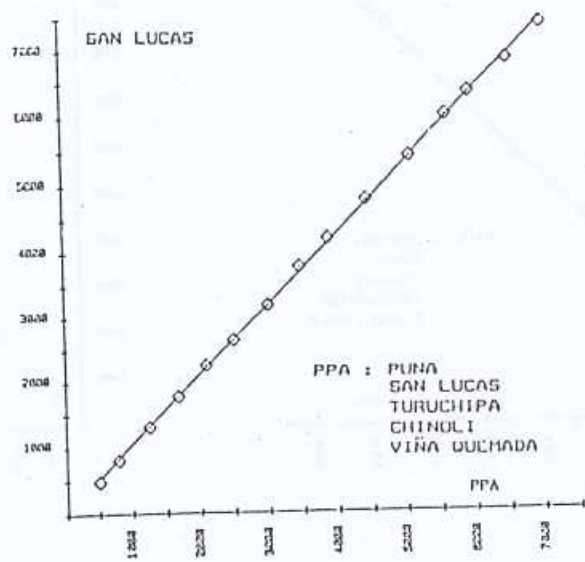
PPA : PUNA  
SAN LUCAS  
TURUCHIPA  
CHINDLI  
VIÑA QUEMADA

PPA

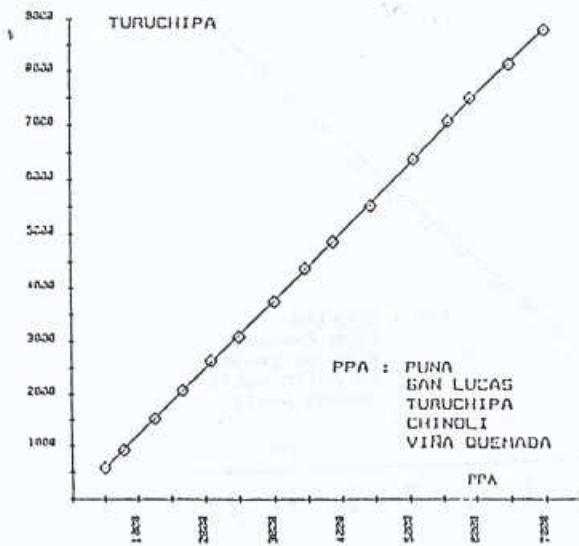
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1960/1982



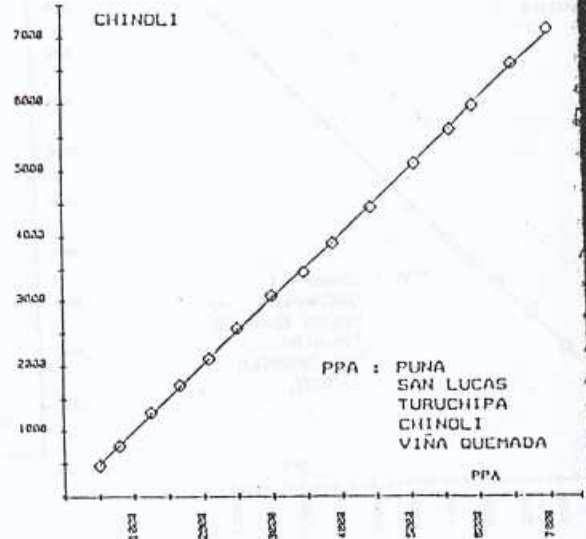
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1960/1982

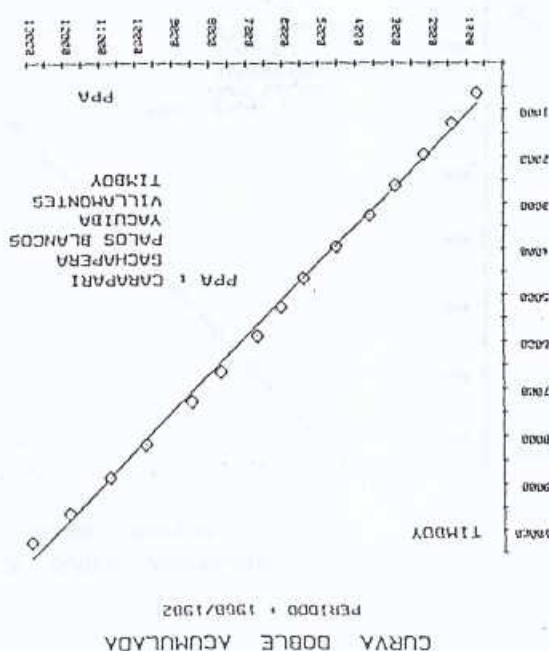
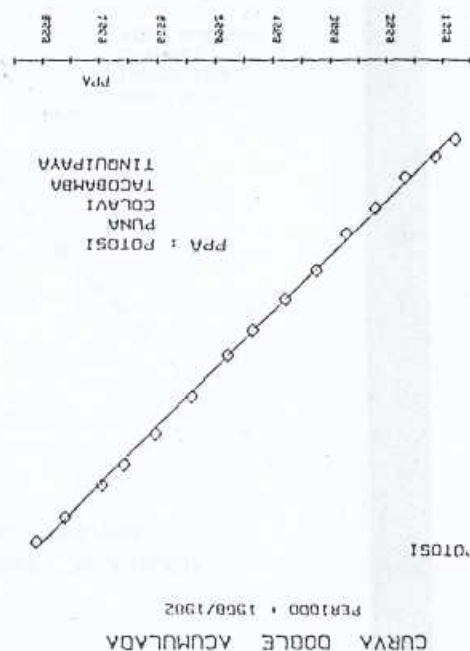
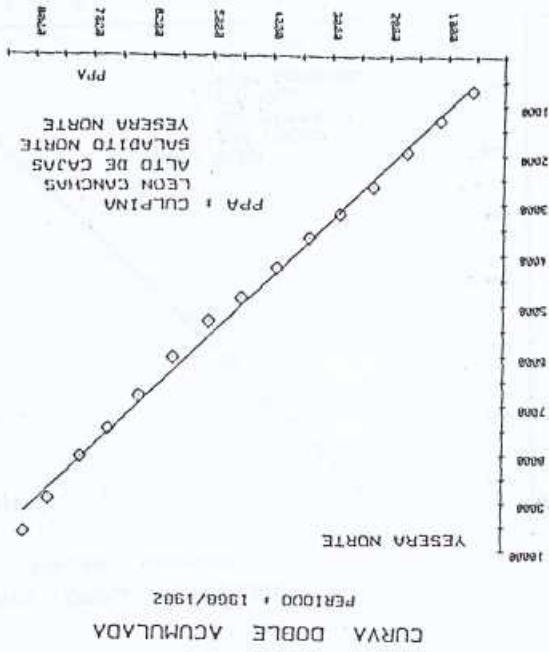
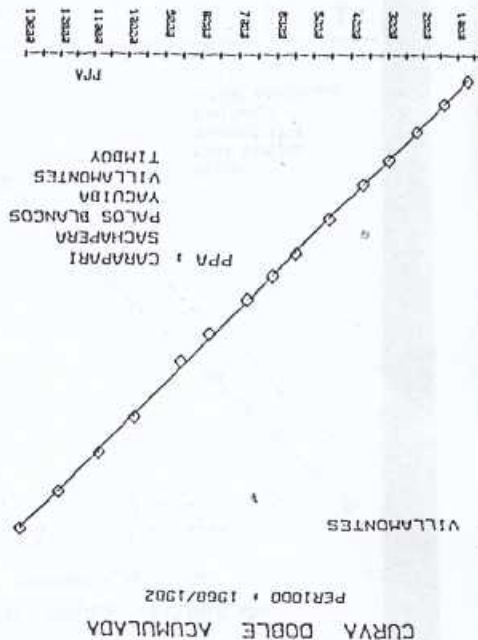


CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1960/1982



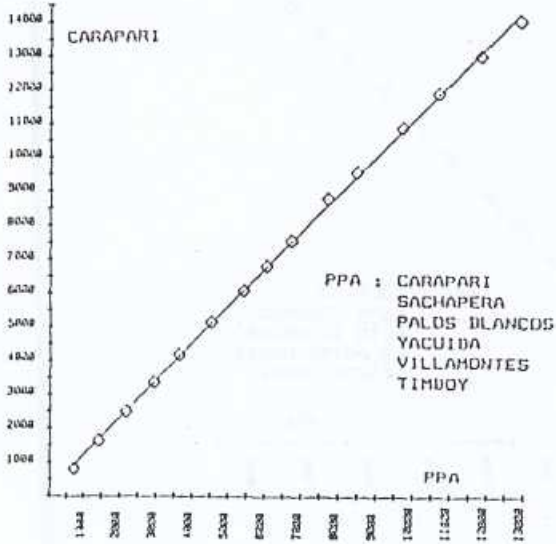
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1960/1982



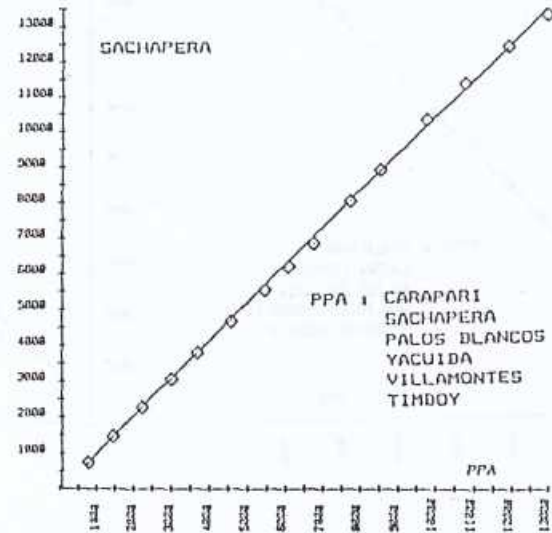




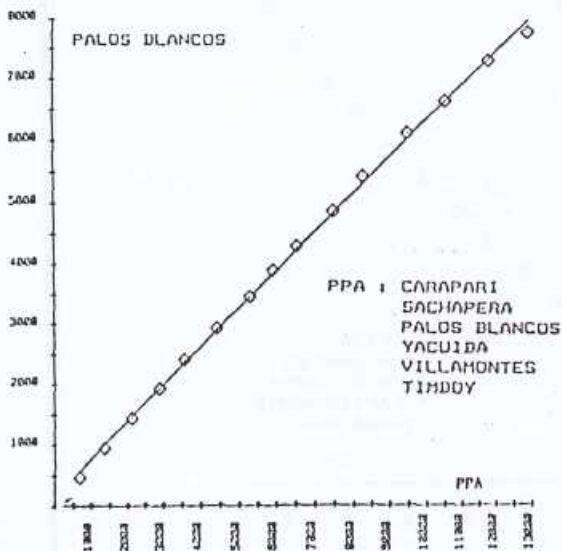
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1960/1982



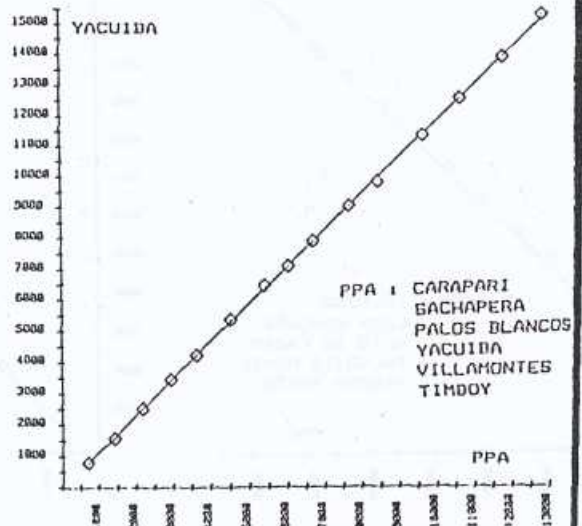
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1960/1982



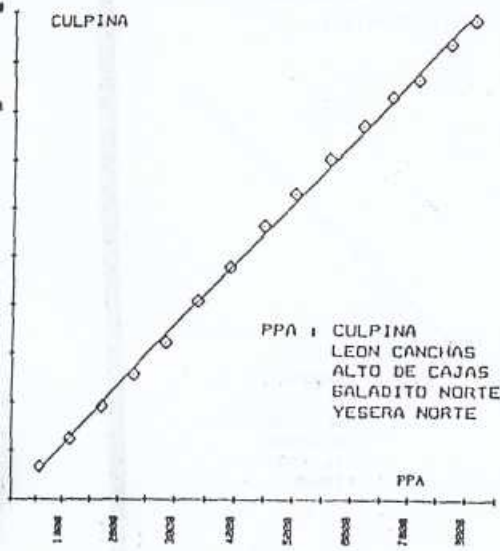
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1960/1982



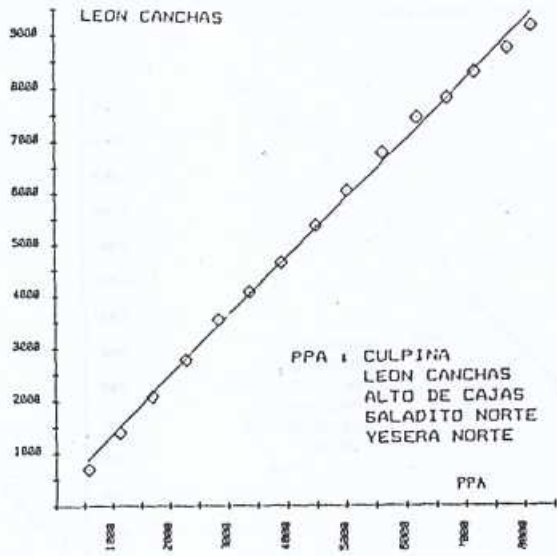
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1960/1982



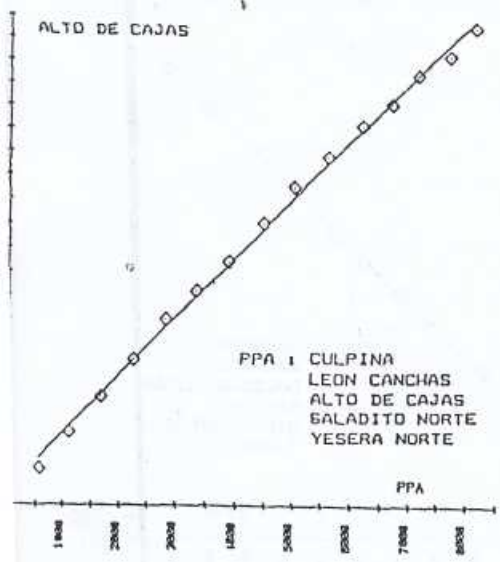
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



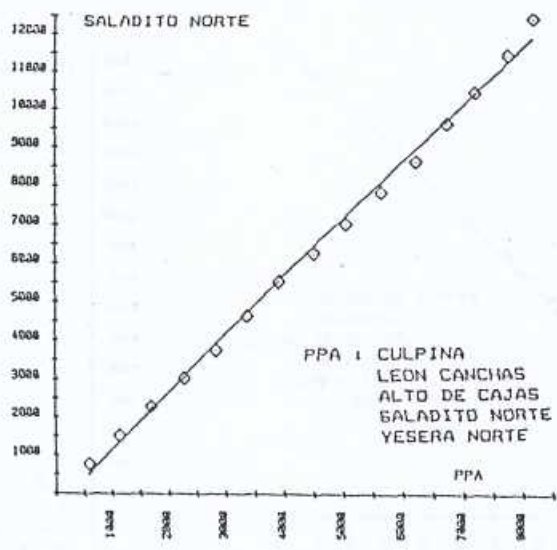
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



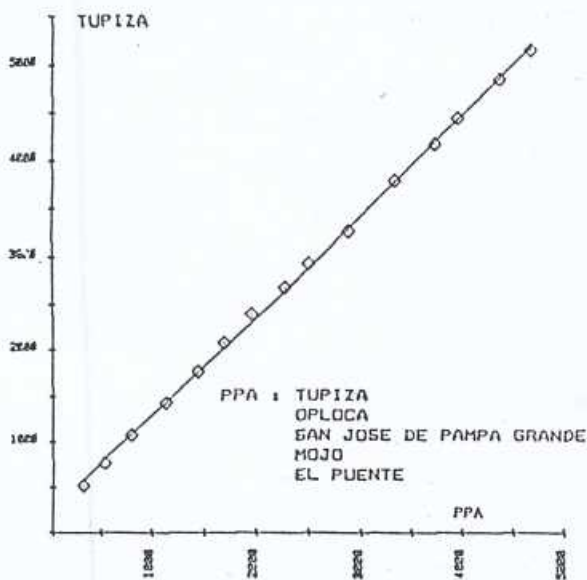
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



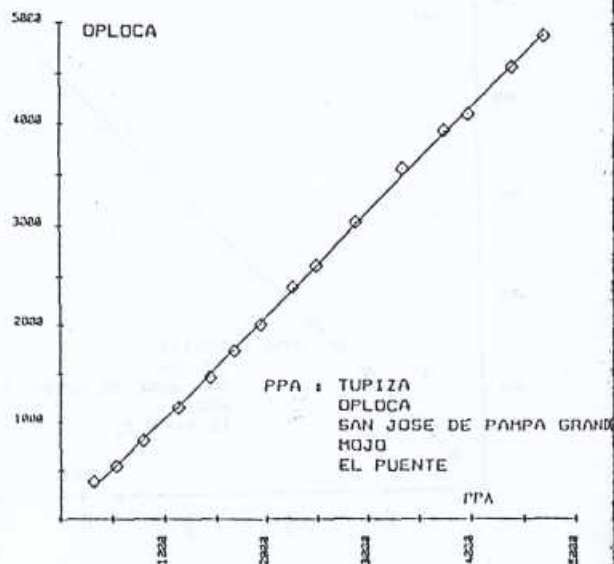
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



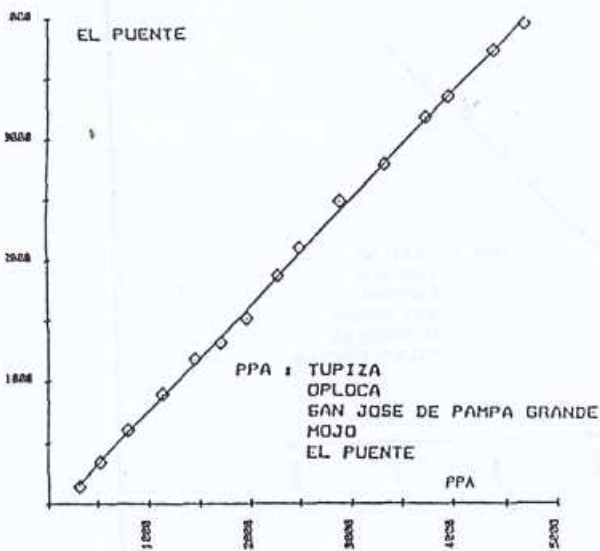
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982



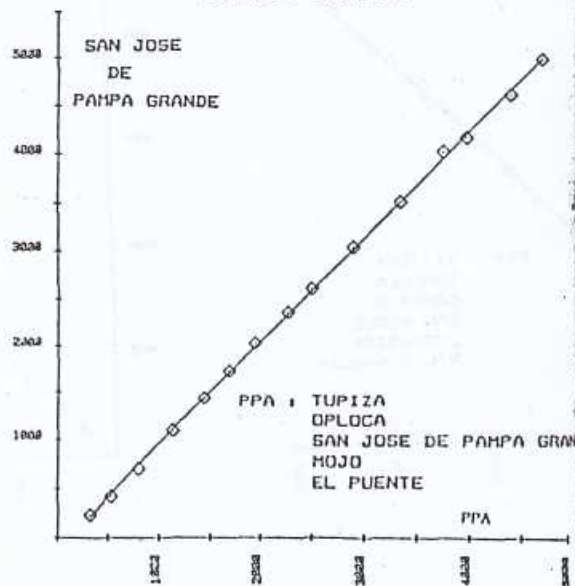
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982



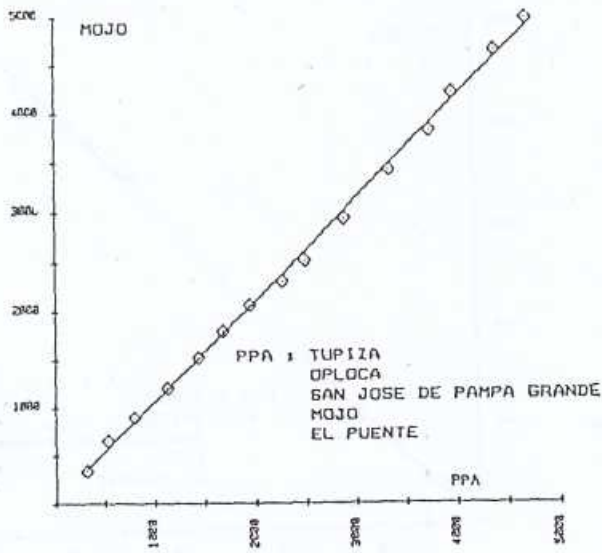
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982



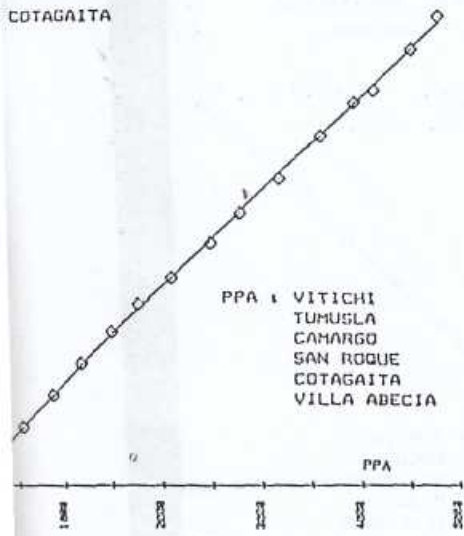
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO • 1968/1982



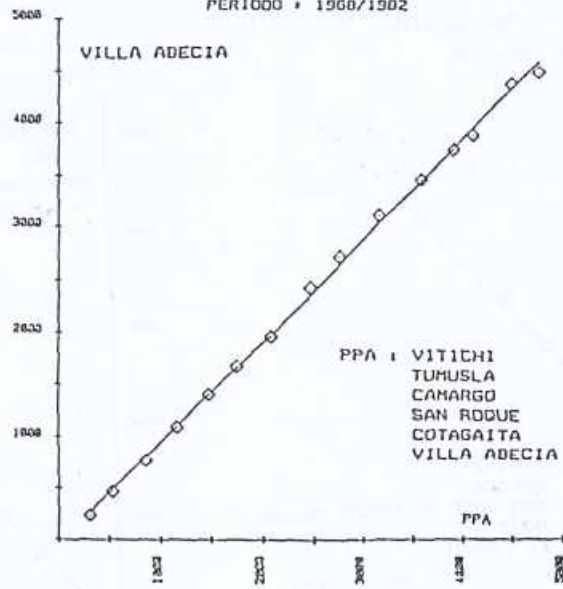
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



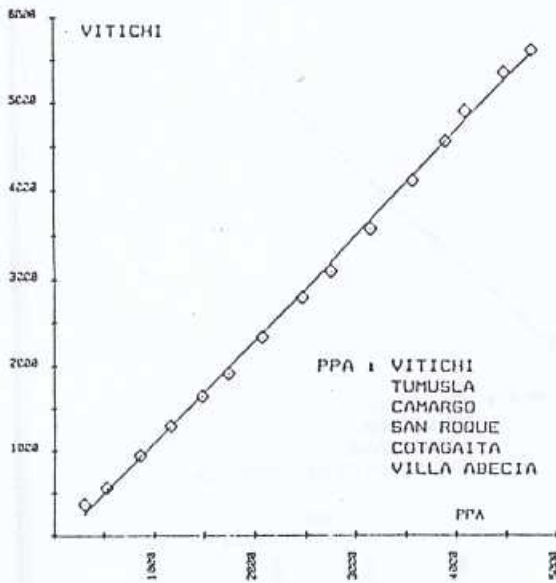
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



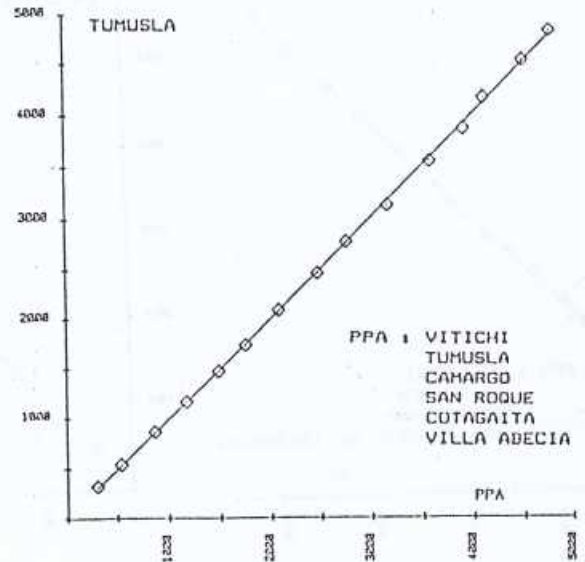
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



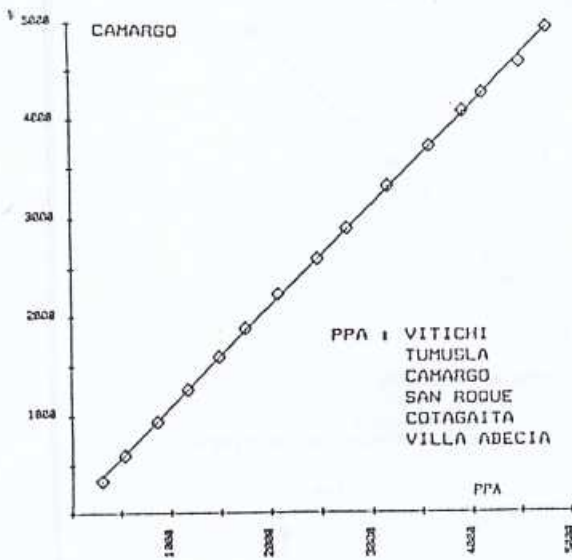
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



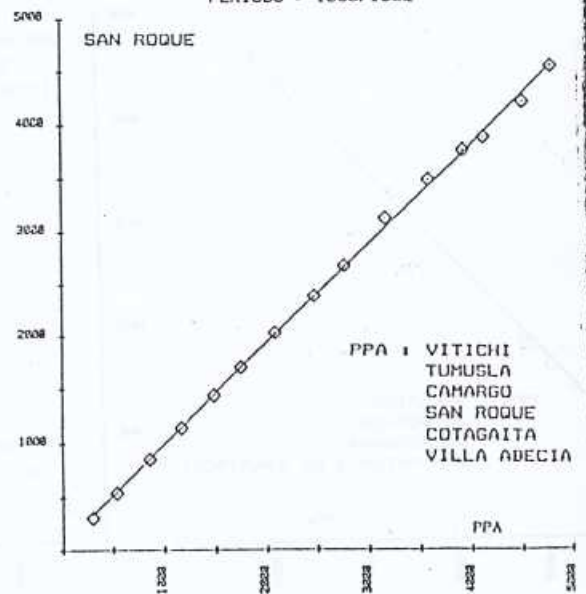
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



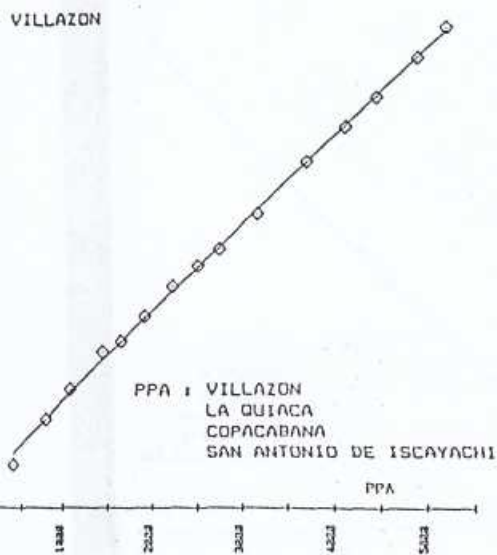
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



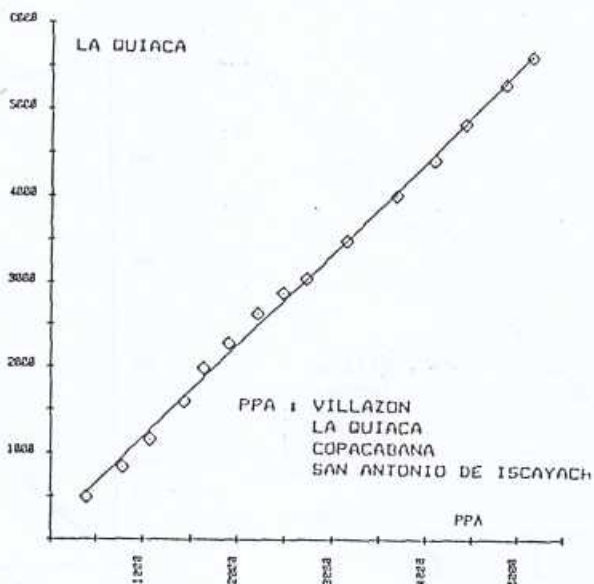
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO + 1968/1982



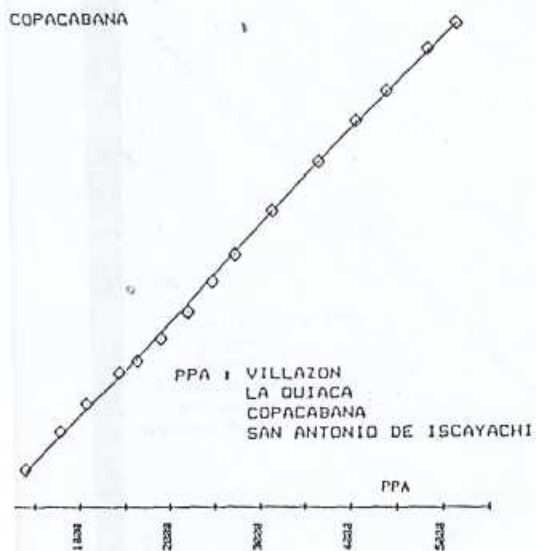
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



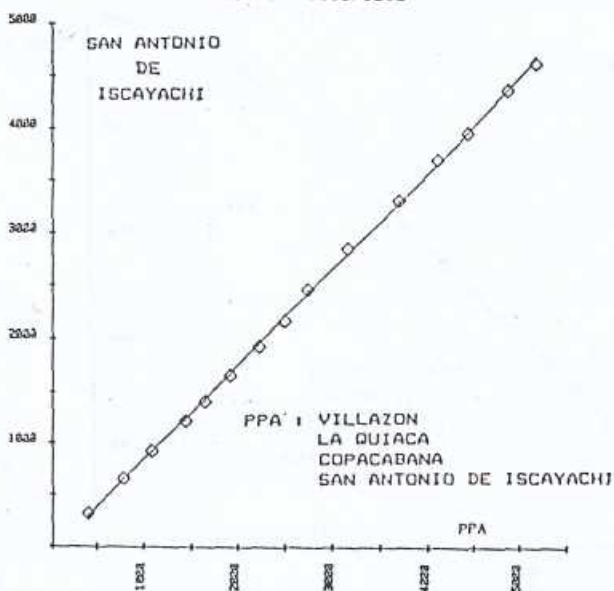
CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982

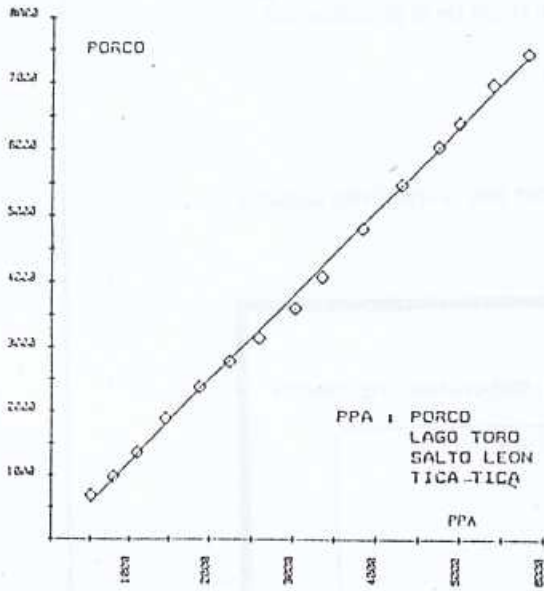


CURVA DOBLE ACUMULADA  
PERIODO : 1968/1982



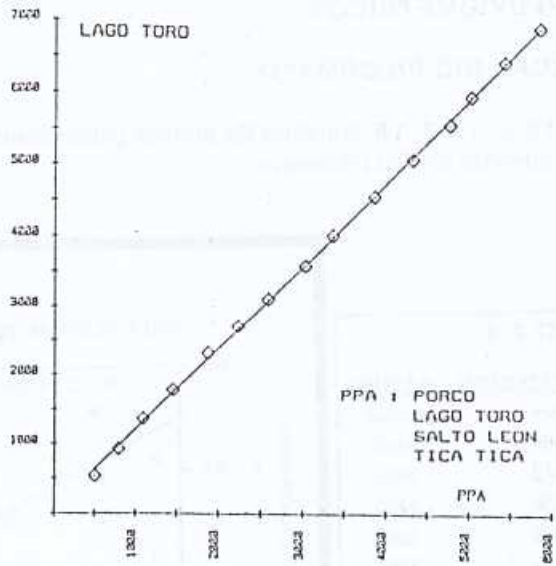
CURVA DOBLE ACUMULADA

PER1000 + 1968/1982



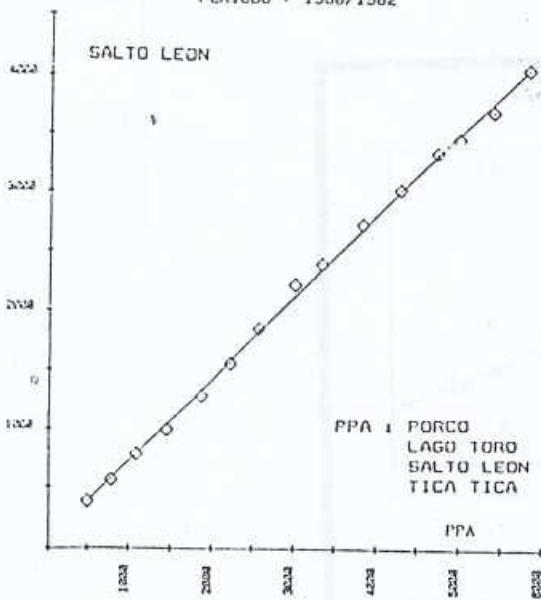
CURVA DOBLE ACUMULADA

PER1000 + 1968/1982



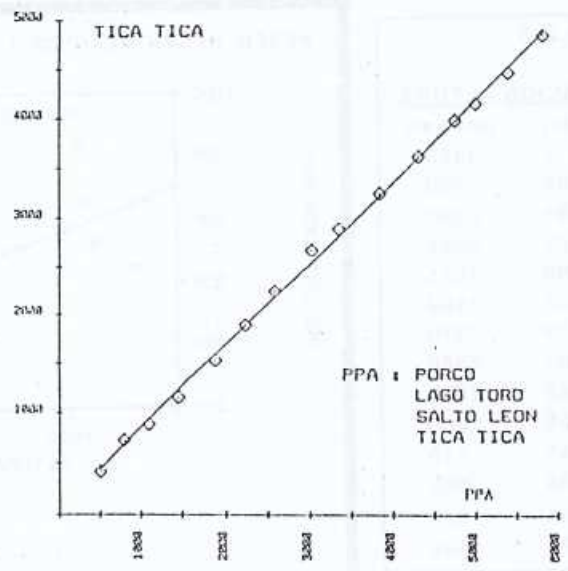
CURVA DOBLE ACUMULADA

PER1000 + 1968/1982



CURVA DOBLE ACUMULADA

PER1000 + 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 alliplano 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.

CUADRO 2.4

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

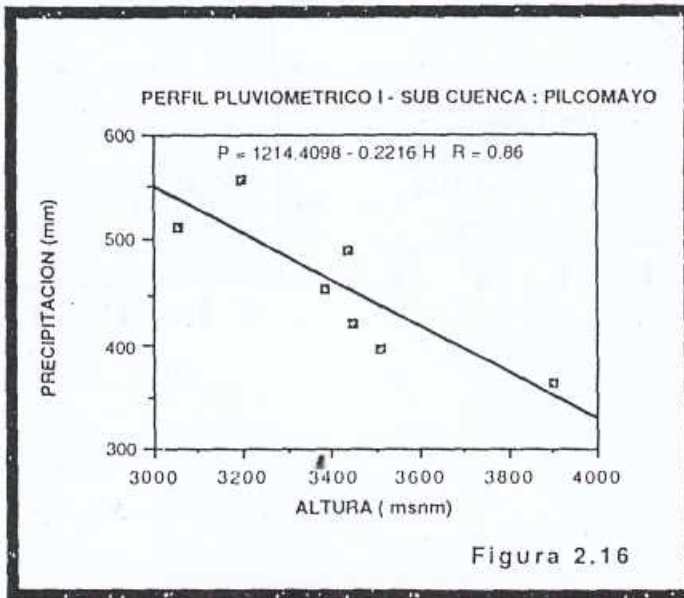


Figura 2.16

CUADRO 2.5

ESTACION	PRECIPITACION (mm)	ALTURA (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

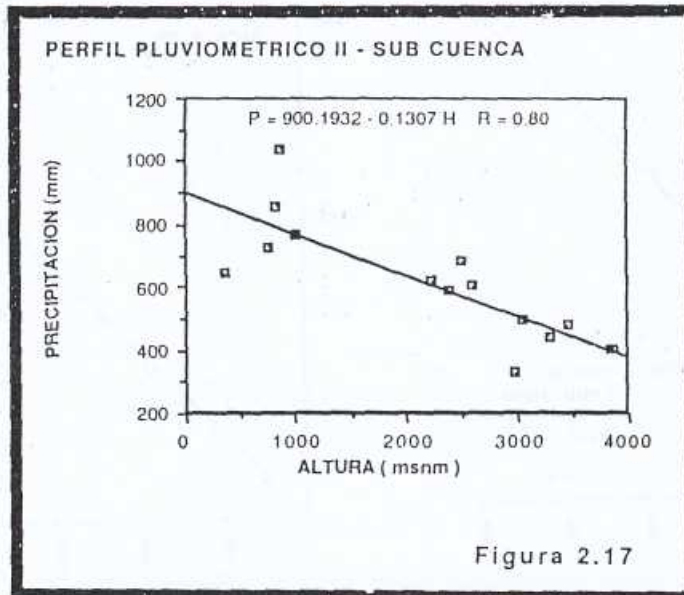
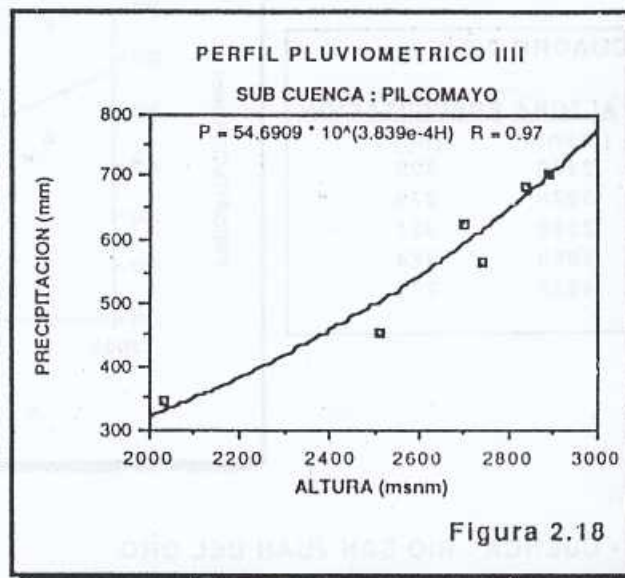


Figura 2.17

**CUADRO 2.6**

<u>ESTACION</u>	<u>ALTURA</u> (msnm)	<u>PRECIPITACION</u> (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

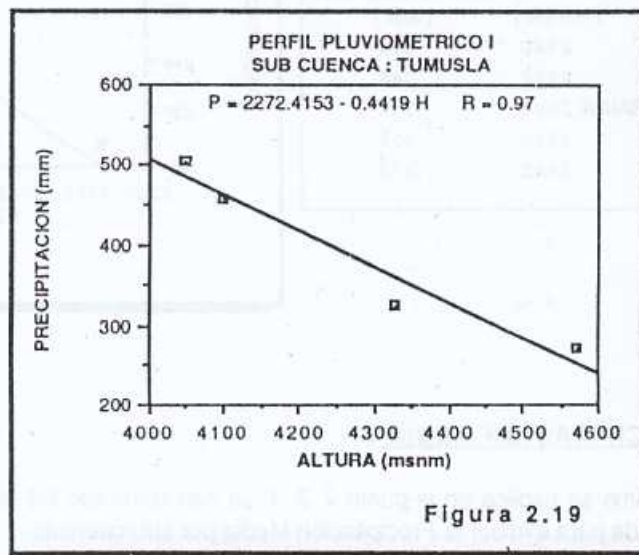


**SUB - CUENCA : RIO TUMUSLA**

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**

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



CUADRO 2.8

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

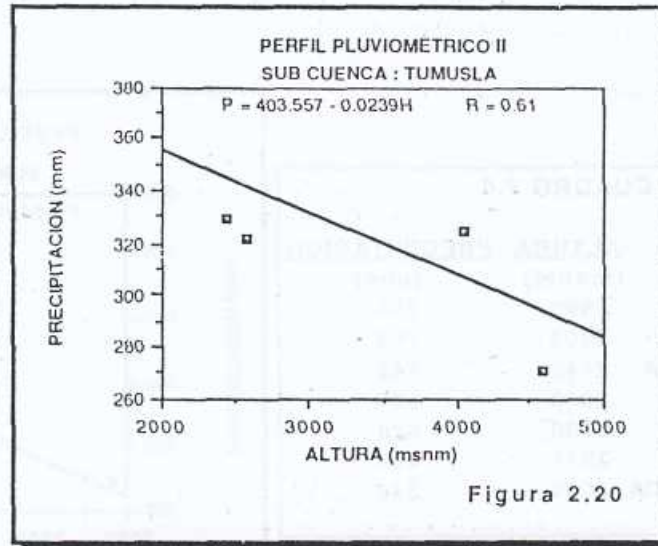


Figura 2.20

SUB - CUENCA : RIO SAN JUAN DEL ORO

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

CUADRO 2.9

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

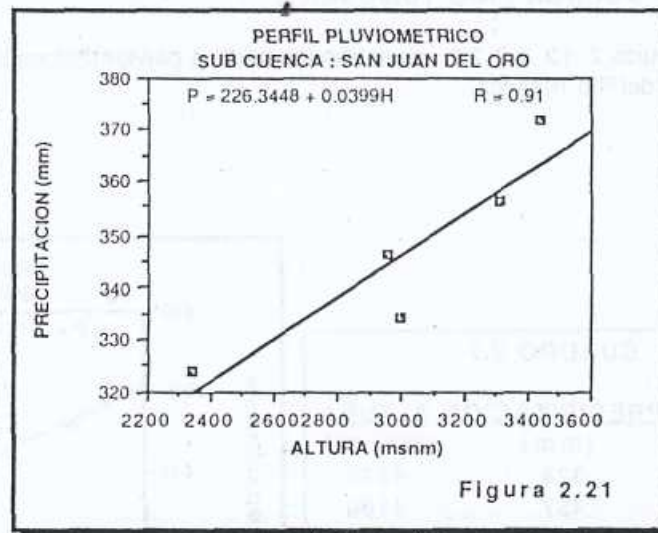


Figura 2.21

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.

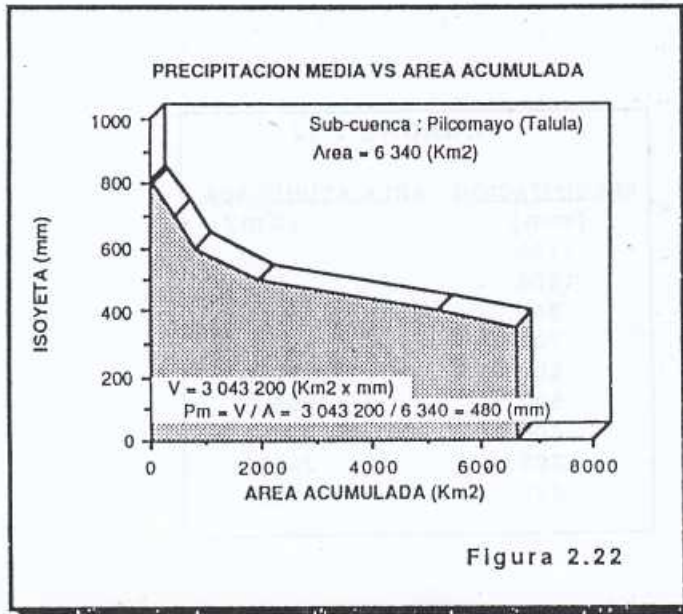


Figura 2.22

**CUADRO 2.10**

PRECIPITACION (mm)	AREA ACUMULADA (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.

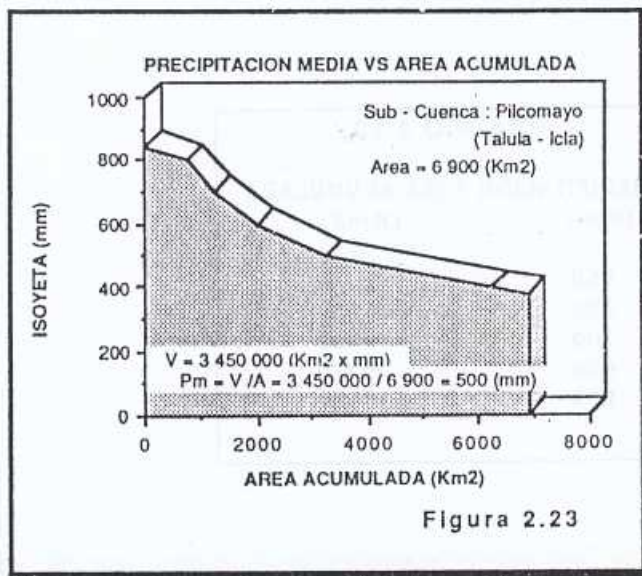


Figura 2.23

**CUADRO 2.11**

PRECIPITACION (mm)	AREA ACUMULADA (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 - cuen- del Río Pilcomayo entre Icla y Villamontes.

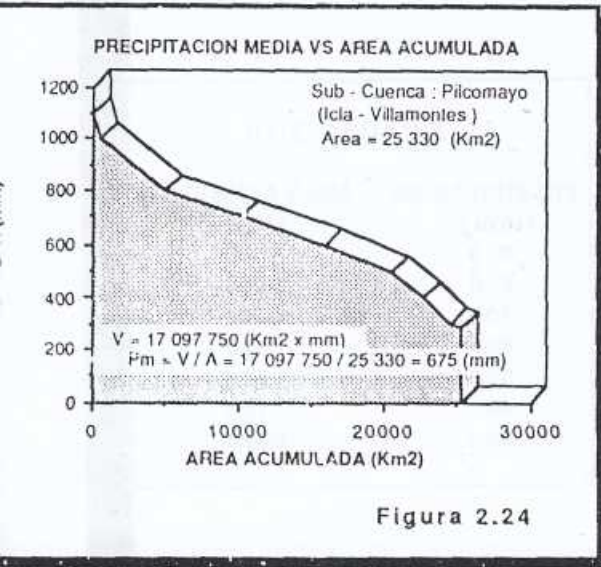


Figura 2.24

**CUADRO 2.12**

PRECIPITACION (mm)	AREA ACUMULADA (Km2)
1100	0
1000	500
800	5000
700	10300
600	16010
500	20500
400	22800
300	24500
280	25330

**B - 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.

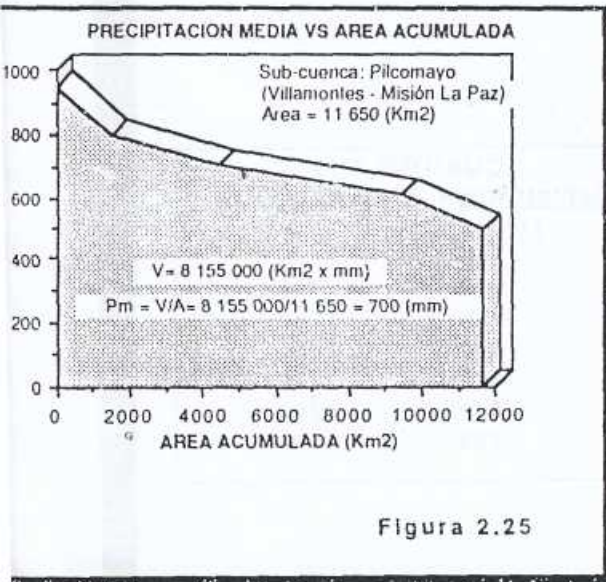


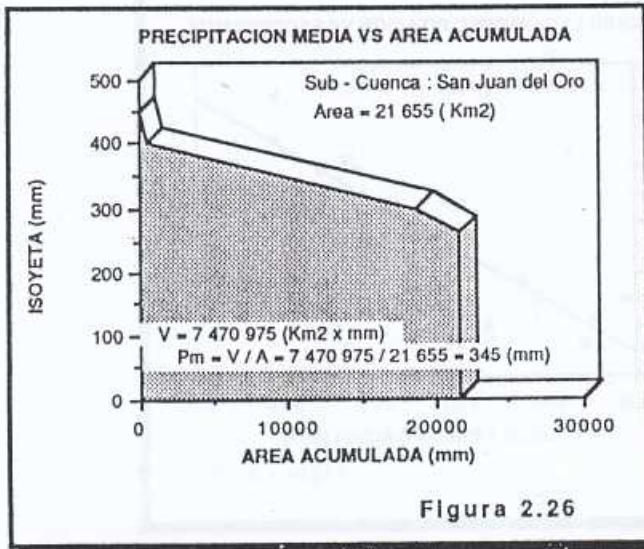
Figura 2.25

**CUADRO 2.13**

PRECIPITACION (mm)	AREA ACUMULADA (Km2)
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 Precipitación Media de la sub - cuenca del Río San Juan Del Oro.

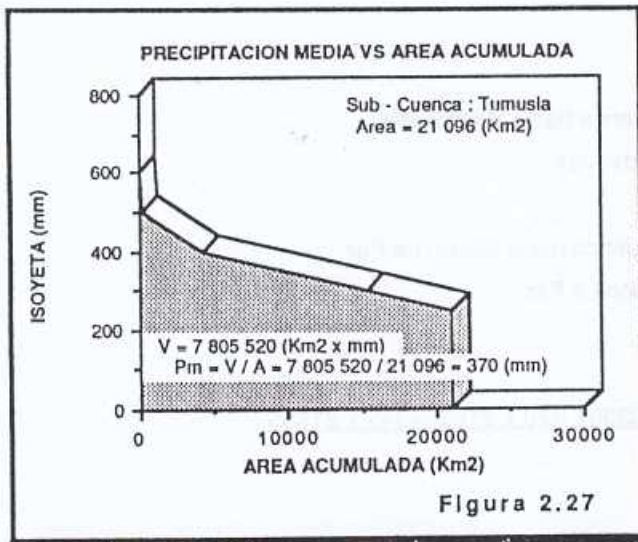


**CUADRO 2.14**

<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.



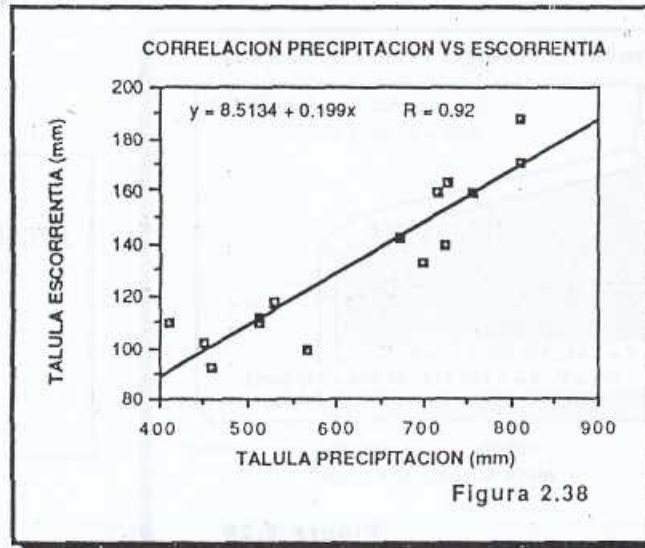
**CUADRO 2.15**

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

Cuadro 2.25

AÑO	TALULA PREG (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 nos permite estimar el caudal en función del área de las cuencas y de la pluviosidad :

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

$Q_x$  : Caudal en Villamontes

$\langle P_x \rangle$  : Precipitación Media de la cuenca hasta Villamontes

$A_x$  : Area de la cuenca hasta Villamontes

$Q_b$  : Caudal en Misión La Paz

$\langle P_b \rangle$  : Precipitación Media de la cuenca hasta Misión La Paz

$A_b$  : Area de la cuenca hasta Misión La Paz

Datos

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

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

$$\langle P_x \rangle = 478 \text{ (mm)}$$

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

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

$$Q_x = 0.826 \times Q_b$$

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 disminuídos 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.

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

$$Q_x = 1.136 \times 0.826 \times Q_b$$

$$= 0.938 \times Q_b \quad (\text{ver tabla de caudales medios anuales})$$

<u>CAUDALES MEDIOS ANUALES (m3/seg)</u>		
<u>AÑO</u>	<u>MISION LA PAZ</u>	<u>VILLAMONTES</u>
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	*224 243
1976	178	*167 170
1977	194.6	175 182
1978	251.5	*236 210
1979	356.7	350 307
1980	180.7	176 181
1981	298.3	*280 246
1982	290.8	*270 241
* Valores rellenados		
<u>Promedio</u>	<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 :

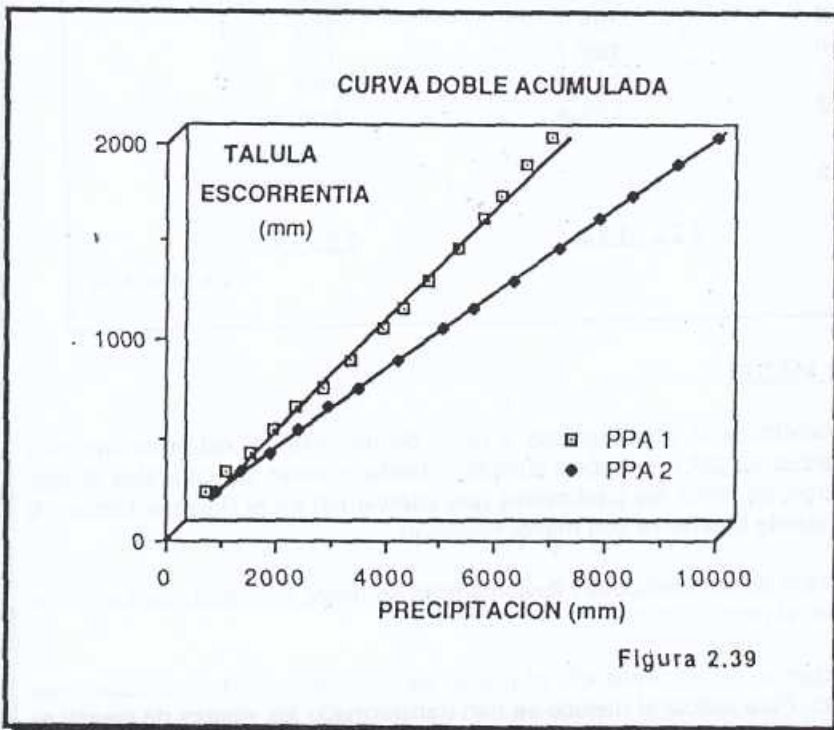
$$R = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/seg)} \times 31.536 \times 10^3}{A \text{ (Km}^2\text{)}}$$

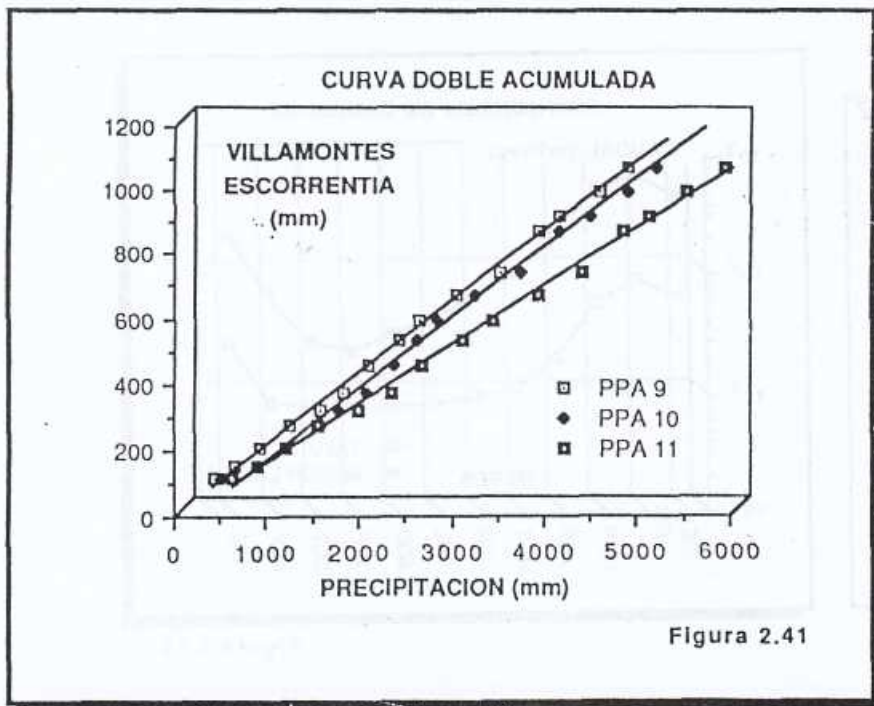
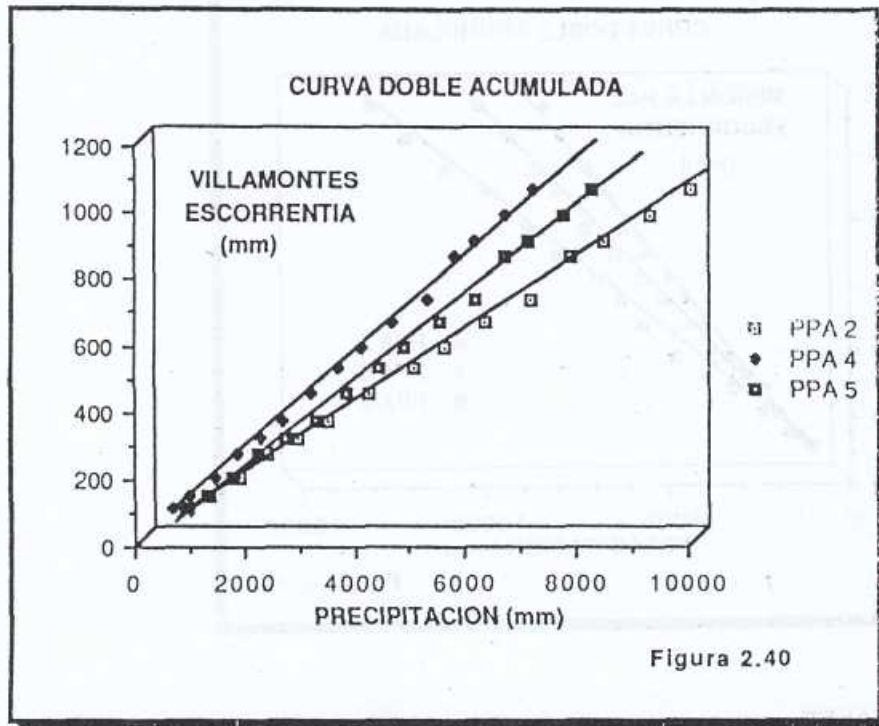
Las figuras 2.38 a 2.47 presentan las curvas Doble Acumuladas de Escorrentía y Escorrentía Precipitación

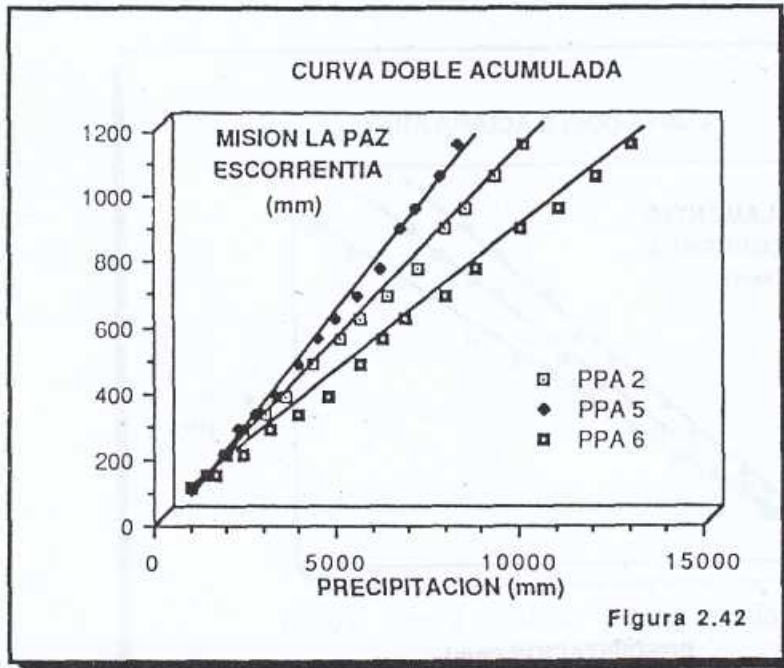
CUADRO 2.27

CUADRO DE ACUMULADAS DE PPA Y ESCORRENTIA

	PPA1	PPA2	PPA3	PPA4	PPA5	PPA6	PPA7	PPA8	PPA9	PPA10	PPA11	PPA12	TALULA	VILLAMONTES	M LAPAZ
0	531	728	908	510	777	723	582	645	325	409	507	309	187	82	87
58	900	1198	1434	800	1139	1430	1104	1274	548	798	800	537	289	119	126
70	1378	1722	2025	1264	1614	2202	1723	1915	820	1092	1099	863	381	176	186
71	1772	2216	2522	1692	2069	2978	2344	2568	1159	1477	1457	1175	491	243	257
72	2190	2779	3117	2112	2536	3690	2895	3206	1476	1683	1878	1489	608	289	305
73	2682	3353	3764	2520	3085	4542	3608	3792	1735	1962	2236	1757	707	342	362
74	3214	4085	4498	3026	3665	5385	4309	4396	2007	2261	2588	2088	846	431	456
75	3772	4869	5303	3495	4267	6036	4813	5060	2328	2514	3024	2479	1004	507	537
76	4140	5440	5788	3912	4701	6671	5380	5659	2561	2740	3351	2773	1114	564	597
77	4628	6172	6586	4470	5349	7738	6091	6325	2961	3149	3847	3176	1246	641	663
78	5143	6975	7331	5110	5988	8530	6706	6973	3425	3655	4315	3595	1409	713	748
79	5631	7729	8066	5635	6534	9805	7707	7486	3832	4049	4753	3928	1568	842	869
80	5923	8306	8479	5975	6919	10793	8388	7978	4062	4372	5011	4129	1676	885	910
81	6409	9114	9253	6537	7580	11869	9553	8545	4486	4798	5411	4514	1849	962	1031
82	6841	9852	9844	7041	8097	12815	10646	9079	4798	5085	5828	4791	1901	1043	1129







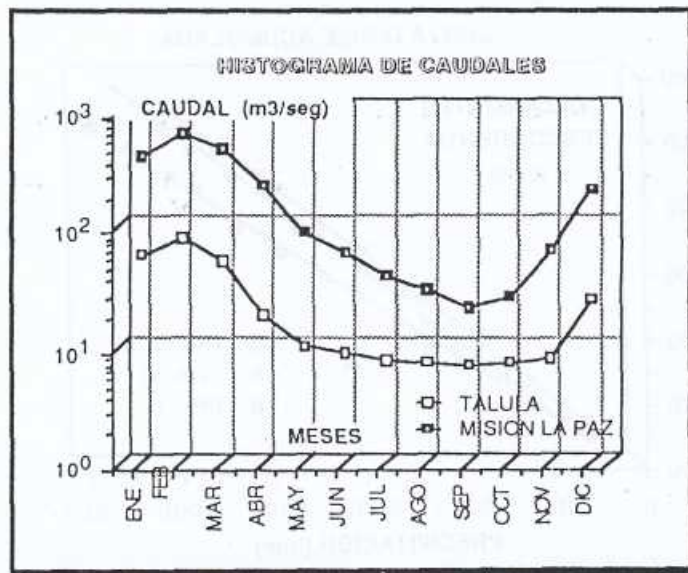
5.3 HISTOGRAMA DE CAUDALES

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

CAUDALES MEDIOS MENSUALES

MESES	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  $\mu$  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 periodo de tiempo permite despreciar variaciones de almacenamiento en la cuenca se puede considerar que el déficit de escorrentía

responde 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 :

$$ETR_c - ETR_m = \mu$$

Después se revisa y ajusta el trazado de los mapas de isolíneas de P,T y ETR; siempre y cuando haya razones técnicas para realizar las modificaciones. Se puede también volver a analizar las series de escurrientías.

## 2 Cuencas con antecedentes de escurrientia 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 comportamiento 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 Cuencas con antecedentes de escurrientía 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 erróneos y son presentados únicamente como indicadores tentativos.

## 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:

- 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 isolinéas será aproximado pero verificándose que:

$$P = R + ETR$$

y cuidando que en los mapas de isolinéas éstas se unan con las isolinéas 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 (Icla - 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 (Icla - 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 :

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

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

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

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

$$675 = 610 + 104.9 - 39.9$$

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

### 3.3.2.2 Sub-Cuenca Río Pilcomayo (Misión La Paz)

$$\begin{aligned} A &= 11\,650 \text{ (Km}^2\text{)} \\ \langle P_m \rangle &= 700 \text{ (mm)} \\ \langle ETR \rangle &= 635 \text{ (mm)} \\ \langle R \rangle &= 75 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

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 :

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

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

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

$$700 = 635 + 31.7 + 33.3$$

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

## 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).

$$\begin{aligned} A &= 6\,900 \text{ (Km}^2\text{)} \\ \langle P_m \rangle &= 500 \text{ (mm)} \\ \langle ETR \rangle &= 416 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle R \rangle &= 500 - 416 = 84 \text{ (mm)} \\ Q &= \frac{84 \times 6\,900}{31.536 \times 10^3} = 18.379 \text{ (m}^3\text{/seg)} \end{aligned}$$

### 3.3.1.2 Sub-Cuenca del Río Tumusla

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

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

$$Q = \frac{55 \times 21\,096}{31.536 \times 10^3} = 36.792 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

### 3.3.1.3 Sub-Cuenca del Río San Juan del Oro

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

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

$$Q = \frac{63 \times 21\,655}{31.536 \times 10^3} = 43.261 \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

### 3.3.3 Verificación de Caudales Por Balance

Esta verificación se realiza considerando que no existe control lluviométrico 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)

$$\begin{aligned} \langle P_m \rangle &= 480 \text{ [mm.]} \\ \langle \text{ETR} \rangle &= 370 \text{ [mm.]} \\ A &= 6.340 \text{ Km}^2 \\ R &= 480 - 370 = 110 \end{aligned}$$

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

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Talula - Icla)

$$Q = 18,379 \text{ [m}^3\text{]} \\ \text{[seg]}$$

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Icla - Villamontes)

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

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

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

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

$$Q = \frac{65 \times 25.33}{21,536} = 56,208 \text{ [m}^3\text{]} \\ \text{[seg]}$$

SUB - CUENCA: Pilcomayo (Tumusla)

$$Q = 36,792 \text{ [m}^3\text{]} \\ \text{[seg]}$$

SUB - CUENCA: San Juan del Oro

$$Q = 43,261 \text{ [m}^3\text{]} \\ \text{[seg]}$$

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

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

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

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

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

$$Q = \frac{65 \times 11.65}{31,536} = 24,012 \text{ [m}^3\text{]} \\ \text{[seg]}$$

Caudal Acumulado por Sub - Cuenca en Misión La Paz

$$QMLp. = \sum Q_{\text{Sub-cuencas}} \text{ (Calculado)} = 200.766 \text{ [m}^3\text{/seg]}$$

$$QMLp. = 222,186 \text{ [m}^3\text{]} \text{ (Medido)} \\ \text{[seg]}$$

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

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

3.3.4 VERIFICACION DE CAUDALES POR BALANCE EN VILLAMONTES

CUADRO 3.1

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

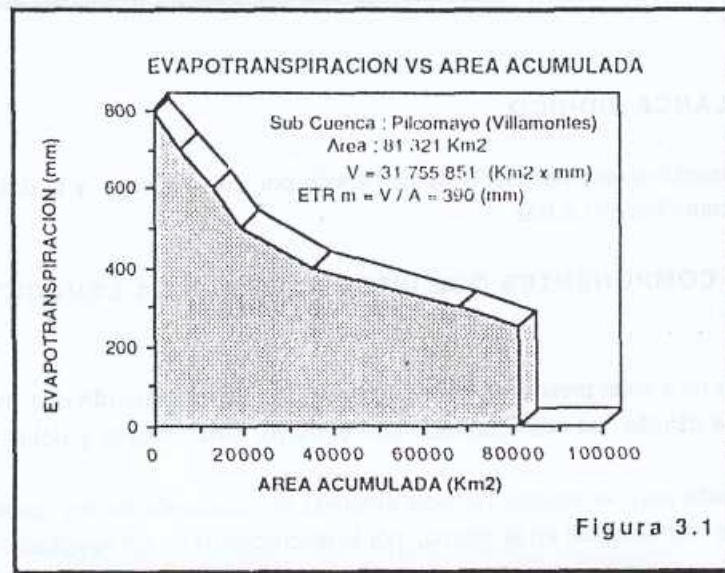


Figura 3.1

CUADRO 3.2

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

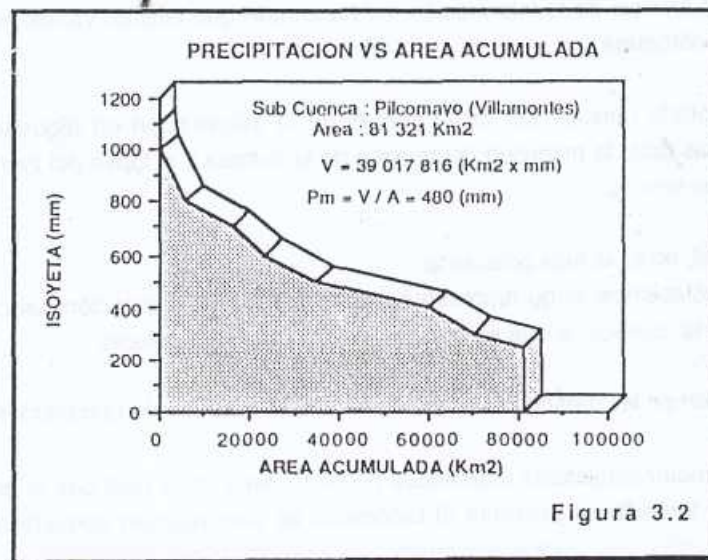


Figura 3.2

$$R = P - ETR$$

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

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

$$31.536$$

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

### RESUMEN DEL BALANCE HIDRICO

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

### ANÁLISIS 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; pese a que este estudio ha sido realizado con el mayor detenimiento y detalle que permiten el tiempo de análisis.

La información recolectada para el estudio ha sido obtenida directamente de los registros originales del pluviómetro, 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 se consideran mínimas dada la magnitud del tamaño de la cuenca y el lapso del tiempo. El análisis ha detectado 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 Km<sup>2</sup>, lo que no es 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 principal es de tipo orográfico, también se presenta el fenómeno de precipitación convertida, pero en menor proporción.

### PLUVIOMETRIA

La densidad de la red es muy pobre, se tiene 1 estación por cada 3100 Km<sup>2</sup>.

En toda la zona de los llanos tiene una sola estación para 11650 Km<sup>2</sup>.

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  $0.5^{\circ}\text{C}$  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  $24^{\circ}\text{C}$  con una disminución hasta los  $6^{\circ}$  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

En los ríos donde se presentan pocas variaciones topográficas en función de la variación geográfica, lo anterior tiene un régimen laminar.

## RECOMENDACIONES

Se debe densificar la red de estaciones termopluviométricas, sobre todo en las Sub-cuencas ICLA, SAN JUAN DEL ORO y del SAN JUAN DEL ORO, y en la divisoria de aguas entre cuencas y sub-cuencas. (Ver planos adjuntos y recomendación de nuevas instalaciones).

Instalar un número adecuado de estaciones pluviométricas a lo largo de los ríos principales: 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 comparar los datos obtenidos mediante este método con valores medidos por personal del SENAMHI y así poder mejorar la eficiencia 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 <sup>2</sup> )	PRECIPITACION < Pm >		ESCORRENTIA < R >			EVAPOTRANSPIRACION REAL < ETR >		DISCREPANCIA			COEF. ESCURR.
			(mm)	(Km <sup>3</sup> )	(l/s/Km <sup>2</sup> )	(mm)	(Km <sup>3</sup> )	(mm)	(Km <sup>3</sup> )	(mm)	(Km <sup>3</sup> )	(%)	< 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	6,85	---	---	---	0,15
	SAN JUAN DEL ORO	21655	345	7,47	2,00	63,0	1,36	282	6,11	---	---	---	0,18
	TOTAL	92971	508	47,04	2,38	75	6,97	439	40,81	8	0,744	1,6	0,15

ANEXO 1

ACTERISTICAS 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  
Tanja 9

- 3. Provincia:

<u>CHUQUISACA</u>	<u>ORURO</u>	<u>POTOSI</u>
Azurduy	A. Atahuallpa	A. Alonso de Ibañes
Belisario Boto	B. Avaroa	B. Bustillos
Hernando Siles	C. Carangas	C. Cornelio Saavedra
Luis Calvo	D. Cercado	D. Chayanta
Nor Cinti	E. Laidslao Cabrera	E. Charcas
Oropeza	F. Litoral	F. Daniel Campos
Sub Cinti	G. Pantaleon Dalence	G. Tomás Frías
Tomina	H. Poopo	H. Graf. Bilbao
Yamparaez,	I. Sajama	I. Linares
Tudañes	J. San Pedro de Totora	J. Modesto Omiste
	K. Sancari	K. Nor Chichas
	L. Sur Carangas	L. Nor Lipez
	M. Tomás Barrón	M. Quijarro
		N. Sud Chichas
		O. Sud Lipez

TARIJA

- 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

DE

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 periodo 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



**A1-4**

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

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".

### CONCEPCIÓN DEL PROGRAMA

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

Al seguir la concepción del paquete PLUVIO se accede, al programa de correlaciones a través de PLUVIO. 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)

### TRATAMIENTO ANUAL

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

### 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  $\alpha$  )
- 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.

## 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.

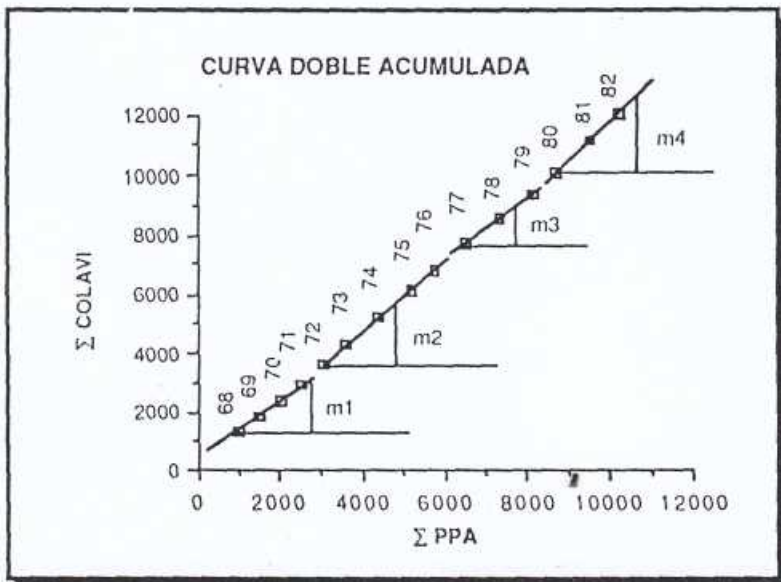
El manejo del programa de correlación mensual se realiza de la misma manera, accediendo a través de: Tratamiento de Información mensual con la única salvedad que en este programa es necesario introducir el "mes de correlación".

### 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	$\Sigma$ TALULA	$\Sigma$ COLAVI	$\Sigma$ 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



Antes de la gráfica se obtienen cuatro tendencias :

Quiebre	Pendiente	Factor de Corrección
68-1971	m= 1.062	
72-1976	m= 1.186	$\beta = 1.186/1.062 = 1.116$
77-1979	m= 1.064	$\beta = 1.064/1.186 = 0.897$
81-1982	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 B</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- $\frac{ETR THIR.}{ETR TURC}$ )
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 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	=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	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	

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	l=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	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	4.88	=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		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	

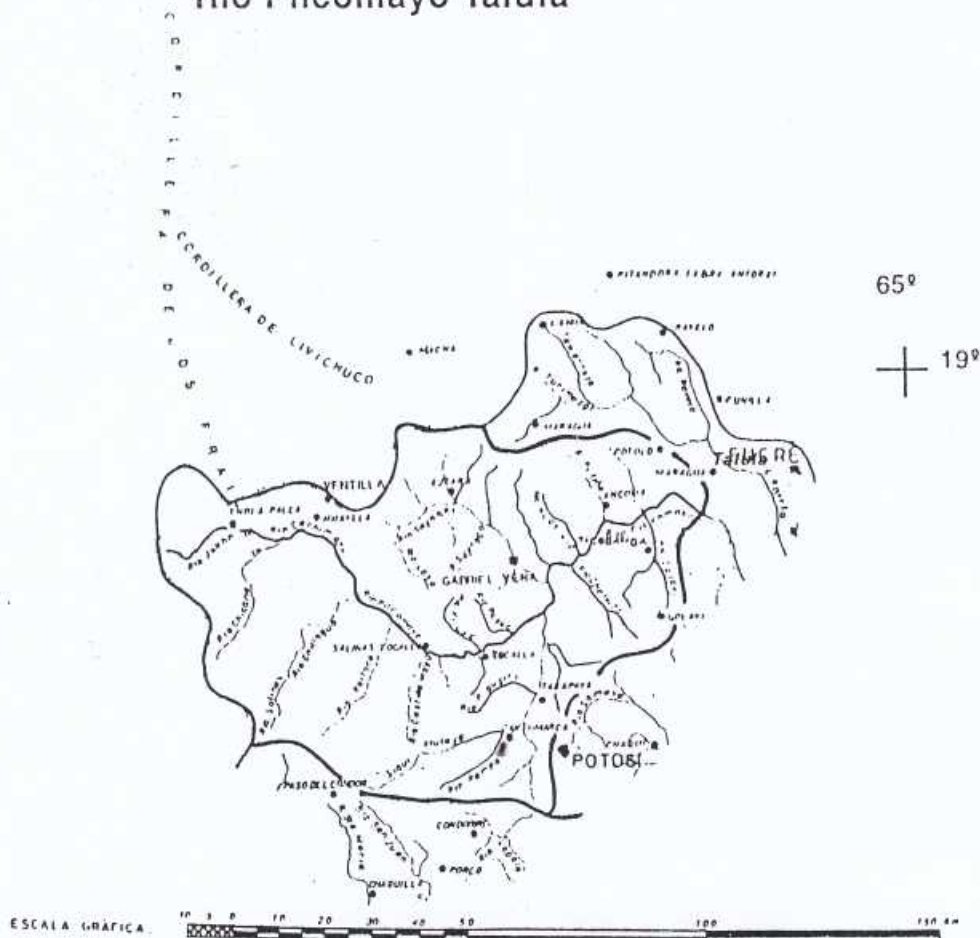
CUENCA : PILCOMAYO LONGITUD 65° 33'  
 SUB-CUENCA : SAN JUAN DEL ORO LATITUD 21° 49'  
 PAIS : BOLIVIA ALTURA 3400

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	98.7	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*  
 $A = 6340$  km<sup>2</sup> *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*

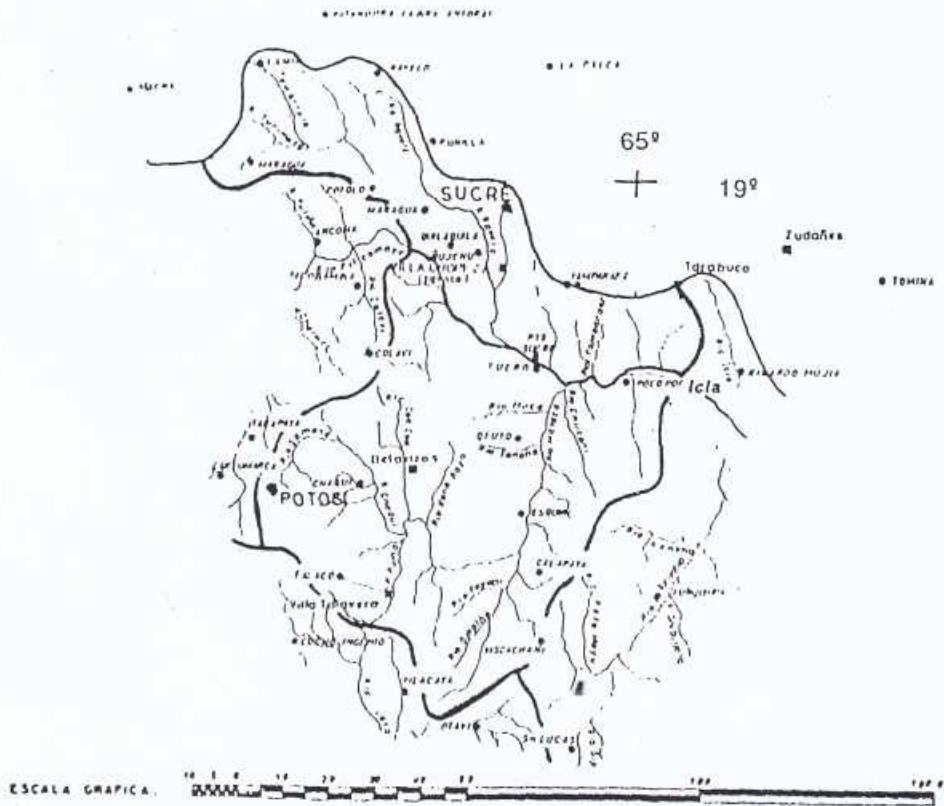
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{6340}{4 \times 540} = 2.94$$

$E_m$  : *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*

$A = 6900$  km<sup>2</sup> *Área 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*

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

$C$  : *Índice de compacidad*

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

$D_d$  : *Densidad de drenaje*

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

$E_m$  : *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

$A = 25\,330$  km<sup>2</sup> Área 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

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

$C_c$  : 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

$$I_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1000 \times L_p} = \frac{2200 - 340}{1000 \times 291} = 6.392 \times 10^{-3}$$

$I_r$  : Pendiente media del río

# Subcuenca Rio TUMUSLA

**ANEXO 4**



- P = 700 km Perimetro de la cuenca
- A = 21 096 km<sup>2</sup> Area de la cuenca
- L = 2 359 km Longitud de los ríos de la subcuenca
- L<sub>p</sub> = 218 km Longitud del río principal

- H<sub>max</sub> = 4 500 msnm Altitud máxima del río
- H<sub>min</sub> = 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<sub>c</sub> : Índice de compacidad

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

D<sub>d</sub> : Densidad de drenaje

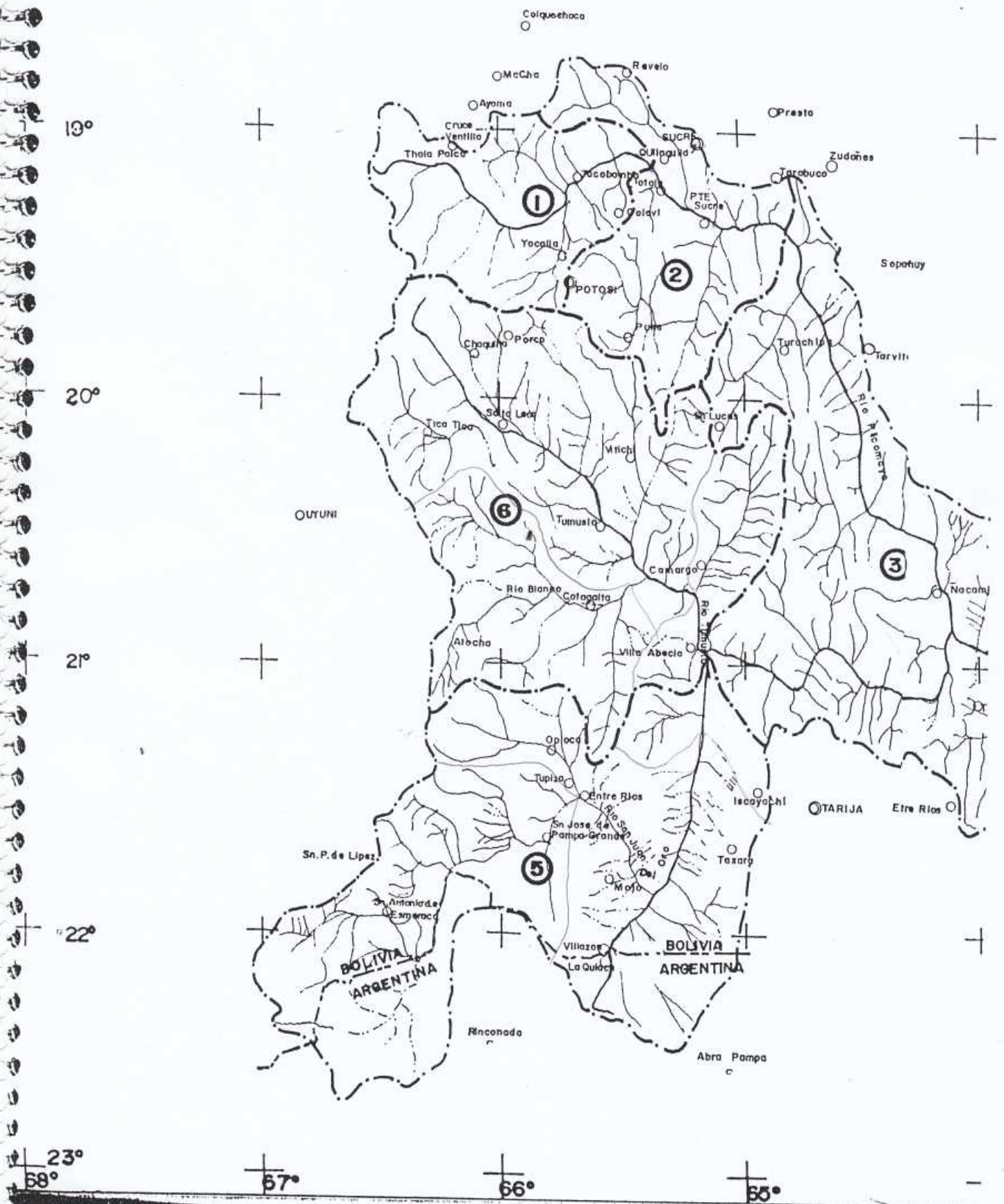
$$E_m = \frac{A}{4L} = \frac{21\,096}{4 \times 2\,359} = 2.24$$

E<sub>m</sub> : 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<sub>r</sub> : Pendiente media del río

# Cuenca del Rio Pilcomayo



# Rio Pilcomayo

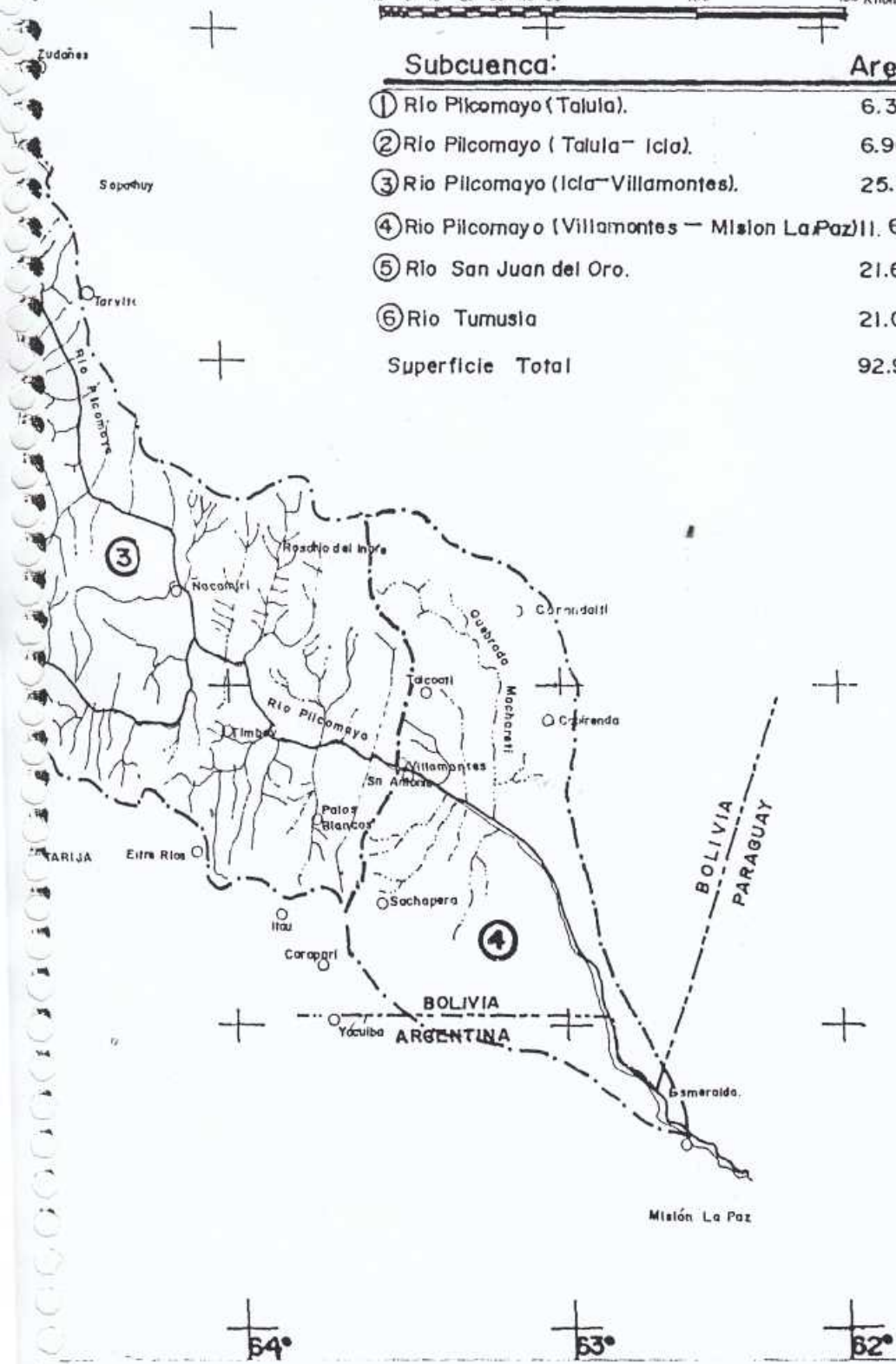
## REFERENCIAS.

ESCALA: 1:2.000.000.

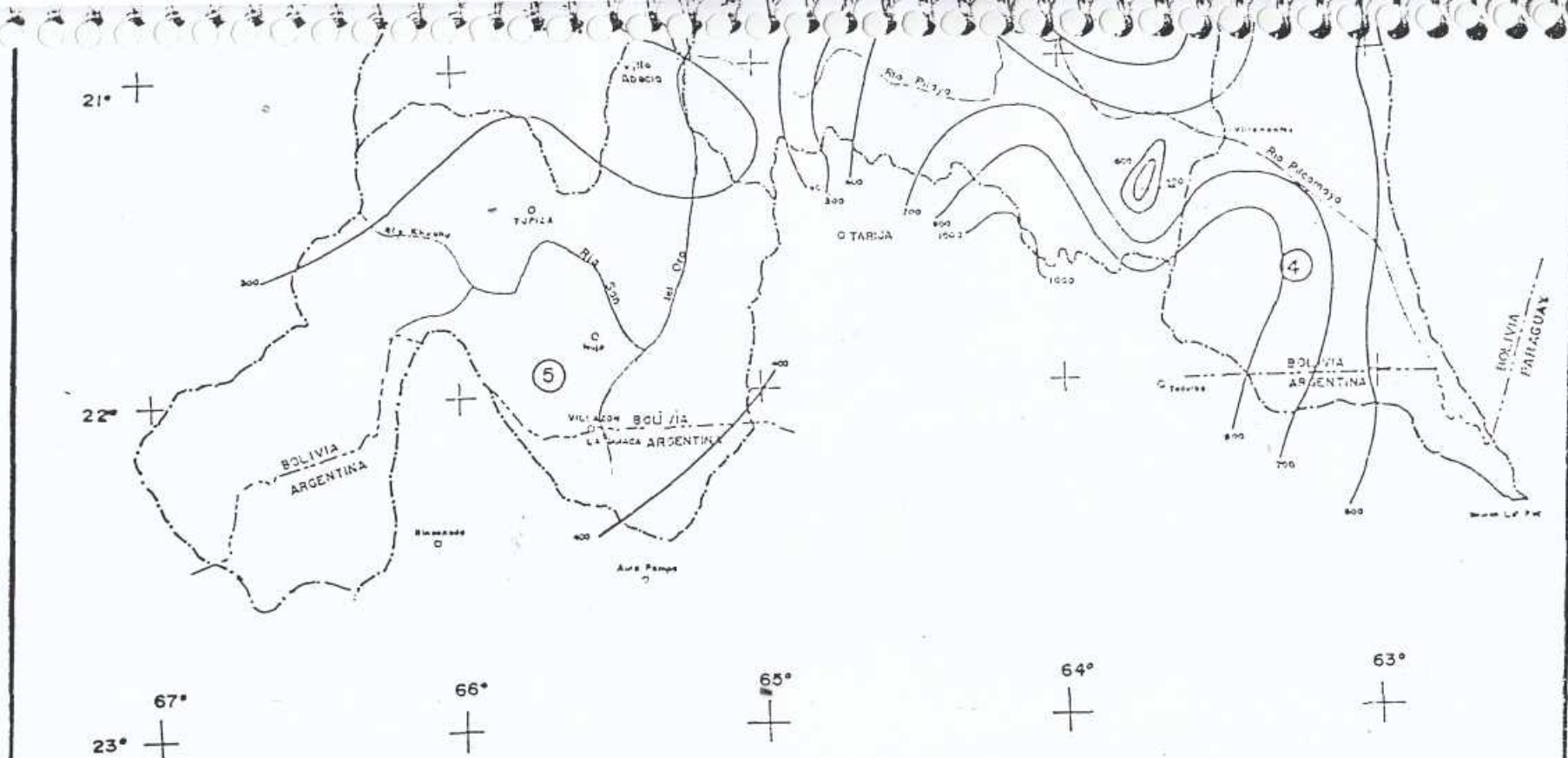
0 0 10 20 30 40 50 100 150 Kilometros



Subcuenca:	Area
① Rio Pilcomayo (Talula).	6.340. Km. <sup>2</sup>
② Rio Pilcomayo (Talula - Icla).	6.900 Km. <sup>2</sup>
③ Rio Pilcomayo (Icla - Villamontes).	25.330 Km. <sup>2</sup>
④ Rio Pilcomayo (Villamontes - Misión La Paz)	11.650 Km. <sup>2</sup>
⑤ Rio San Juan del Oro.	21.655 Km. <sup>2</sup>
⑥ Rio Tumusla	21.096 Km. <sup>2</sup>
Superficie Total	92.971 Km. <sup>2</sup>







**Referencias**

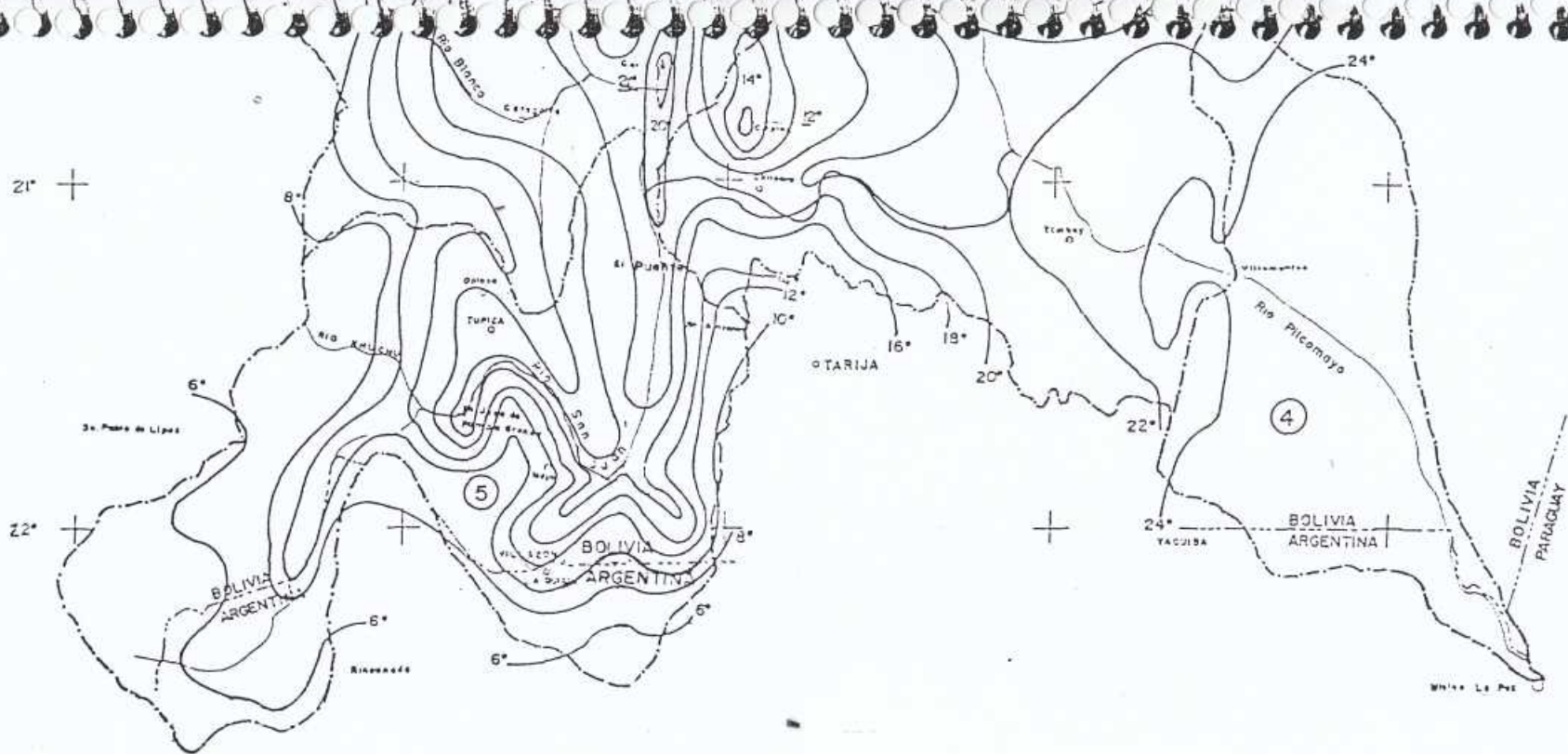
ESCALA: 1:2.000.000



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

NOTA: El plano tiene una reduccion del 10% del tamaño original





**Referencias**

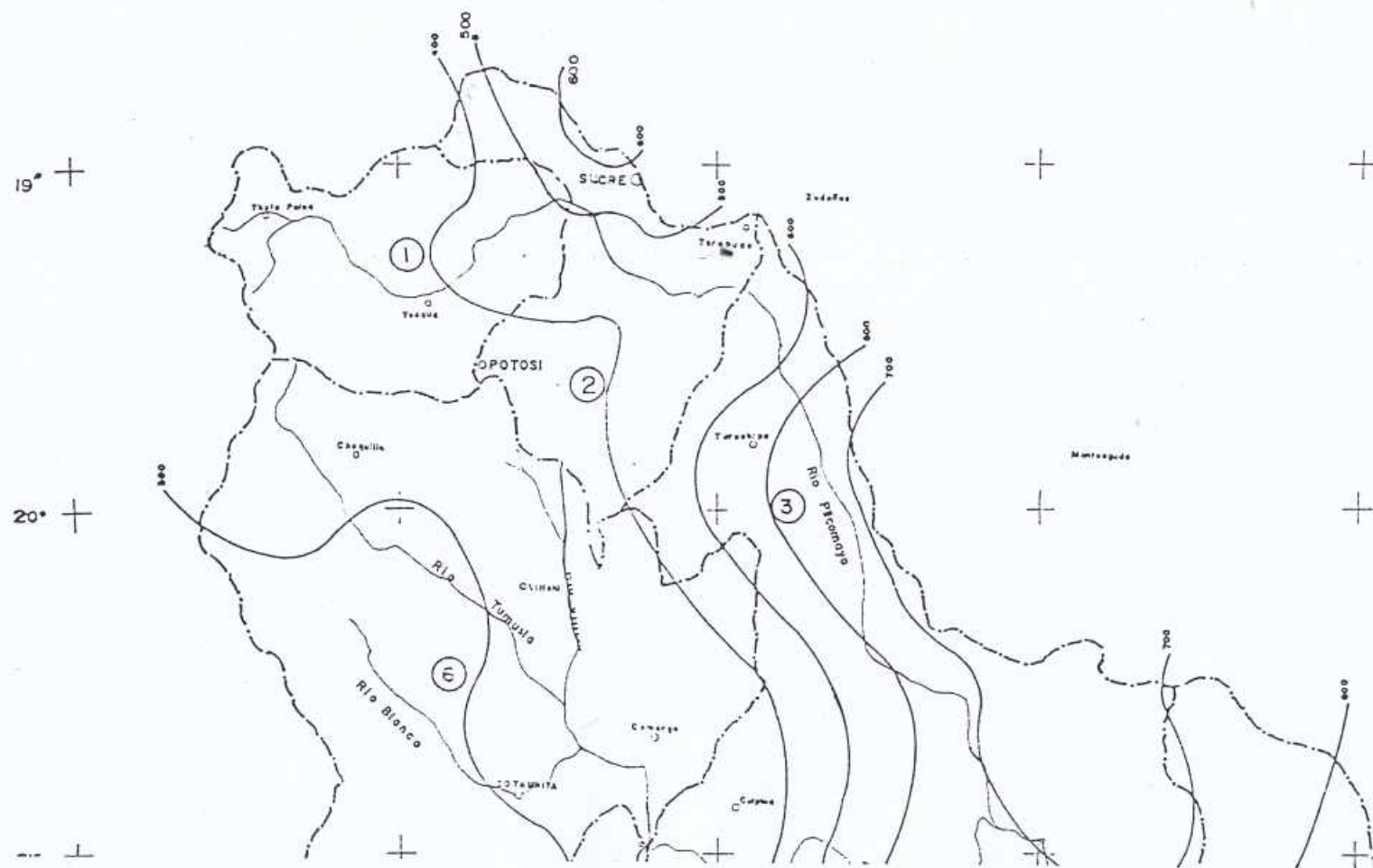
**ESCALA 1:2.000.000**



Subcuenca	Area Km <sup>2</sup>
1 Río Pilcomayo (Talula).	6.340
2 Río Pilcomayo (Talula-Icla)	6.900
3 Río Pilcomayo (Icla-Villamontes).	25.330
4 Río Pilcomayo (Villamontes-Mision La Paz)	11.680
5 Río San Juan del Oro	21.655
6 Río Tumusia	21.096
<b>Superficie Total</b>	<b>92.971</b>

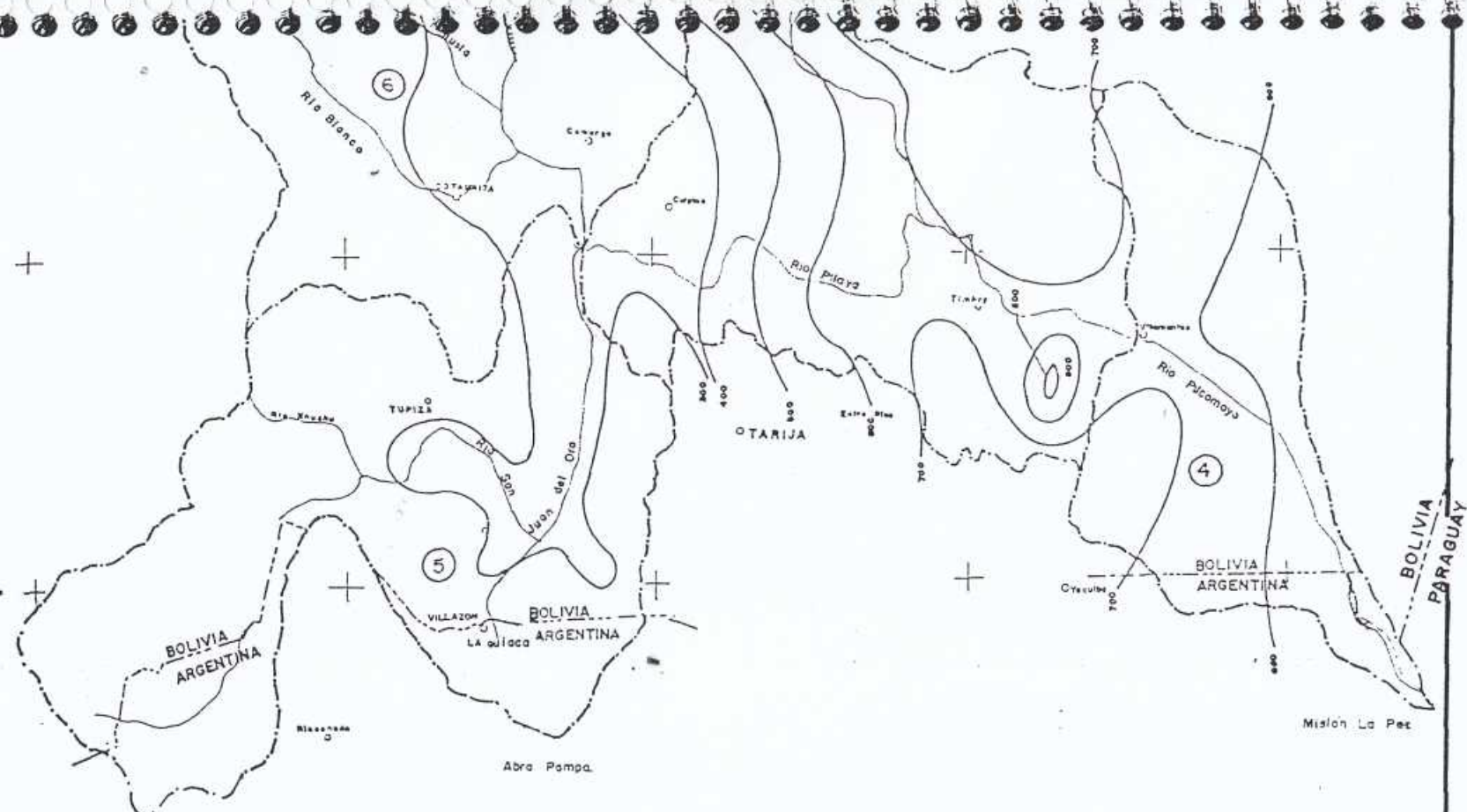
NOTA: El plano tiene una reducción del 10 % de tamaño original.

Cuenca del Rio Pilcomayo  
Plano de Isolineas de Evatranspiracion  
Periodo (1968-1982).



21° +

22° +



**Referencias**

ESCALA: 1:2.000.000

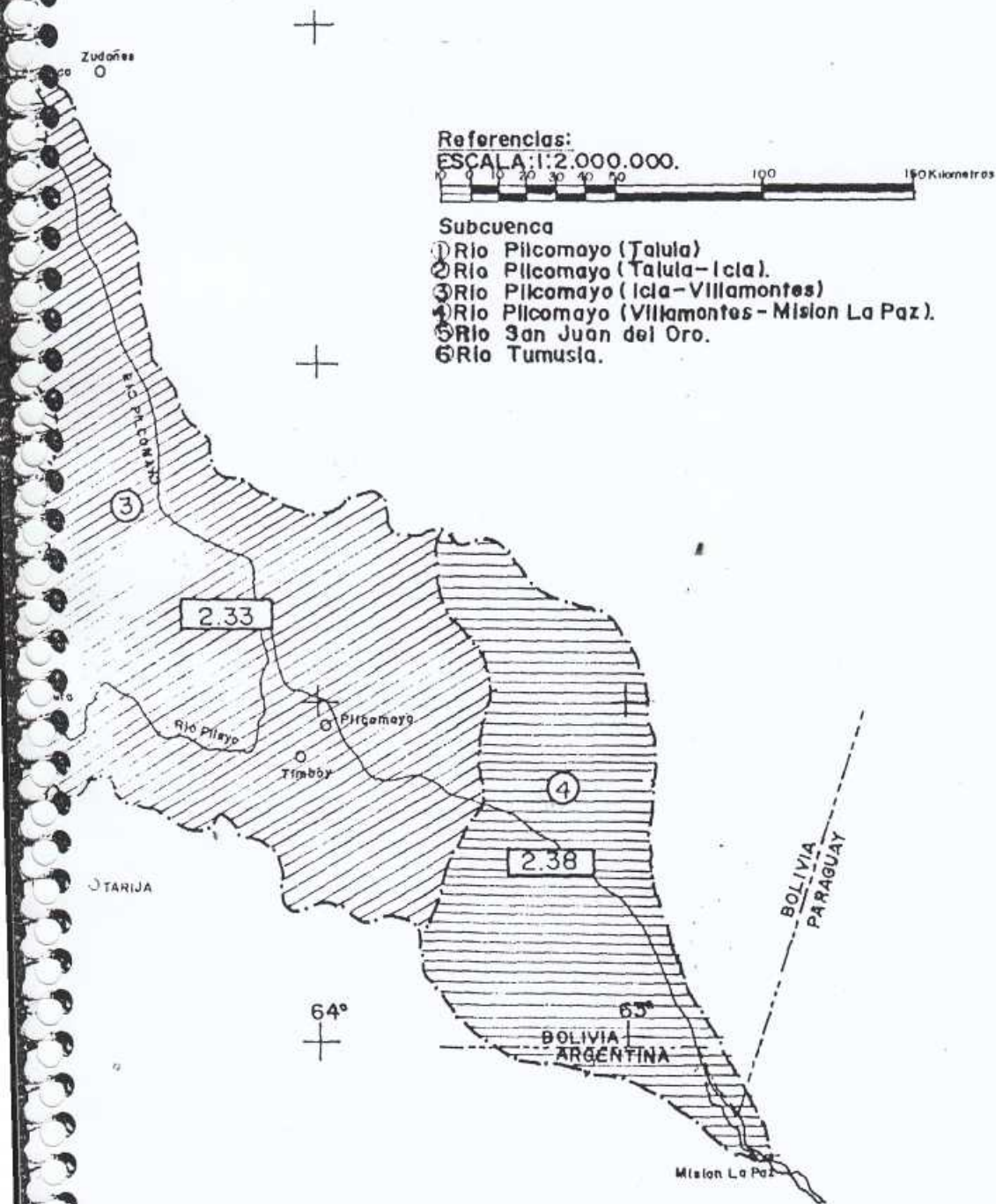


Subcuenca	Area	Km <sup>2</sup>
① Río Pilcomayo (Talula).	6.340	
② Río Pilcomayo (Talula-Ica).	6.900	
③ Río Pilcomayo (Ica-Villamontes).	25.330	
④ Río Pilcomayo (Villamontes-Misión La Paz).	11.650	
⑤ Río San Juan del Oro	21.655	
⑥ Río Tumusla	21.096	
Superficie Total	92.971	

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



# RIO PILCOMAYO TALES 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 Hidrometeorológicas - *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. Álgebra 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 Meteorológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur - *UNESCO ROSTLAC* 1983