

Comisión Trinacional

**Comisión Trinacional  
de la Cuenca del  
Río Pilcomayo**

Comisión de las

**Comisión de las  
Comunidades  
Europeas  
D.G.I**

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

**CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO**

Misión de identificación y

Análisis

para el Plan de Manejo Integrado

< >

**ANEXO III**

***RECURSOS HIDRICOS***

**OCTUBRE 97**

HH~080

Comisión Trinacional  
de la Cuenca del  
Río Pilcomayo

Comisión de las  
Comunidades  
Europeas  
D.G.I

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

# CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO

Misión de identificación y  
análisis  
para el Plan de Manejo Integrado

< >

ANEXO III

## *HIDROMETEOROLOGIA*

OCTUBRE 97

Comisión Trinacional  
de la Cuenca del  
**Comisión Trinacional  
de la Cuenca del  
Río Pilcomayo**

Comisión de las  
Comunidades  
**Comisión de las  
Comunidades  
Europeas  
D.G.I**

CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO

**CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO**

**MISION DE IDENTIFICACION Y  
ANALISIS  
PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRADO**

ANEXO III

**ANEXO III**

HIDROMETEOROLOGIA

**RECURSOS HIDRICOS**

OCTUBRE 97

OCTUBRE 97

WINDOWS 3.11

MICROSOFT WORD 6.0

\*TAMAÑO A4 (210 x 297 mm):

WINDOWS 3.11

MICROSOFT WORD 6.0

carátula (carat\_a4.doc)

\*TAMAÑO A4 (210 x 297 mm):

texto (geom\_a4.doc)

\*TAMAÑO Letter (8.5 x 11 pulgadas)

carátula (carat\_lt.doc)

texto (geom\_ltr.doc)

Comisión Trinacional  
de la Cuenca del  
Río Pilcomayo

Comisión de las  
Comunidades  
Europeas  
D.G.I

## CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO

### MISION DE IDENTIFICACION Y ANALISIS PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRADO



#### ANEXO III

## HIDROMETEOROLOGIA

(TEXTO Y ANEXOS)

OCTUBRE 97

*WINDOWS 3.11*

*MICROSOFT WORD 6.0*

\**TAMAÑO A4 (210 x 297 mm) :*

*carátula (carat\_a4.doc)*

*texto (geom\_a4.doc)*

\**TAMAÑO Letter (8.5 x 11 pulgadas)*

*carátula (carat\_lt.doc)*

*texto (geom\_ltr.doc)*

<b>1. PRESENTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TERMINOS DE REFERENCIAS.</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA MISIÓN.</b> .....	<b>3</b>
<b>4. HIDRO-METEOROLOGÍA.</b> .....	<b>4</b>
4.1. CUENCA VERTIENTE DEL RÍO PILCOMAYO.....	4
4.1.1. <i>Disponibilidad de los datos.</i> .....	4
4.1.2. <i>Ubicación de los estaciones.</i> .....	11
4.1.3. <i>Resultados disponibles.</i> .....	15
4.1.4. <i>Análisis suplementarias.</i> .....	18
4.2. CUENCA RECEPTORA DEL RÍO PILCOMAYO.....	26
4.2.1. <i>Ubicación y disponibilidad de los datos.</i> .....	26
4.2.2. <i>Resultados disponibles.</i> .....	29
4.3. ESQUEMA PARA UNA RED HIDROMÉTRICA.....	32
4.4. EL PROBLEMA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	34
<b>5. USO DE LAS AGUAS : SITUACIÓN ACTUAL Y PROPOSICIONES.</b> .....	<b>34</b>
5.1. APROVECHAMIENTO DE AGUAS.....	34
5.2. PROYECTOS DE DEFENSA O RECUPERACIÓN DE TIERRAS. ....	35
5.2.1. <i>Proyectos de riego sobre los tributarios.</i> .....	38
5.2.2. <i>Especificidad de la cuenca receptora.</i> .....	39
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
6.1. DATOS HIDRO - METEOROLÓGICOS. ....	40
6.1.1. <i>Pluviometría.</i> .....	40
6.1.2. <i>Hidrometría.</i> .....	41
6.1.3. <i>El problema de la base de datos.</i> .....	44
6.2. USO DE LAS AGUAS.....	44
6.2.1. <i>Diagnostico.</i> .....	44
6.2.2. <i>Proyectos a desarrollar.</i> .....	45

<i>Figura n°1.</i> DURACIÓN CARACTERÍSTICA DE UNA CRECIDA.....	20
<i>Figura n°2.</i> TALULA : DURACIÓN CARACTERÍSTICA.....	20
<i>Figura n°3.</i> VIÑA QUEMADA : DURACIÓN CARACTERÍSTICA.....	20
<i>Figura n°4.</i> ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE GR2M .....	22
<i>Figura n°5.</i> TOTAL PLUVIOMÉTRICO ANUAL EN ALGUNAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL PILCOMAYO EN VIÑA QUEMADA.....	22
<i>Figura n°6 :</i> RESULTADOS DEL MODELO GR2M .....	23
<i>Figura n°7.</i> RESULTADOS DEL MODELO GR2M .....	24
<i>Figura n°8.</i> RESULTADOS DEL MODELO GR2M. ....	25
<i>Figura n°9.</i> RESULTADOS DEL MODELO GR2M. ....	26
<i>Figura n°10.</i> CAUDALES MENSUALES EN VILLAMONTES Y LA PAZ.....	29
<i>Figura n°11.</i> COMPARACIÓN DE LOS VOLÚMENES OBSERVADOS EN VILLAMONTES Y LA PAZ ENTRE LOS AÑOS 1961-62 Y 1975-76 (EN PORCENTAJE DEL VOLUMEN TOTAL).....	30
<i>Figura n°12.</i> HIDROGRAMA ANUAL EN ESTACIÓN LA PAZ : AÑO 1983-1984.....	31
<i>Figura n°13.</i> HIDROGRAMA ANUAL EN LA ESTACIÓN DE ESPINILLO SOBRE EL RÍO PORTEÑO.....	32
<i>Figura n°14.</i> ESQUEMA DE LA RED HIDROGRAFICA DEL PILCOMAYO Y POSIBLE UBICACIÓN DE ESTACIONES..	33
<i>Figura n°15.</i> POTENCIAL DE RIEGO EN BOLIVIA.....	35
<i>Figura n°16.</i> ESQUEMA DE UN PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE TIERRAS.....	37
<i>Cuadro n°1.</i> DATOS DISPONIBLES SEGÚN LOS INFORMES PRECEDENTES EN LA SUBCUENCA DE TALULA. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°2.</i> DATOS DISPONIBLES SEGÚN LOS INFORMES PRECEDENTES EN LA SUBCUENCA DE VIÑA QUEMADA. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°3.</i> DATOS DISPONIBLES SEGÚN LOS INFORMES PRECEDENTES EN LA SUBCUENCA DE VILLAMONTES. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°4.</i> DATOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°5.</i> DATOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DE POTOSÍ. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°6.</i> DATOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°7.</i> ESTACIONES HIDROMÉTRICAS IDENTIFICADAS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°8.</i> RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°9.</i> ANÁLISIS BREVE DE LAS LLUVIAS MÁXIMA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Cuadro n°10.</i> RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DOS ESTACIONES.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Mapa n°1.</i> MAPA DE UBICACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR.....	1.
<i>Mapa n°2.</i> MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL RÍO PILCOMAYO.....	2
<i>Mapa n°3.</i> LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.....	2.
<i>Mapa n°4.</i> SUBCUENCA ALTA DEL RÍO PILCOMAYO.....	12
<i>Mapa n°5.</i> SUBCUENCA BAJA DEL RÍO PILCOMAYO.....	13

Mapa n°6. SUBCUENCA DEL PILAYA Y SAN JUAN DEL ORO.....	14
Mapa n°7. PLANO DE ISOHETAS (PERÍODO 1968-1982) <b>[ALBORNÓZ 1988]</b> .....	17
Mapa n°8. RED PLUVIOMETRICA EN LA CUENCA ARGENTINA.....	27
Mapa n°9. PROYECTOS DE RIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA.....	38

## DOCUMENTOS ANEJOS.

**ANEXO N°1 : EMPLEO DEL TIEMPO.**

**ANEXO N° 2 : PERSONAS Y ORGANISMOS ENCONTRADOS.**

**ANEXO N° 3 : BIBLIOGRAFÍA.**

**ANEXO N° 4 : DOCUMENTOS FOTOGRÁFICOS.**

**ANEXO 5 : CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO, MAPAS EXTRAÍDAS DEL ATLAS HIDROLÓGICO DEL PROYECTO PHICAB - 1990.**

**ANEXO N°6 : DATOS DISPONIBLES Y USADOS PARA EL MODELO**

**ANEXO N°7 : MAPAS DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PROVISA.**

**ANEXO N°8 : PRESENTACIÓN DEL MODELO GR2M.**

## 1. PRESENTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.

### *Mapa n°1.*

MAPA DE UBICACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR

El Río Pilcomayo forma parte del sistema hidrográfico de la cuenca del río de la Plata con una cuenca vertiente ubicada en el territorio Boliviano de 87 000 km<sup>2</sup> y un área de influencia baja (más que una cuenca) que interesa los dos países ribereños que son Argentina y Paraguay con respectivamente 79 000 km<sup>2</sup> y 95 000 km<sup>2</sup>.

Los mapas n°1 y 2 dan una idea de la ubicación del río.

La cuenca vertiente se extiende sobre los departamentos de Chuquisaca, Potosí y Tarija. Toda esta parte esta ubicada en el área andina de Bolivia con un relieve y pendientes muy fuertes, con alturas que pasan de casi 6 000 metros sobre el nivel del mar (m.snm) hasta menos de 500 m.snm a su salida en el Chaco, aguas arriba de la ciudad de Villamontes. El río sale de su cuenca andina por el Angosto de Villamontes hacia la Llanura Chaqueña y tiene una dirección oeste - noroeste hasta este - sudeste, materializando la frontera entre Argentina y Paraguay hasta su desembocadura en el río Paraguay, cerca de Asunción. Hay que precisar que en su parte

chaqueña el cauce principal desaparece en una zona pantañosa y que esta tendencia parece intensificarse desde los años 1940 y siguientes en cuanto se puede observar un retroceso del cauce con un promedio de 4 km. cada año. Hasta ahora se observa un retroceso de más de 220 km. entre el estero Patino y el punto llamado "La Dorada" donde hoy se encuentra el punto de taponamiento.

La primera exploración del curso chaqueño del río Pilcomayo empezó por la expedición del Dr. CREVEAUX en el año 1876 que paró en el Chaco Paraguayo después de un ataca de los indios que mataron todos los miembros del grupo. Dos años después, el Señor A. THOUAR realizó el reconocimiento completo del curso del río Pilcomayo a la demanda y con la ayuda de los gobiernos de Bolivia, Paraguay y Argentina. Esto significa que no disponemos de ningún mapa ni conocimiento del régimen del Río antes del inicio de este siglo, conocimiento ahora disponible sobre un período bastante corto para un río que cambia muy a menudo. Este hecho nos parece importante para entender la dificultad de comprensión de esta cuenca y de sus problemas.

*Mapa n°2.*

MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL RÍO PILCOMAYO.



*Mapa n°3.*

LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.



## **2. TERMINOS DE REFERENCIAS.**

La misión solicitada por la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo tiene por objetivo cooperar en la elaboración de un programa de manejo integral de la cuenca. En particular, algunos objetivos (entre otros) son los siguientes :

- una caracterización del comportamiento singular del régimen hídrico de la cuenca,
- una evaluación de las posibilidades del uso racional de los recursos hídricos compatible con un desarrollo sustentable de la cuenca,
- el estudio de una red de estaciones hidrológicas.

Por eso, fui particularmente a cargo de los aspectos Recursos hídricos y Planificación de cuenca, incluyendo

- reconocimiento en la cuenca vertiente,
- visitas de proyecto en la cuenca receptora,
- revisión de los datos hidro-climáticos disponibles,
- determinación de distintas subcuencas,
- establecimiento de un modelo hidrológico simplificado de la cuenca,
- determinación esquemática del funcionamiento hidráulico,
- evaluación de los proyectos de represas,
- revisión de los inventarios de uso actual de las aguas,
- recomendaciones sobre la red de estaciones hidro-climáticas,
- esbozo de un sistema de alerta hidrológica.

Todos esos puntos fueron tocados durante la misión con una investigación más o menos profunda, conforme a la información disponible. Las dificultades para encontrar los datos hidro-climáticos, esenciales para los aspectos hidrológicos de la misión, significarán mucho tiempo al perjuicio de los otros aspectos como el uso actual de las aguas.

Especialmente, fue casi imposible la evaluación de los proyectos de represas ya que estos proyectos, excepto ICLA y PROVISA, quedan al nivel de perfil o de identificación de proyecto sin ningunos estudios sino una evaluación muy rápida de sus características.

## **3. DESARROLLO DE LA MISIÓN.**

La misión se desarrolló como era prevista con la excepción de su parte final que se pasó en Paraguay sin volver a Bolivia, debido a las posibilidades de vuelo entre Bolivia y Paraguay. En anexo, se encuentran un cronograma del tiempo detallado y la lista de las personas y de los organismos encontrados durante la misión.

Es el momento de agradecer a todas las personas que facilitaron su buen desarrollo, y especialmente a los miembros de las comisiones nacionales para el desarrollo del Río Pilcomayo. Una mención especial es necesaria para Abel BARROSO, en Tarija, cuyos esfuerzos para manejar y coordinar los diferentes cronogramas de expertos fueron muy eficientes. Agradezco también a Gabriel GAITE y Samuel QUIROGA quienes nos acompañaron durante el reconocimiento de la cuenca boliviana y facilitaron nuestros contactos con los organismos

presentes en esta zona. Agradezco a María del Carmen ALVAREZ y Oscar CAME quienes contribuyeron a hacer agradable la estancia en Asunción.

Encontramos muchos informes, especialmente en Tarija, Sucre y Asunción, y tratamos de extraer de esos las informaciones hidrológicas y los proyectos de uso de las aguas. Una lista bibliográfica de la mayor parte de los informes consultados esta en anexo. Solamente en Formosa, fue difícil encontrar informes recientes y, además, no dispusimos de mucho tiempo para analizarlos.

Los obligaciones debidas a los plazos de la misión y sus vuelos no dejaron tiempo suficiente para una investigación muy detallada en la cuenca receptora, especialmente en Villamontes y Formosa. Faltó algunos días suplementarios para visitar el campo y encontrar todas las personas interesadas disponiendo de informaciones sobre los usos de las aguas en esta parte de la cuenca.

Por otra parte, fue difícil de disponer de datos hidro-meteorológicos digitalizados en una forma adecuada para probar un modelo hidrológico de la cuenca. Fue necesario digitalizar por si mismo los datos hidrométricos mensuales encontrados en los informes así que algunos datos pluviométricos mensuales para completar los datos ya disponibles en Tarija o Asunción.

#### **4. HIDRO-METEOROLOGÍA.**

##### **4.1. CUENCA VERTIENTE DEL RIÓ PILCOMAYO.**

###### **4.1.1. Disponibilidad de los datos.**

###### **4.1.1.1. Datos pluviométricos.**

La red de estaciones pluviométricas (o meteorológicas) parece bastante densa sobre la cuenca vertiente del Río Pilcomayo. En los estudios precedentes se puede encontrar listas de estaciones utilizadas para los análisis del régimen pluviométrico de la cuenca. Trabajamos sobre todo con los estudios del proyecto ICLA, [ICLA 1983] y [ICLA 1975], los informes del estudio integral de los recursos naturales de la provincia de Chuquisaca [CORDECH 1990], y los archivos de datos disponibles en la oficina de la comisión del Río Pilcomayo. Se menciona igualmente los datos utilizados por el balance hídrico de la cuenca del Río Pilcomayo [ALBORNÓZ 1988]. Los cronogramas siguientes dan los períodos de registro según las diferentes fuentes de datos encontrados :

- en los tres primeros cuadros se ve la disponibilidad de los datos según los informes precedentes. Cada cuadro presenta dos tipos de datos : los que fueron digitalizados a partir de los cuadros de los informes [ICLA 1983], [ICLA 1975] y [CORDECH 1990] así como los datos mencionados en el balance hídrico [ALBORNÓZ 1988].









Por fin, disponemos de una lista de estaciones pluviométricas compilada por la corporación regional de desarrollo de Tarija en el año 1994 para un documento preliminar al proyecto de mejoramiento del sistema de obtención, elaboración y difusión de la información meteorológica e hidrológica y sistema de alerta hidrológica en la cuenca del río Pilcomayo. Esta lista se junta en anexo [CODETAR 1984].

El análisis de estos datos hace aparecer algunas diferencias a veces bastante elevadas entre las diferentes fuentes de datos. En el caso de los datos más antiguos estas diferencias suscitan interrogaciones en cuanto a su disponibilidad real. Este análisis, que fue realizado con datos a paso de tiempo mensual, debería ser realizado también con un paso de tiempo diario, más bien adaptado a los estudios hidrológicos de la cuenca y sus subcuencas.

Sería necesario verificar los puntos siguientes para establecer una base de datos útil para los estudios hidrológicos futuros de la cuenca del río Pilcomayo :

- coordenadas precisas de las estaciones,
- disponibilidad real de las series de datos a paso de tiempo diario.

En este último punto, se necesita encontrar los datos originales disponibles en la compilación de los anuarios meteorológicos o por adquisición de los archivos digitalizados. Las otras fuentes de información no están seguras y pueden llevar a equivocaciones o a la imposibilidad de llevar a cabo los estudios futuros.

Es necesario también verificar la calidad de los datos. Por ejemplo, tenemos el caso de la estación de Chinoli (departamento de Potosí, subcuenca de Viña Quemada). En los informes precedentes, se puede encontrar datos de esta estación continuos sobre el período 1949-1980. Pero en las informaciones disponibles en Tarija, la estación esta presentada con un período de registro de 1964 a 1993. Es posible que los años 1949-1963 hayan sido reconstituidos por correlación con otras estaciones de la zona para llevar a cabo los estudios precedentes. De la misma manera, se puede analizar el caso de la estación de Turuchipa (departamento de Potosí y subcuenca de Villamontes) que en un caso parece completa sobre el período 1949-1980 y en el otro caso tiene algunas lagunas en el mismo periodo.

Estos puntos merecen un análisis más preciso y nos parece que el mejor medio para hacerlo sería de adquirir todos los datos originales.

#### 4.1.1.2. Datos hidrométricos.

Con este tipo de datos, encontramos los mismos problemas que con los datos pluviométricos, amplificados por el débil número de estaciones disponibles. De facto, las mismas fuentes que las precedentes permitirán identificar algunas estaciones sobre la cuenca vertiente del río Pilcomayo como se ve en el cuadro siguiente. En realidad pudimos encontrar datos solamente sobre las estaciones de Talula, Viña Quemada y Villamontes, y con alguna duda sobre la calidad de estos datos: ¿ Son observaciones directas o resultados de alguna modelización hidrológica de la cuenca ? En caso de las estaciones de Chilcara y Pampa Grande, encontramos solamente 3 o 4 años de medición a paso de tiempo mensual, lo que es insuficiente para elaborar una modelización hidrológica. En las otras estaciones, no pudimos encontrar ningún dato.

Nos parece también que se debe establecer la disponibilidad real de los datos hidrométricos, y la adquisición para la oficina misma del río Pilcomayo parece un medio eficiente para archivar los datos, disponer de una base de datos suficiente para el buen conocimiento de la cuenca y mantener los datos disponibles para los estudios futuros.

**Sin esta disponibilidad de los datos, las empresas a cargo de los estudios utilizan toda su energía en la recolección de datos en vez de explotarlos, de modo que los resultados no llegán al nivel esperado.**

Cuadro n°7.

## ESTACIONES HIDROMÉTRICAS IDENTIFICADAS.

Nombre	Cuenca	Provincia	lat	long	alt	Fec instal	Fec cierre	años obs.
Xocalla	Pilcomayo	Frias	19°23	65°55	3400	1/74	?	?
						1/72	8/88	16
Talula	Pilcomayo	Oropesa	19°07	65°26	2700	1950	1980	30
						19626	1975	13
						75	11/93	18
Viña Quemada	Pilcomayo	Yamparaez	19°24	64°31	2030	1950	1982	32
						12/77	12/92	16
Ayguayrenda	Pilcomayo	Gran Chaco	21°51	63°40	660	5/81	9/84	3
Ipa	Pilcomayo	Gran Chaco	21°05	63°24	570	7/81	8/84	3
El Barrial	Pilcomayo	Gran Chaco	21°44	63°34	550	1/83		1
Villa el Carmen	Pilcomayo	Gran Chaco	21°48	63°34	550	9/81	4/84	3
Tarairi	Pilcomayo	Gran Chaco	21°06	63°24	500	7/81	5/84	3
Villamontes (Q <sup>1</sup> )	Pilcomayo	Gran Chaco	21°15	63°28	340	1/76	10/90	14
Villamontes (Z <sup>2</sup> )						8/73	?	20
						9/73	5/87	15
						1942	1974	33
						1942	1956	15
						1974	1987	14
El Molino	San Juan del Oro	Méndez	21°22	64°57	3200	2/78	?	15
El Puente (Q)	San Juan del Oro	Méndez	21°15	65°12	2345	7/76	5/92	16
El Puente (Z)						1/74	8/81	7
San Jocecito (Q)	Pilaya	O'Connor	21°09	64°13	850	10/76	9/92	16
San Jocecito (Z)						10/76	11/90	14
Chilcara	Pilaya							
Pampa Grande	Pilaya	Méndez	21°04	64°35	900	01/72	09/74	3
Salto Leon	?	?	?	?	?	?	?	?
Tupiza	?	Sud Chichas	21°26	65°43	2952	1/64	?	?

**4.1.2. Ubicación de las estaciones.**

Los tres mapas siguientes dan la ubicación de las estaciones pluviométricas que fueron identificadas sobre la cuenca del Pilcomayo y utilizadas para el breve análisis del funcionamiento hidrológico. Las estaciones hidrométricas también están ubicadas pero solamente fue posible encontrar los datos de Talula, Viña Quemada y Villamontes para un análisis hidrológica.

Cabe mencionar que su localización en los mapas no están muy precisas y que la lista de estaciones representadas no esta completa. Estos mapas dan solamente una idea rápida de la densidad de informaciones disponibles sin pretender a una exactitud perfecta.

<sup>1</sup> Q para aforo

<sup>2</sup> Z para escala limnometrica

*Mapa n°4.*

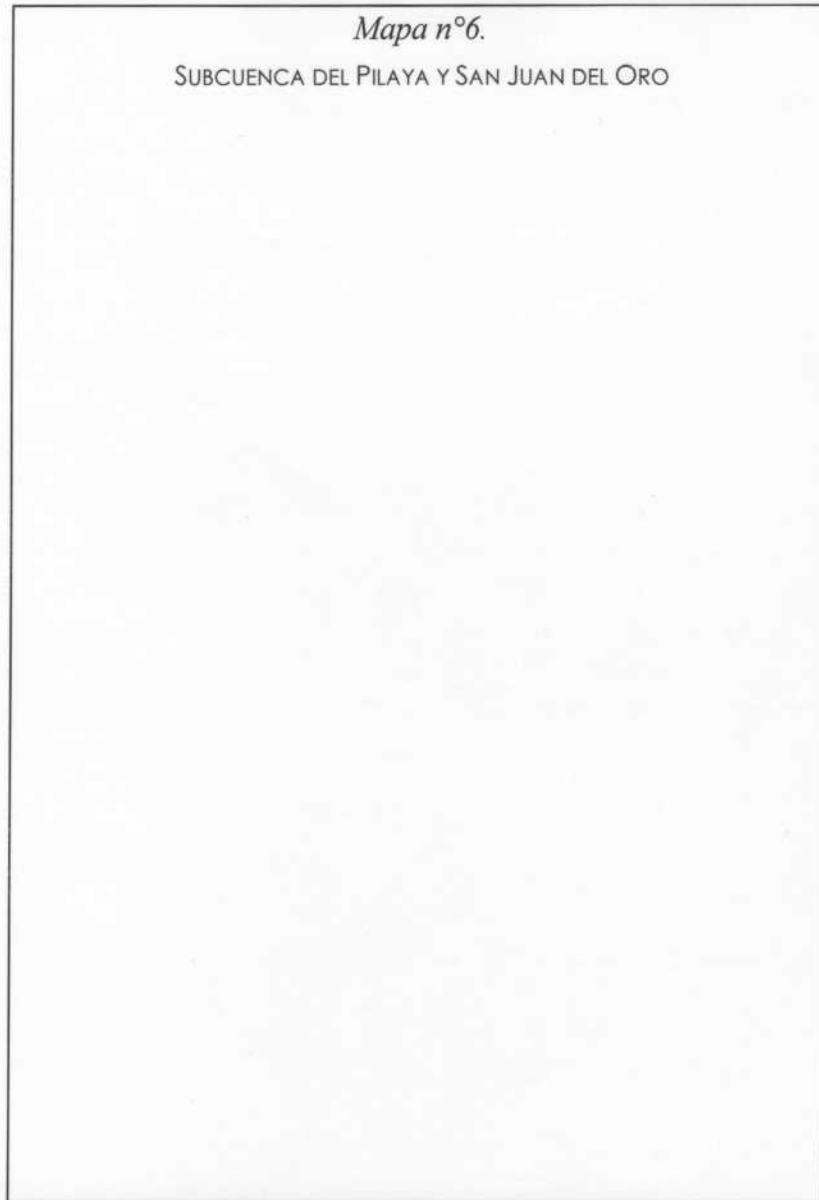
SUBCUENCA ALTA DEL RÍO PILCOMAYO



*Mapa n°5.*

SUBCUENCA BAJA DEL RIÓ PILCOMAYO





#### **4.1.2.1. Estaciones con datos pluviométricas.**

Se puede ver en estos mapas que ya tenemos datos sobre una parte significativa de la cuenca, pero hay algunas zonas con una información bastante rica y quedan otras casi desprovistas. Por ejemplo :

- el área cerca de Sucre tiene una densidad de estaciones pluviométricas muy fuerte, sin necesidad para los estudios hidrológicos ;
  - el área de Potosí tiene también una gran riqueza en estaciones ;
- al contrario :

- toda la parte oeste de la cuenca de los ríos San Juan del Oro y Pilaya no tiene ninguna estación ;
- la zona central del río Santa Elena e Inca Huasi, al este de Camargo, tampoco tiene informaciones ;
- falta también estaciones en la zona al norte de Villamontes.

Se puede ver así que disponemos de datos suficientes para estudios globales y para establecer mapas consistentes de isohietas en la cuenca, pero que falta una información más precisa para estudiar con más detalles la repartición pluviométrica local (recursos hídricos de las pequeñas subcuencas) y los efectos potenciales de las lluvias (erosión por ejemplo).

#### **4.1.2.2. Estaciones hidrométricas.**

La disponibilidad de datos hidrométricos esta mucho más débil. Tenemos solamente algunas estaciones sobre el río Pilcomayo mismo (Talula, Viña Quemada, Villamontes) y casi nada sobre sus afluentes (Chilcara y Pampa Grande disponen solamente de algunos años de datos) y no se puede encontrar datos sobre las otras estaciones identificadas (San Josecito, El Molino, El Puente).

Entonces, parece importante mantener la red de estaciones ya existentes y completarla con algunas estaciones sobre los afluentes principales.

#### **4.1.3. Resultados disponibles.**

##### **4.1.3.1. Régimen pluviométrico de la cuenca vertiente.**

En los informes existentes existen mapas de isohietas que describen el régimen pluviométrico general de la cuenca vertiente del Pilcomayo. Presentamos aquí el mapa de isohietas que fue elaborado en el informe sobre el balance hídrico de la cuenca del Río Pilcomayo [ALBORNÓZ 1988] que nos parece uno de los estudios más completo y más reciente disponible. Para realizar este mapa, el autor utilizó unas 67 estaciones ubicadas en la cuenca del Río Pilcomayo, con período de registro de 1944 hasta 1982 para las más completas, y de 1978 hasta 1982 para las más recientes.

El régimen pluviométrico presenta diferencias entre las zonas de la cuenca. Por ejemplo, la subcuenca del río San Juan del Oro tiene una pluviometría interanual bastante débil con menos de 400 mm cada año. También los principales afluentes del río Pilaya (Tumusla, Cotagaña, etc.) tienen una pluviometría débil de menos de 400 mm por año. La cuenca vertiente del río Pilcomayo entre Potosí y Sucre (subcuenca de Talula) presenta una pluviometría más fuerte entre 400 y 800 mm por año. El área más regada esta ubicada sobre el curso medio del río Pilcomayo hasta su confluencia con el río Pilaya, con una pluviometría de más o menos 800 mm cada año. Pero en esta parte, la cuenca es estrecha y las subcuencas afluentes del Pilcomayo son pequeñas. Aguas abajo, la pluviometría disminuye hasta un promedio anual de menos de 700 mm en Villamontes.

Las mismas informaciones resultan de los otros estudios sobre la cuenca (por ejemplo mapa de datos pluviométricos en el Informe PROVISA [PROVISA 1985]. Se puede constatar algunas diferencias locales como un punto con más de 1200 mm de lluvia anual cerca de la confluencia Pilcomayo - Pilaya. Pero estas diferencias parecen debidas al pequeño número de estaciones pluviométricas utilizadas en este segundo estudio, especialmente en la parte baja de la cuenca. En anexo, se encuentran los mapas extraídos del estudio PROVISA.

Estas informaciones muestran que los recursos hídricos son variables de una parte de la cuenca a la otra y que los cálculos para las obras hidráulicas deben ser adaptados a las diferentes situaciones.

Sería posible analizar algunos otros parámetros característicos de las lluvias como su capacidad erosiva ya que tenemos datos sobre las precipitaciones máxima en 24 horas sobre algunas estaciones. También sería interesante analizar la variabilidad interanual de las lluvias porque parece que los valores promedios no están tan representativos del régimen pluviométrico real. No existen años medios pero solamente años secos o lluviosos (?) ...

*Mapa n°7.*

PLANO DE ISOHIETAS (PERÍODO 1968-1982) [ALBORNÓZ 1988]



**4.1.3.2. Balance hídrico de la cuenca vertiente.**

El estudio del balance hídrico superficial de la cuenca del Río Pilcomayo [ALBORNÓZ 1988] trata de establecer un balance hídrico superficial de diferentes subcuencas. Las lagunas de datos hidrométricos llevan a hacer algunas extrapolaciones sobre las cuencas donde no hay

ningún dato. Es decir que los resultados sobre estas subcuencas no son tan seguros que los otros. El cuadro siguiente da un resumen de estos resultados :

Cuadro n°8.

RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.

Numero	Cuenca	Estacion	Area		Precipitacion			Evapotranspiracion			Escurrimiento					
			A km2	A %	PV 10 <sup>6</sup> m3	PL mm	P %	EV 10 <sup>6</sup> m3	EL mm	E %	QV 10 <sup>6</sup> m3	QL mm	Q m3/s	q l/s.km2	KE %	Q %
P1	Pilcomayo	Talula	6 340	6.8	3 043	480	6.5	2 346	370	5.7	697	110	22.1	3.5	22.91	11.23
P2	Pilcomayo	Icia	6 900	7.4	3 450	500	7.3	2 670	416	7.0	580	84	18.4	2.7	16.81	9.35
P1+P2	Pilcomayo	Vna Quamada	13 240	14.2	6 493	490	13.8	5 216	394	12.8	1 277	96	40.5	3.1	19.67	20.58
P3	Pilcomayo	Villamontes	25 330	27.2	17 098	675	36.4	15 451	610	37.9	1 647	65	52.2	2.1	9.83	26.54
P1+P2+P3	Pilcomayo	Villamontes	38 570	41.5	23 591	612	50.2	20 667	536	50.6	2 924	76	92.7	2.4	12.39	47.12
P5	San Juan del Oro	Villa Abecia	21 655	23.3	7 471	345	15.9	6 107	282	15.0	1 364	63	43.3	2.0	18.26	21.98
P6	Tumusa	Villa Abecia	21 096	22.7	7 805	370	16.6	6 645	315	16.3	1 160	55	36.8	1.7	14.86	18.69
P5+P6	San Juan del Oro+Tumusa	Chilcara	42 751	46.0	15 276	357	32.5	12 752	298	31.2	2 524	59	80.0	1.9	16.52	40.68
P1+P2+P3+P5+P6	Pilcomayo+San Juan del Oro+Tumusa	Villamontes	81 321	87.5	36 667	478	82.7	33 419	411	81.9	5 448	67	172.8	2.1	14.02	67.80
P4	Pilcomayo	Mision La Paz	11 650	12.5	8 155	700	17.3	7 398	635	18.1	757	65	24.0	2.1	9.26	12.20
P1+P2+P3+P4	Pilcomayo	Mision La Paz	50 220	54.0	31 746	632	67.5	28 065	559	68.8	3 681	73	116.7	2.3	11.60	59.32
Total	Pilcomayo+San Juan del Oro+Tumusa	Mision La Paz	92 971	100.0	47 022	506	100.0	40 817	439	100.0	6 205	67	196.8	2.1		100.00

Los datos estan presentados en volumen, lamina o porcentaje debida a la subcuenca  
 $q = \text{caudal especifico} = Q/A$  ;  $KE = \text{coeficient de Escurrimiento} = QL/PL$

Podemos ver que la tasa de escurrimiento anual es bastante débil y que los caudales específicos también no son muy fuertes.

4.1.4. Análisis suplementarias.

4.1.4.1. Análisis de las características pluviométricas.

Con la disponibilidad de los datos de lluvias máximas de 24 horas es posible hacer una comparación entre estos datos y los datos de lluvias mensuales. Este análisis fue realizado sobre algunas estaciones de cada prefectura (Chuquisaca, Potosí y Tarija). Eso permitió también de verificar los archivos y se pueden encontrar algunos errores (cuando la lluvia máxima de 24 horas en un mes esta superior a la lluvia total del mes !).

El cuadro siguiente presenta los resultados de este trabajo. Por cada estación, y por cada mes de la estación lluviosa, se da el promedio interanual de las relaciones de la lluvia máxima en 24 horas de un mes al total de lluvia del mes, y el valor máximo observado de esta relación. La última columna da el promedio en la estación lluviosa de estos promedios y el máximo en la misma estación de los máximas. La tercera linea presenta el valor promedio de la lluvia máxima en 24 horas del mes.

Podemos ver algunas diferencias significativas entre las estaciones : por ejemplo, las estaciones de Carandayti y El Salado presentan lluvias más fuertes que las otras estaciones. Si esta tendencia es general en las estaciones de esta zona, puede significar que las crecidas en las pequeñas cuencas están más brutales en esta área. También, el promedio de la relación entre lluvia máxima de 24 horas y lluvia mensual da una estimación de la regularidad de las lluvias en el mes : más pequeña esta la relación, más regular es esta la lluvia.

No pudimos hacer el análisis completo del régimen de las lluvias pero nos parece que podría ser muy interesante llevar a cabo algunos estudios sistemáticos de esto tipo.

*Cuadro n°8.*

RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO.

Número	Cuenca	Estacion	Area		Precipitacion			Evapotranspiracion			Escurimiento				KE	Q
			A	A	PV	PL	P	EV	EL	E	QV	QL	Q	q		
			km <sup>2</sup>		10 <sup>6</sup> m <sup>8</sup>	mm		10 <sup>6</sup> m <sup>8</sup>	mm		10 <sup>6</sup> m <sup>8</sup>	mm	m <sup>3</sup> /s	l/s.km <sup>2</sup>		
P1	Pilcomayo	Ialula	6340	6.8	3043	480	6.5	2346	370	5.7	697	11	22.1	3.5	22.91	11.23
P2	Pilcomayo	Ida	6900	7.4	3450	500	7.3	2870	416	7.0	580	84	18.4	2.7	16.8	9.35
P1+P2	Pilcomayo	Vina Quemada	1324	14.2	6493	490	13.8	521	394	12.8	127	96	40.5	3.1	19.67	20.58
P3	Pilcomayo	Villamontes	25330	27.2	17098	675	36.4	1545	610	37.9	164	65	52.2	2.1	9.63	26.54
P1+P2+P3	Pilcomayo	Villamontes	38570	41.5	23591	612	50.2	20667	536	50.6	2924	76	92.7	2.4	12.39	47.12
P5	San Juan del Oro	Villa Abecia	2165	23.3	747	345	15.9	610	282	15.0	136	63	43.3	2.0	18.26	21.98
P6	Tumusa	Villa Abecia	2109	22.7	7805	370	16.6	6645	315	16.3	1	55	36.8	1.7	14.86	18.69
P5+P6	San Juan del Oro+Tumusa	Chicara	4275	46.0	15276	357	32.5	12752	298	31.2	2324	59	80.0	1.9	16.52	40.68
P1+P2+P3+P5+P6	Pilcomayo+San Juan del Oro+Tumusa	Villamontes	8132	87.5	38867	478	82.7	33419	41	81.9	5448	67	172.8	2.1	14.02	87.80
P4	Pilcomayo	Mision La Paz	1165	12.5	815	700	17.3	7398	635	18.	757	65	24.0	2.1	9.28	12.20
P1+P2+P3+P4	Pilcomayo	Mision La Paz	50220	54.0	31746	632	67.5	28065	559	68.8	368	73	116.7	2.3	11.6	59.32
Total	Pilcomayo+San Juan del Oro+Tumusa	Mision La Paz	9297	100.0	47022	505	100.0	40817	439	100.0	6205	67	196.8	2.1		100.00
tiré de CRSTOM 1992																

Los datos estan presentados en volumen, lamina o porcentaje debida a la subcuenca

q = caudal especifico = Q/A ; KE = coeficient de Escurimiento = QL/PL

Cuadro n°9.

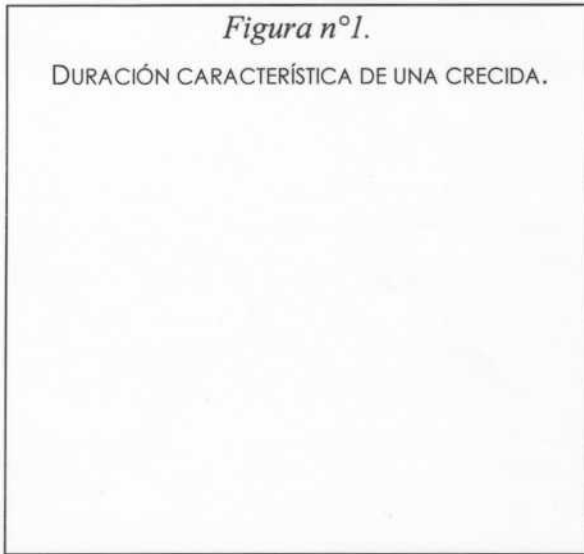
ANÁLISIS BREVE DE LAS LLUVIAS MÁXIMA. (PROMEDIO(PJX<sup>3</sup>/PM<sup>4</sup>), MAX(PJX/PM), PROMEDIO(PJX).

	Enero	Febrero	Marzo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Estación Lluviosa
<b>Provincia de CHUQUISACA</b>							
ESTACION: Carandayti	numero años		7				
	promedio	0.59	0.53	0.57	0.78	0.86	0.63
	max	0.91	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
	Promedio PJX	38.29	36.10	35.40	8.53	18.53	32.56
ESTACION: Icla	numero años		9				
	promedio	0.29	0.34	0.32	0.50	0.42	0.37
	max	0.57	0.54	0.62	1.00	0.60	0.66
	Promedio PJX	22.78	18.21	13.19	9.50	15.40	14.56
ESTACION: Muyuquiri	numero años		8				
	promedio	0.26	0.23	0.37	0.55	0.46	0.29
	max	0.44	0.43	0.77	1.00	0.82	0.53
	Promedio PJX	16.76	15.73	15.37	7.73	12.17	24.01
ESTACION: Puente Sucre	numero años		8				
	promedio	0.26	0.38	0.33	0.51	0.44	0.28
	max	0.58	1.00	0.53	0.94	0.73	0.56
	Promedio PJX	25.12	18.79	23.23	19.81	14.16	19.59
ESTACION: Rosario del Ingre	numero años		8				
	promedio	0.35	0.32	0.33	0.60	0.44	0.27
	max	1.00	0.45	0.55	1.00	0.67	0.47
	Promedio PJX	46.73	39.31	52.06	33.56	37.08	56.69
ESTACION: Tomina	numero años		8				
	promedio	0.34	0.26	0.40	0.57	0.52	0.34
	max	0.49	0.45	0.65	1.00	0.70	0.54
	Promedio PJX	17.58	9.30	9.23	8.43	6.18	9.40
<b>Provincia de POTOSI</b>							
ESTACION: ATOCHA	numero años		7				
	Promedio	0.28	0.38	0.33	0.73	0.43	0.49
	Max	0.43	0.56	0.45	1.00	0.71	1.00
	Promedio PJX	10.69	12.76	7.61	4.66	9.56	13.09
ESTACION: CHINOLI	numero años		14				
	Promedio	0.23	0.27	0.36	0.43	0.35	0.30
	Max	0.35	0.60	0.63	0.78	0.69	0.70
	Promedio PJX	25.23	18.14	20.52	15.19	14.89	21.14
ESTACION: MILLARES	numero años		12				
	Promedio	0.23	0.29	0.41	0.58	0.48	0.27
	Max	0.56	0.55	0.76	1.00	0.62	0.41
	Promedio PJX	24.75	22.23	16.80	27.76	18.74	24.87
ESTACION: PUNA	numero años		14				
	Promedio	0.23	0.27	0.33	0.47	0.47	0.30
	Max	0.35	0.53	1.00	0.86	0.92	0.46
	Promedio PJX	22.46	17.51	17.85	11.03	14.43	23.35
<b>Provincia de TARIJA</b>							
ESTACION: COPACABANA	numero años		18				
	Promedio	0.21	0.23	0.30	0.61	0.44	0.29
	Max	0.50	0.44	0.52	1.00	0.71	0.45
	Promedio PJX	18.05	14.00	15.27	9.50	16.93	14.20
ESTACION: EL SALADO	numero años		18				
	Promedio	0.27	0.26	0.28	0.52	0.33	0.29
	Max	0.52	0.47	0.51	0.82	0.50	0.58
	Promedio PJX	78.38	77.49	59.80	23.41	42.00	70.37
ESTACION: TIMBOY	numero años		11				
	Promedio	0.33	0.35	0.43	0.65	0.50	0.35
	Max	0.55	0.65	1.00	1.00	1.00	0.55
	Promedio PJX	38.38	42.60	35.34	22.53	33.21	38.96
ESTACION: EL MOLINO	numero años		13				
	Promedio	0.23	0.22	0.31	0.54	0.34	0.30
	Max	0.98	0.39	0.65	1.00	0.59	0.79
	Promedio PJX	25.04	18.04	18.16	12.84	14.41	16.58

3 PJX=lluvia diaria máxima

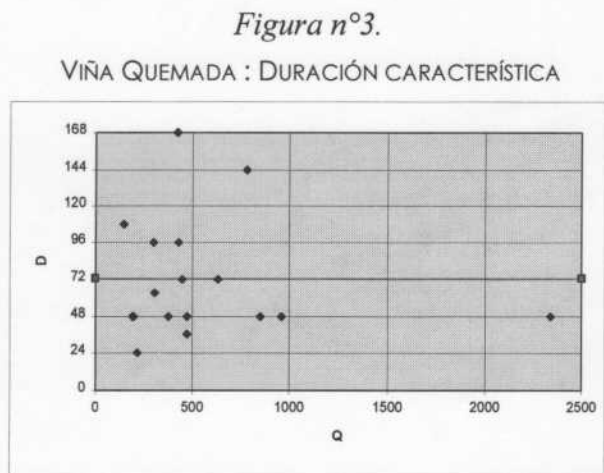
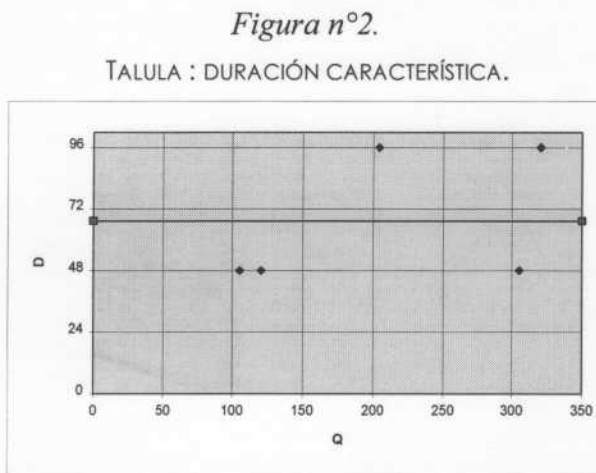
4 PM=lluvia mensual

**4.1.4.2. Características hidrológicas de las estaciones.**



Es posible analizar algunas otras características hidrológicas sobre la base de los datos disponibles. En primer lugar, tratamos de analizar las duraciones características de las crecidas en las estaciones de Talula y Viña Quemada.

Para este tipo de análisis, es necesario disponer de los datos a un paso de tiempo inferior al tiempo característico. Después, se selecciona los eventos de crecidas importantes y, por cada uno se calcula el tiempo durante el cual la mitad del caudal máxima de la crecida esta sobrepasado.



Esta duración da una idea de la dinámica de la cuenca considerada o de su "nerviosidad". Con una duración de más o menos 72 horas, las crecidas no están tan rápida en las estaciones estudiadas.

Para estos cálculos, se consideró una muestra muy pequeña de crecidas en las dos estaciones, pero si los datos a paso de tiempo diario están disponibles sería posible verificar el valor promedio de esta duración y de mejorar su estimación.

#### 4.1.4.3. Modelo lluvia-caudal.

Sobre la base de los datos disponibles, intentamos también establecer un modelo lluvia-caudal bastante simple. Utilizamos el modelo GR2M, elaborado en Cemagref, que trabaja con un paso de tiempo mensual y con solamente dos parámetros que aseguran la solidez del modelo.

La esquematización conceptual del funcionamiento de una cuenca esta presentada sobre la figura siguiente donde se puede encontrar la significación de los dos parámetros del modelo. El primer parámetro X1 representa más o menos la capacidad de almacenamiento del suelo y el segundo parámetro, X2, representa la parte del almacenamiento en la red hidrográfica que alimenta el caudal al punto de mediciones. En anexo a este informe se encuentra un artículo que presenta las bases teóricas de este modelo. Utiliza datos de lluvia mensual y caudal mensual para calcular los parámetros más apropiados. Cuando tenemos estos parámetros hay que verificar su validez sobre un diferente del período de calibración. Y después, si los resultados parecen buenos, es posible hacer una simulación con otros datos de lluvia en cuanto esten disponibles. El modelo permite probar diferentes versiones (lineária, quadrática).

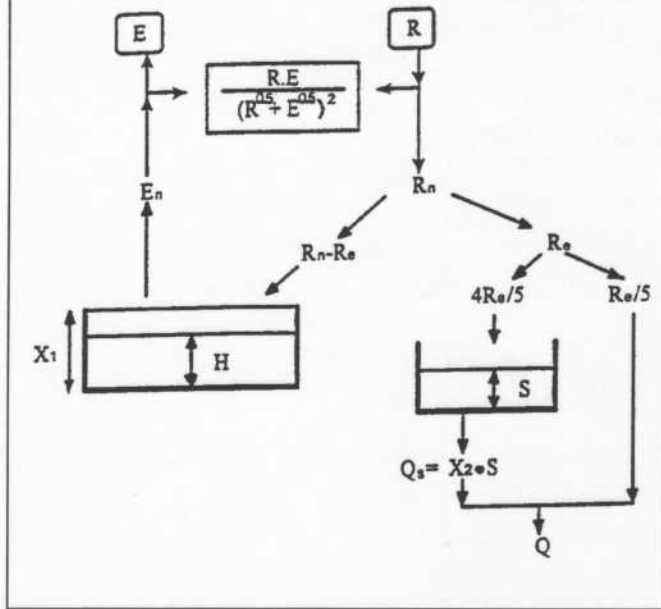
Trabajamos sobre las estaciones de Talula, Viña Quemada y Villamontes con resultados interesantes como se puede ver en los gráficos siguientes. Con los datos de las dos primeras estaciones, los resultados parecen bastante buenos e interesantes. Los criterios estadísticos de Nash, utilizados para estimar la adecuación de los parámetros a estas cuencas varían de 60 a 80 %, bastante satisfactorios.

Al contrario, los resultados resultan inadecuados con los datos disponibles en la estación de Villamontes. Posiblemente, los datos de lluvias no están suficientes para una buena representación del régimen pluviométrico de la cuenca. Puede ser también que la cuenca este demasiado grande cómo para disponer de una estación pluviométrica (o un promedio de estaciones) representativa de la pluviometría de la cuenca. Sería necesario trabajar con datos más completos que los disponibles durante esta misión y continuar las investigaciones para mejorar los resultados. Por ejemplo, el modelo representa muy mal la crecida fuerte de 1984 porque no se ve un pico de lluvia particular durante este año. Este problema merece también algunas investigaciones más precisas. Como no disponemos de los datos de tal año en Talula y Viña Quemada no se puede analizar si en estas estaciones también la crecida fue más fuerte en 1984 que en los otros años.

Se puede ver también que los parámetros no son estables de una cuenca a la otra, lo que significa la imposibilidad de extrapolar esta modelización en punto diferente del que sirvió para calibrar los parámetros. Con un modelo de este tipo será difícil de encontrar el modo para transponer los resultados de un punto al otro.

Nos parece que los estudios sintéticos (en materia de período de retorno de los eventos o en materia de caudal-duración-frecuencia) permiten analizar el régimen hidrológico de los ríos que presentan características más estables que los parámetros de una modelización lluvia-caudal que intenta representar el funcionamiento de cada evento. Es porque pensamos que

Figura n°4. ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE GR2M



sería más interesante trabajar los datos de forma estadística que de forma puntual (evento por evento).

Figura n°5.

TOTAL PLUVIOMÉTRICO ANUAL EN ALGUNAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL PILCOMAYO EN VIÑA QUEMADA.

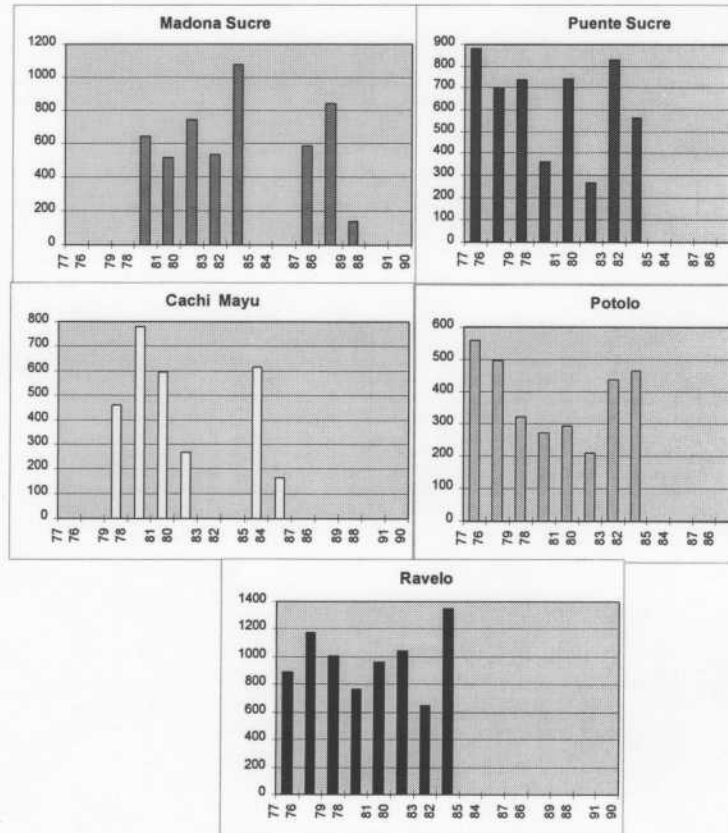




Figura n°7. RESULTADOS DEL MODELO GR2M

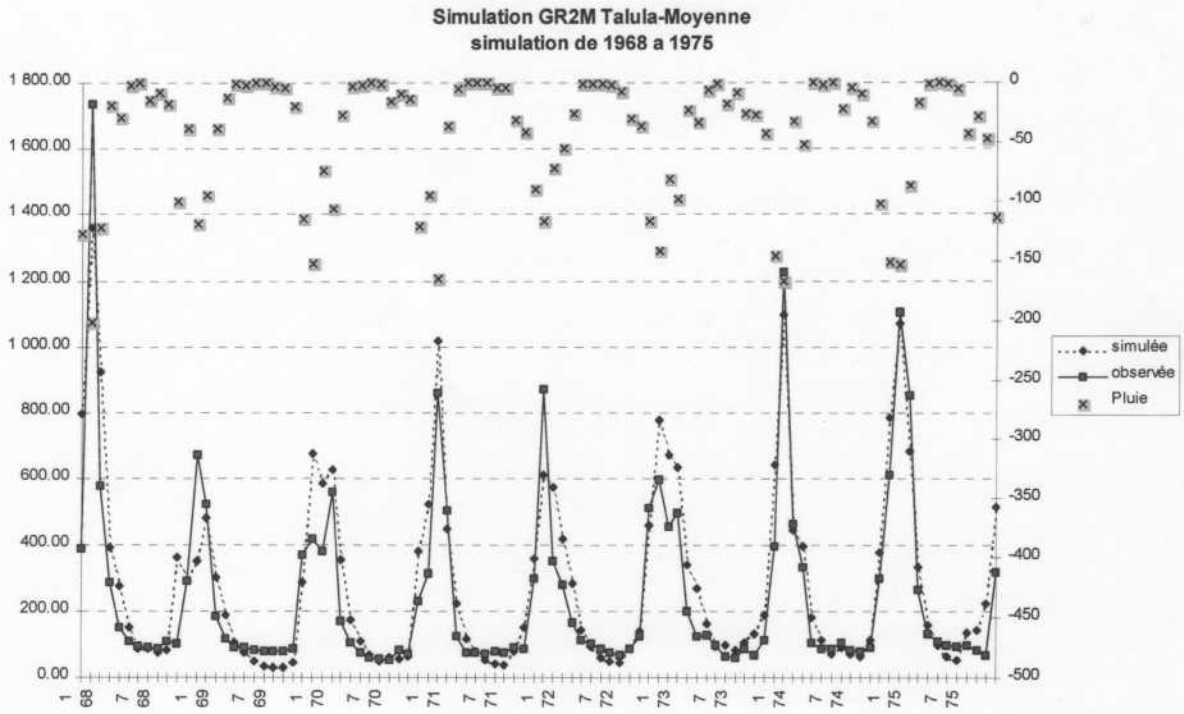


Figura n°8. RESULTADOS DEL MODELO GR2M.

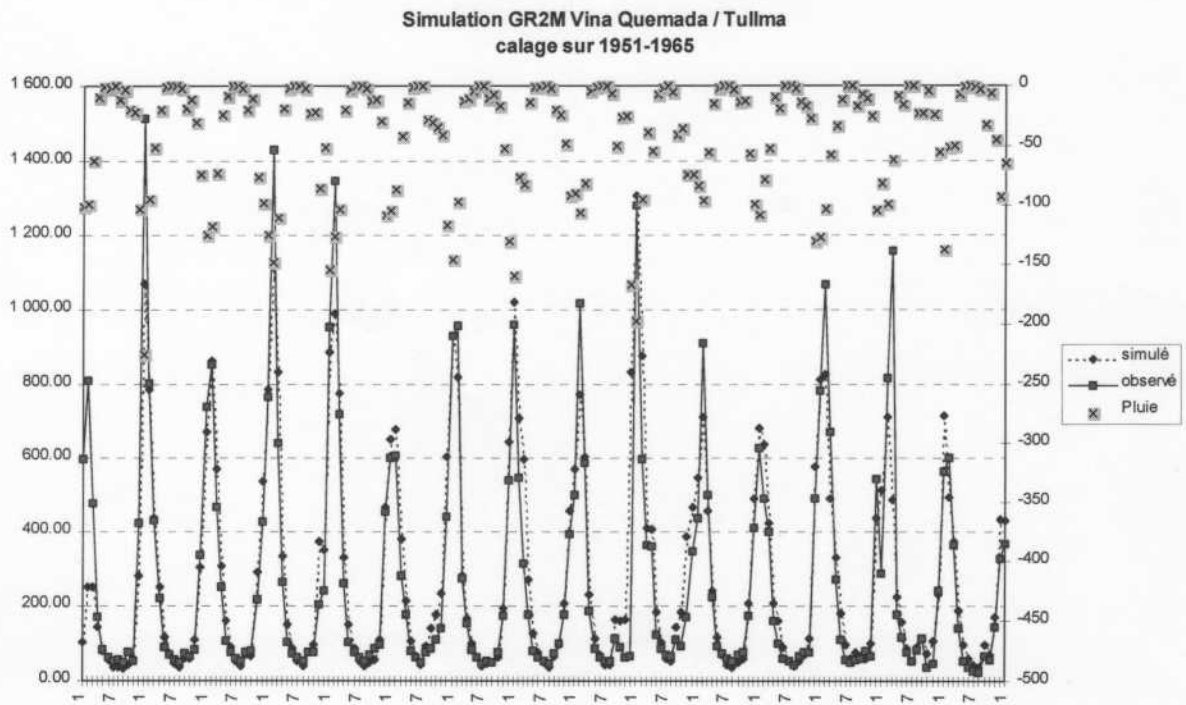
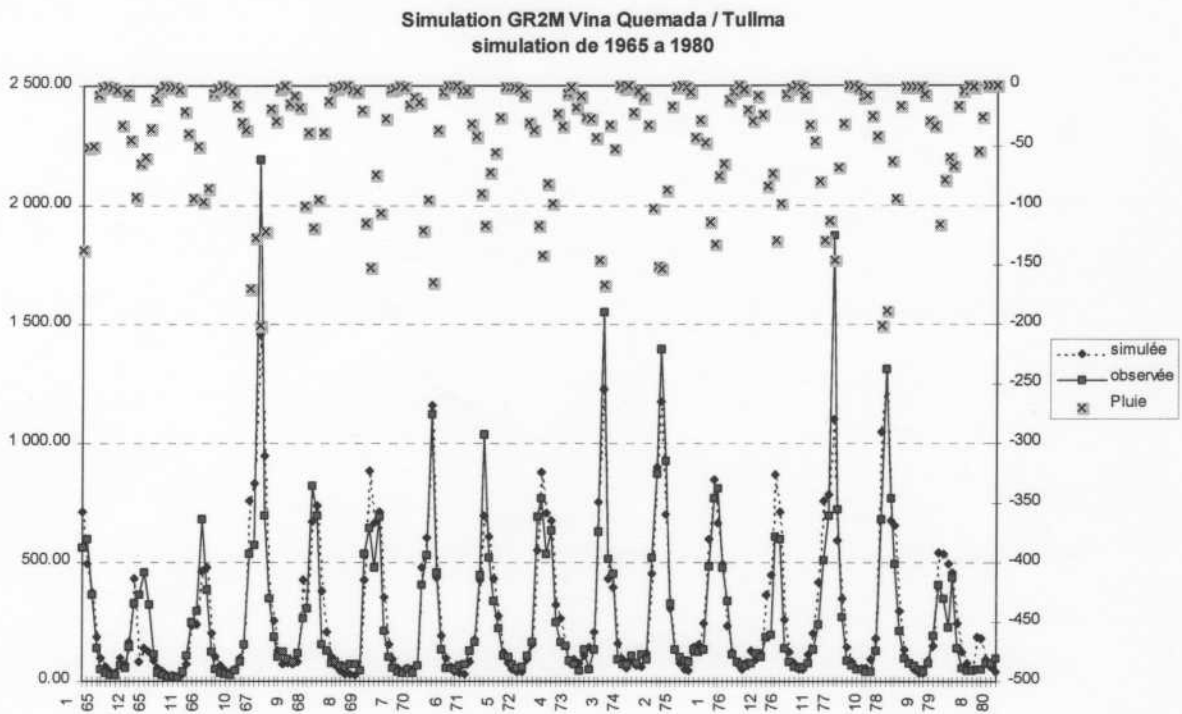


Figura n°9. RESULTADOS DEL MODELO GR2M.



## 4.2. CUENCA RECEPTORA DEL RÍO PILCOMAYO.

Definimos la cuenca receptora del río Pilcomayo como la cuenca aguas abajo de Villamontes. La mayor parte de esta cuenca esta ubicada en los dos países ribereños del Pilcomayo, Argentina y Paraguay.

### 4.2.1. Ubicación y disponibilidad de los datos.

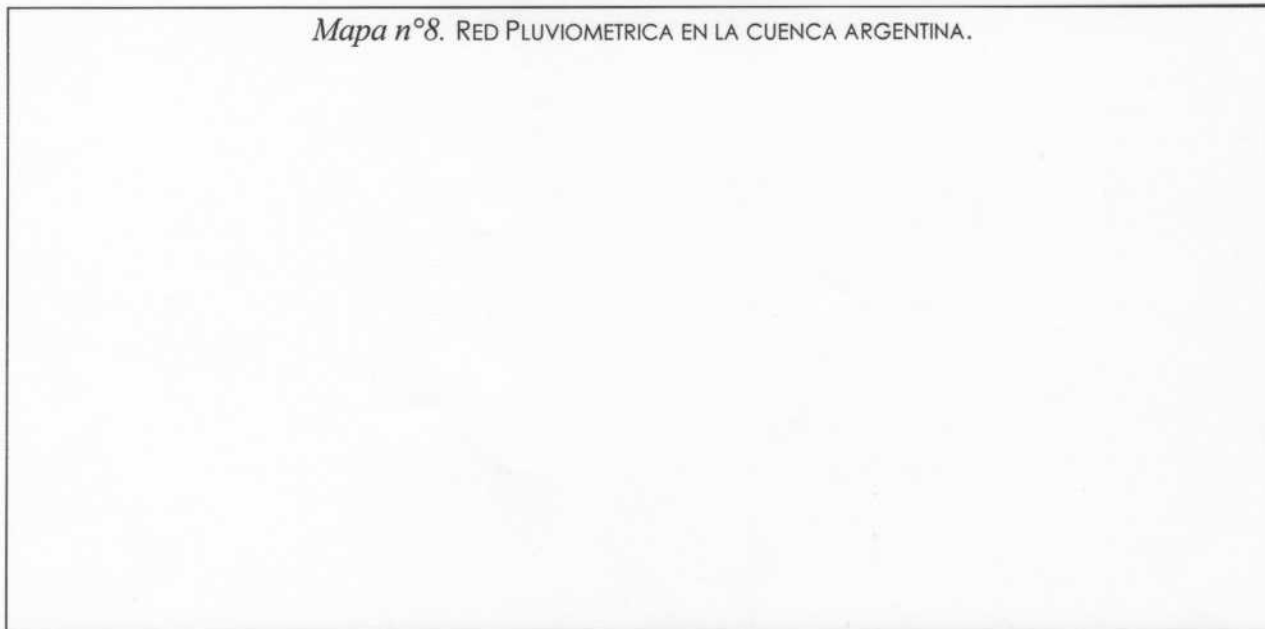
#### 4.2.1.1. Estaciones con datos pluviométricos.

La situación es diferente de un lado al otro.

En Paraguay, no hay muchos datos pluviométricos en la región del Chaco : solamente algunas estaciones meteorológicas existen en esta parte.

Al contrario, la red de estaciones pluviométricas esta más desarrollada en el lado argentino donde se puede encontrar un numero suficiente de estaciones cómo para establecer mapa de isohietas sobre esta zona. El mapa siguiente presenta la red de estaciones argentinas en la provincia de Formosa que abarca la mayor parte de la cuenca argentina del río Pilcomayo.

*Mapa n°8. RED PLUVIOMETRICA EN LA CUENCA ARGENTINA.*



No conocemos el período de observación en dichas estaciones.

#### **4.2.1.2. Estaciones hidrométricas.**

Solamente Argentina tiene algunas estaciones hidrométricas sobre el río Pilcomayo y algunos tributarios. Paraguay no tiene estación en su parte del área de influencia del Río Pilcomayo.

Sobre el curso del Pilcomayo mismo, tenemos la estación fortín La Paz y la de Fortín Nuevo Pilcomayo manejada por la administración argentina. Estas estaciones tienen las series de datos más largas con registro con un paso de tiempo diario, desde el año 1960 por lo menos y desde los años 1942 según estudios anteriores (cuena de la Plata 1975). La estación de Fortín Nuevo Pilcomayo no funciona mas desde el taponamiento del cauce en ese punto : no hay más agua que medir !

También existen algunas estaciones sobre los riachos aguas abajo de la zona pantañosa de la Estrella, en territorio Argentino, como el río Porteño o el río Monte Lindo. Estas estaciones parecen muy interesantes para conocer la dinámica de los traslados de aguas desde la zona de desbordamiento hasta el río Paraguay. No conocemos el período de observación de estas estaciones.

#### 4.2.1.3. Datos hidrogeológicos.

Las aguas subterráneas de la zona del Chaco no son bien conocidas. Un proyecto de investigación existe en el Chaco Paraguayo ([DOA-BGR 1996] Proyecto sistema ambiental del Chaco, Informe de avance, DOA-BGR, Marzo 1996). Los estudios en cursos ponen en evidencia la salinidad de la casi totalidad de las aguas subterráneas en relación con la evaporación importante de la zona, especialmente en su parte oeste.

Los datos disponibles en la Dirección de Recursos Hídricos permiten clasificar las aguas subterráneas en tres partes según los diferentes sedimentos y sus ubicaciones :

- el complejo acuífero aluvial, formado por cuerpos de aguas subterráneas, compuestos de arenas finas, con agua generalmente salada, que alimentan los riachos chaqueños ; su nivel estático se ubica entre 1 a 3 m de profundidad ;
- el complejo acuífero paleocauce, formado por cuerpos de aguas freáticas y semi-confinadas ubicado en los paleosistemas de drenaje acumulado del río Pilcomayo ; las aguas son también saladas con la excepción de algunas lentes de agua dulce flotante que pueden ser aprovechados ;
- por fin, el complejo acuífero Yrenda generalmente a más de 50 m de profundidad en el oeste y 3 a 5 m en el este.

Las bajas permeabilidades de los materiales de la zona y las discontinuidades entre los acuíferos superficiales tienen como consecuencia los intercambios débiles entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

La situación parece poco diferente en el lado argentino donde las informaciones disponibles dejan pensar que el problema de la salinidad de las aguas es menos fuerte. Pero esto debería ser confirmado con estudios más precisos.

## 4.2.2. Resultados disponibles.

### 4.2.2.1. Régimen pluviométrico de la cuenca receptora.

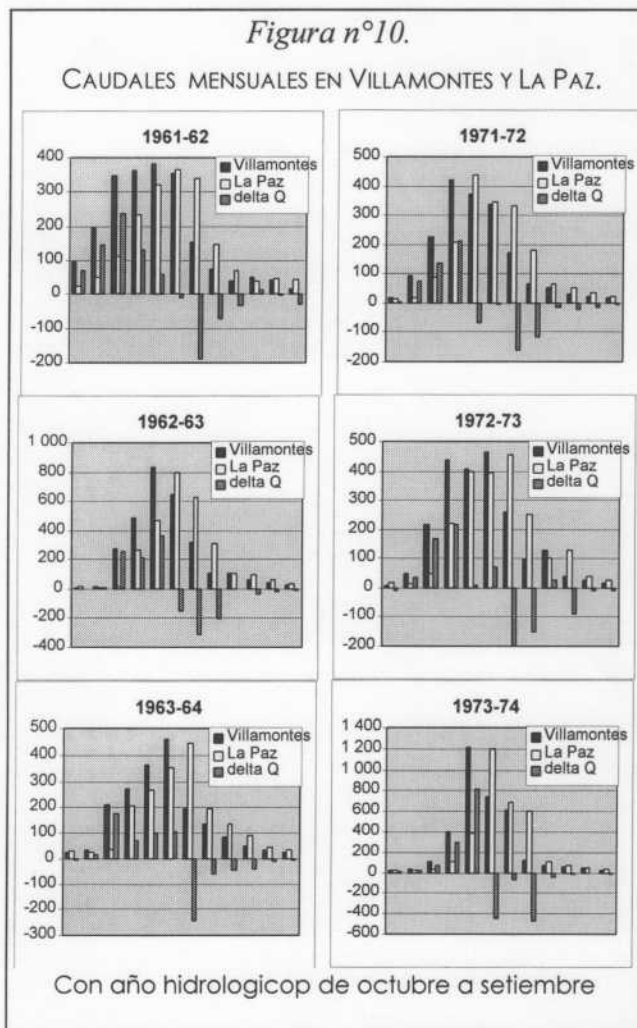
El régimen pluviométrico de la cuenca receptora parece bastante regular con una pluviometría máxima a lo largo del río Paraguay, y con una precipitación anual promedio de más de 1 000 mm. El total pluviométrico decrece hasta 600 mm en el área de Pedro P. Peña y crece hasta la zona de Villamontes con un promedio anual de 800 mm. El problema más grave parece ser la mala repartición de las lluvias y su variabilidad interanual ; de facto el valor promedio de la lluvia no parece muy regular.

### 4.2.2.2. Regímenes hidrológicos.

El estudio de los datos en las estaciones de Villamontes y La Paz permite un primer análisis rápido de estas dos estaciones. Los gráficos presentan los caudales mensuales en Villamontes y la Paz, y sus diferencias.

Podemos ver que hay un descalce entre las dos estaciones y que los caudales de Villamontes están siempre inferiores a los de La Paz desde los meses de abril y mayo cuando es el contrario por los meses de diciembre y enero. Es la consecuencia del tiempo de tránsito de los caudales de la zona de Villamontes hasta la zona de La Paz. Esto no significa que los volúmenes crecen de Villamontes a La Paz ya que no hay ningún tributario importante entre las dos estaciones.

Podemos también comparar los volúmenes anuales en los dos puntos. Los resultados son presentados en la figura siguiente, en porcentaje del volumen total. A la excepción de los años hidrológicos 62-63 y 71-72, los volúmenes son casi los mismos y las diferencias no alcanzan el 2 por ciento del volumen total (con algo más de agua en Villamontes que en La Paz, lo que se explica por las pérdidas a lo largo del río entre estos dos puntos). Los dos años con un comportamiento diferente pueden explicarse



por errores de mediciones.

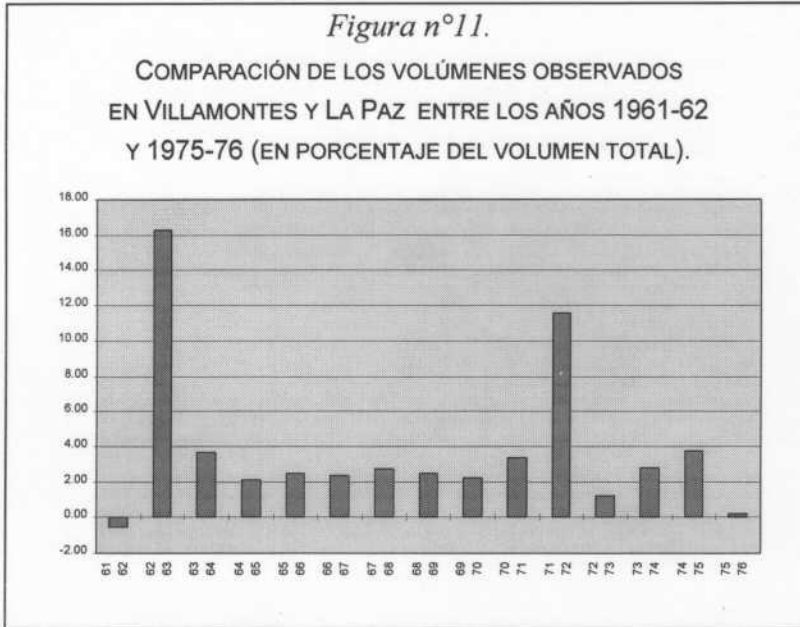
Con estas informaciones es posible verificar indirectamente los datos disponibles en las dos estaciones ya que no se justifican grandes diferencias entre ambos. Un análisis con un paso de

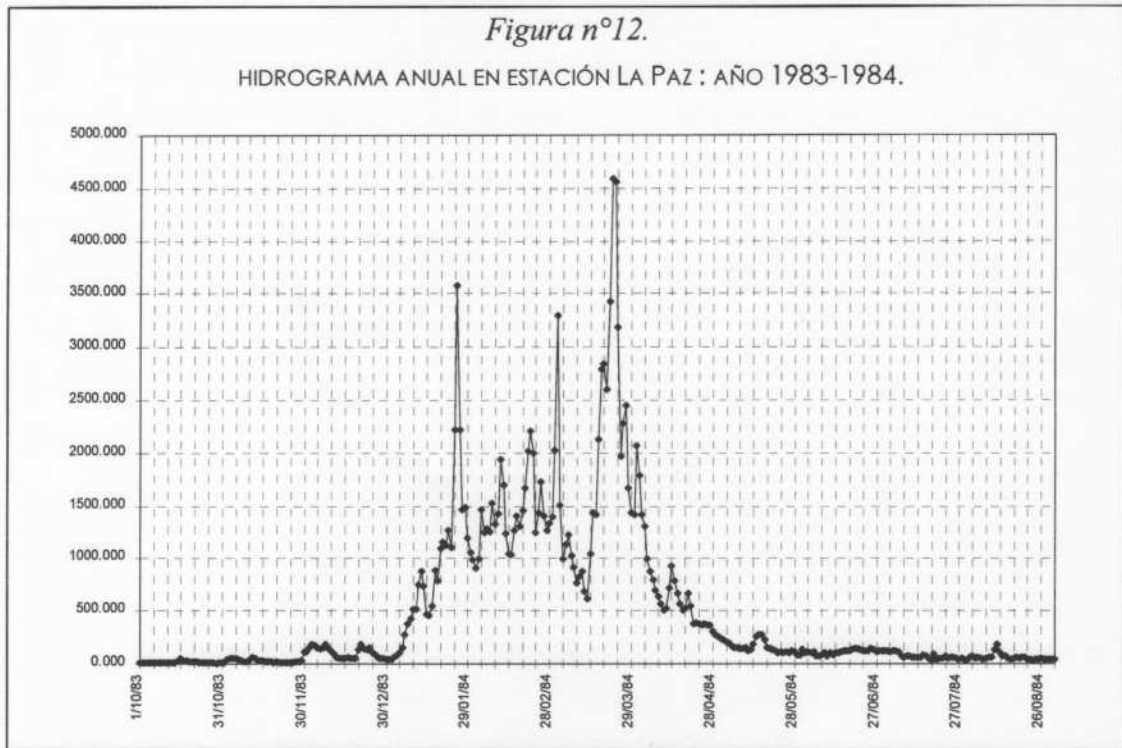
tiempo diario podría ser interesante para resolver el problema del alerta hidrológica y específicamente para estudiar el tiempo de transito de los picos de crecida entre Villamontes y La Paz. Pero no disponemos de estas datos diarios.

Tal análisis es factible con los datos de la estación La Paz donde disponemos de los caudales diarios. La figura siguiente da el hidrograma del año hidrológico 1983-1984.

Podemos ver que los picos de crecidas duran más de 5 días en general. Esta duración

puede ser observada cada año ; vale decir que la duración característica en esta parte del río es de 5 o 6 días. Esto significa también que disponemos de más de 1 día para hacer un alerta hidrológica a partir de la estación de Villamontes para el área de La Paz y aguas abajo de este lugar. Por eso, y, en una primera instancia, nos parece suficiente hacer un alerta sobre la base de las observaciones en la estación de Villamontes. Bastaría determinar un nivel de agua correlativo con posibles problemas de desborde aguas abajo.





Los datos sobre los riachos en la zona baja de la cuenca son también muy interesantes. Es posible identificar sobre los hidrogramas anuales dos picos de crecida (o de aguas altas): el primero en el mes de enero corresponde a la estación lluviosa; el segundo en el mes de marzo o abril parece corresponder a la llegada de las aguas de desbordamiento del río Pilcomayo aguas arriba después de su traslado atravesando las zonas de bañados de la Estrella (estamos sobre los riachos argentinos). Podemos ver eso sobre la figura siguiente.

*Figura n°13.*

HIDROGRAMA ANUAL EN LA ESTACIÓN DE ESPINILLO SOBRE EL RÍO PORTEÑO.

Un análisis más detallado de estos datos permitiría un mejor conocimiento del balance hídrico del Chaco entre las aguas que llegan hasta Villamontes y las aguas que vuelven al río Paraguay. Sería también posible estudiar la importancia de las variaciones anuales en estos riachos aguas abajo, y especialmente el efecto del grán retroceso del año 1984 sobre el régimen de estos riachos. Esta información sería muy interesante para conocer el impacto de la evolución del cauce del río Pilcomayo sobre el traslado de las aguas hasta los riachos del Chaco.

**4.3. ESQUEMA PARA UNA RED HIDROMÉTRICA.**

Las estaciones existentes en la cuenca del Pilcomayo no permiten un seguimiento suficiente para determinar los flujos de aguas y sedimentos a lo largo de los ríos. Sería muy importante mejorar la red hidrométrica de medición tanto para disponer de los datos necesarios a un mejor conocimiento del sistema, como para facilitar los estudios de los proyectos futuros.

La figura siguiente propone una red tentativa sobre los principales tributarios del río Pilcomayo. En primer lugar hay que mejorar el funcionamiento de las estaciones ya existentes que tienen problemas de mantenimiento y de seguimiento. Dichas estaciones proporcionan algunos datos interesantes que sería necesario archivar en una forma fácilmente disponible y que permiten conseguir resultados preliminares. Después, sería oportuno establecer nuevas

estaciones sobre los principales afluentes del río Pilcomayo donde se tomarán los datos de caudal líquido, caudal sólido y mediciones de la calidad de las aguas (sal y otros contaminantes).

*Figura n°14.*

ESQUEMA DE LA RED HIDROGRAFICA DEL PILCOMAYO  
Y POSIBLE UBICACIÓN DE ESTACIONES.



Para completar, se puede instalar estaciones sobre pequeñas cuencas de menos de 500 km<sup>2</sup> en diferentes zonas de la cuenca para :

Figura n°14.

ESQUEMA DE LA RED HIDROGRAFICA DEL PILCOMAYO  
Y POSIBLE UBICACIÓN DE ESTACIONES.



- proporcionar los datos necesarios a los pequeños proyectos en subcuencas ;
- establecer una muestra de cuencas representativas de las distintas áreas pluviométricas y geológicas ;

pero no se alcanzó definirlo precisamente durante esta misión.

La elaboración de esta base de datos y los detalles de su organización están desarrollados en el **tomo II (servicios tecnológicos)** del informe final de la misión. El archivo de los datos ya existentes es un preliminar necesario tanto para los datos de la cuenca vertiente como los de la cuenca receptora, antes de elaborar los términos de referencia de los estudios sintéticos que van a utilizarlos (ver p. 9 - cap. 4.1.1.)

#### **4.4. EL PROBLEMA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.**

Hay diferentes tipos de contaminación de las aguas de la cuenca del río Pilcomayo. Una de ellas es la contaminación con la sal que existe naturalmente en los suelos o las rocas de algunas partes de la cuenca. Otro tipo de contaminación es la contaminación química debida a las actividades mineras en la región de Potosí por ejemplo.

No podemos disponer de unos estudios detallados de las fuentes de contaminación de las aguas durante la misión. Tenemos algunos datos en los informes de estudios anteriores, y en el área de Chuquisaca se hizo un estudio reciente sobre la salinidad de las aguas. Pero la falta de mediciones continuas en determinados puntos no permite obtener una información muy precisa. Nos parece que la toma de muestras, y el análisis de la calidad de aguas debería ser un punto de estudio para cada nuevo proyecto de desarrollo en su área de actividad.

### **5. USO DE LAS AGUAS : SITUACIÓN ACTUAL Y PROPOSICIONES.**

En anexo se encuentran algunas fotografías tomadas durante las visitas de campo que ilustran este tema.

#### **5.1. APROVECHAMIENTO DE AGUAS.**

Hasta ahora el primer uso de las aguas del río Pilcomayo y de sus tributarios sería el aprovechamiento de agua potable por las poblaciones viviendo en la cuenca. Se nota tanto en la cuenca vertiente como en la cuenca receptora.

Sin embargo, el abastecimiento de agua de consumo no está siempre suficiente en cantidad y calidad para todos, sobretodo en las zonas de baja pluviometría, o cuando las aguas superficiales están contaminadas.

El mejoramiento de los sistemas de toma y de distribución de las aguas debe ser una prioridad para el desarrollo local y para ayudar a los campesinos de la cuenca a aprovechar los recursos naturales disponibles. El mantenimiento de actividades agrícolas y ganaderas en buen

estado es una condición previa para los proyectos de lucha antierosiva en la cuenca vertiente. Sin población, no será posible intervenir en los distintos elementos del sistema.

## 5.2. PROYECTOS DE DEFENSA O RECUPERACIÓN DE TIERRAS.

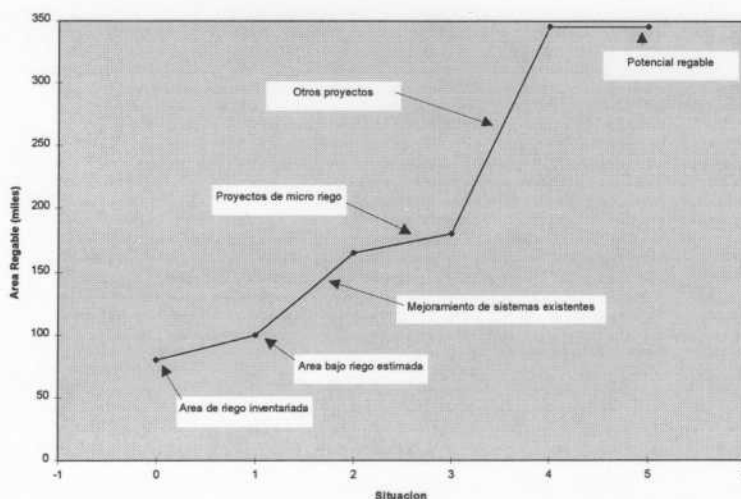
El segundo aspecto bastante importante de uso de las aguas en la cuenca vertiente es el cultivo de los campos a lo largo de muchos ríos. Este aprovechamiento de las tierras suele ser muy tradicional con cultivos en el fondo de los valles fuera de las zonas más inundables, y donde los sedimentos traídos por las crecidas puedan depositarse. A lo largo de casi todos los ríos, es posible encontrar una superficie bastante importante cultivada de ese modo.

Ahora, muchos proyectos de desarrollo rural tienen parte de sus actividades en la recuperación de tierras mediante el mejoramiento de los sistemas tradicionales. El objetivo puede ser de mejorar la protección de las tierras al margen de los ríos para disminuir su erosión por las crecidas. En este caso, es necesario edificar defensas de las márgenes del río con gaviones por ejemplo.

Otro objetivo puede ser la recuperación de tierras nuevas, facilitando la deposición de los sedimentos finos traídos por las crecidas en algunas zonas próximas a los cauces. La primera etapa es de aislar la zona de recuperación potencial por una línea de gavión (o un dique). Una toma de agua en período de crecida permite la inundación del área con agua cargada de limó. Después de pocos años, estos campos pueden ser cultivados.

Un tercer objetivo es el riego de estas zonas de tierras recuperadas. Por eso es necesario realizar una toma de agua sobre el río mismo y construir un canal de la toma hasta los campos. Generalmente, el canal está ubicado al borde del valle y encuentra dos problemas principales. Uno es la modificación del cauce de estiaje que obliga la excavación de una parte de la toma cada año (desde el cauce de estiaje hasta la toma misma). Un segundo es la erosión del canal y de sus cementaciones, y con consecutivas pérdidas de agua en un largo trecho que puede ser importante en algunos casos (alrededor de un kilómetro, frecuentemente).

Figura n°15. POTENCIAL DE RIEGO EN BOLIVIA.



Fuente [PRONAR 1995]

En los tributarios más pequeños no hay recursos de agua todo el año. Por eso existe proyectos de galería filtrante para explorar las aguas freáticas que existen generalmente en la parte aluvial de los valles. Estas galerías permiten interceptar el flujo subterráneo que persiste todo el año con un caudal de algunos litros por segundo, suficiente para un riego de complemento en algunos cultivos robustos.

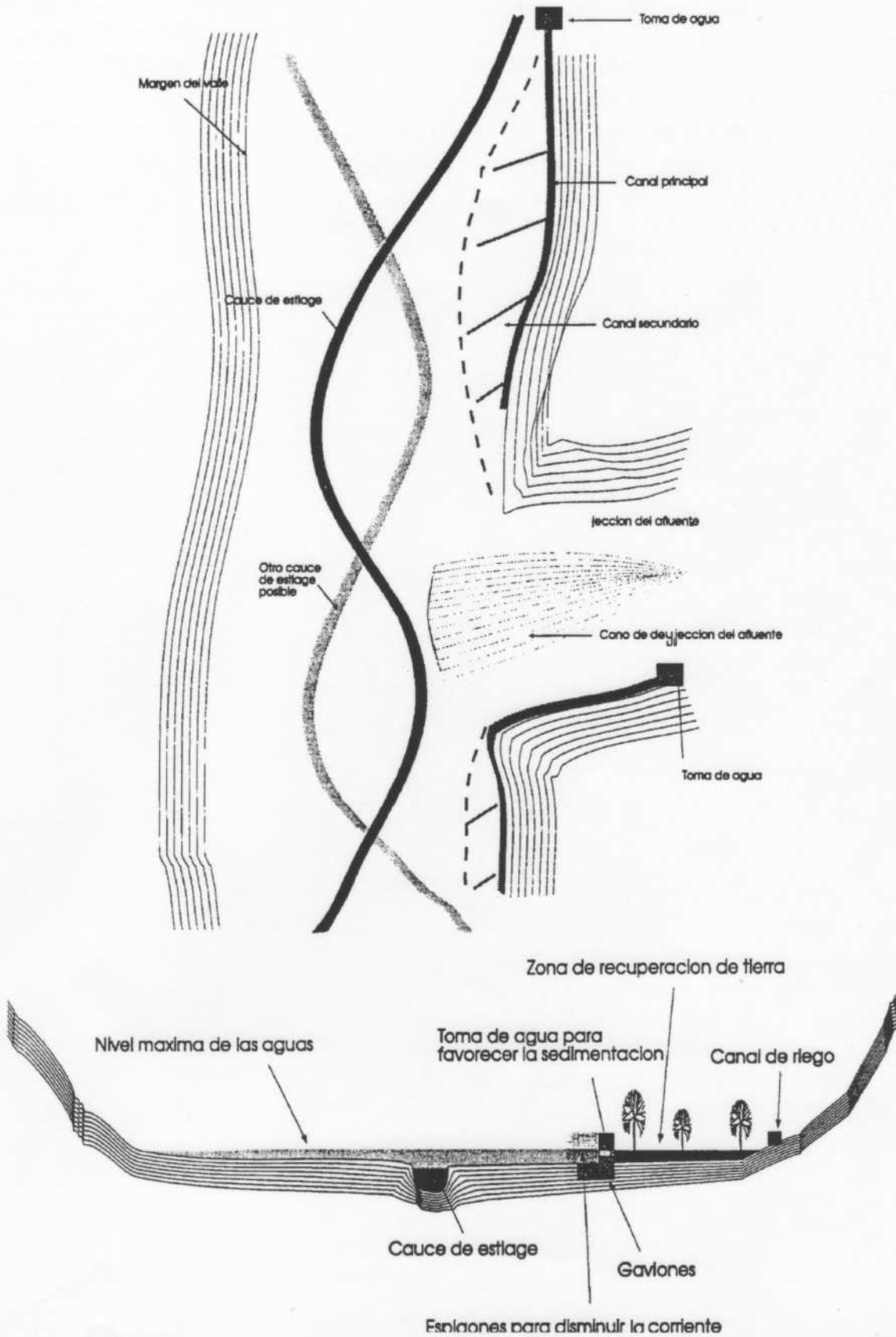
Tales proyectos estan acordes con los reflexiones vigentes en Bolivia sobre el desarrollo de sistemás de riego como constan en la referencia [MONTES 1992]. En este trabajo, resultado de un taller nacional, se considera la necesidad de implementar los proyectos de pequeña irrigación "microriego" (ve p.31). El potencial de tierras, con uso mejorado de este tipo, llega a miles de hectáreas como se puede ver en el departamento de Tarija según la tesis del señor VELASCO [VELASCO 1993] donde se identifica 15 000 hectáreas de tierras para microriego en los valles de este departamento. También **el Proyecto Nacional de Riego (PRONAR) recuerda la necesidad de mejorar los sistemás de riego ya existentes** como se puede ver en el Boletín n°5 de mayo - setiembre 1995 [PRONAR 1995]. El mercado existe ya que los cultivadores de legumbres en el valle del San Juan del Oro exportan sus producciones hasta la ciudad de La Paz. Es decir que tienen un real interés en el desarrollo de tales obras de mejoramiento de sus condiciones de producción.

La generalización de estos proyectos a lo largo de los ríos principales y de sus afluentes puede ser una manera eficiente de disminuir la carga sólida de los ríos, ya que una parte de los sedimentos finos paran en estas áreas de recuperación de tierras. Además, el cultivo más provechoso de estas áreas disminuye la presión antrópica sobre las tierras más altas ; puede ser un factor de recuperación de la cubierta vegetal en las pendientes erosionadas. Nos parecen elementos favorables para el manejo integral de la cuenca del Pilcomayo.

La figura siguiente ilustra la realización de proyectos de este tipo. Es posible mejorar estos sistemas con una realización más eficiente de las defensas y también bajo la condición de dejar al río el espacio necesario para sus avenidas. Sino, hay problemás de erosión fuerte al pie de los gaviones como podemos verlo en las fotos de ilustración en anexo.

Figura n°16.

ESQUEMA DE UN PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE TIERRAS.



### 5.2.1. Proyectos de riego sobre los tributarios.

Por fin existen algunos proyectos de presas y de riego sobre tributarios del río Pilcomayo o de sus afluentes principales. Generalmente el proyecto consiste en un embalse de algunas decenas de metros de altura con un capacidad de almacenamiento del orden del hectometro cúbico, suficiente para el riego de algunas decenas o centenas de hectáreas. Por ejemplo fuimos a visitar tal proyecto cerca de la ciudad de Sucre (Yotalilla ?), con una organización cooperativa de los cultivadores. Existen también algunos otros proyectos ya estudiados pero no realizados : por ejemplo los perfiles de proyectos de riego Coma y Pueblo Viejo [ICLA ?].



Tales proyectos, de tamaño medio, también parecen muy útiles para el manejo global de la Cuenca. En un primera fase, proyectos de esta dimensión nos parecen más adaptados que los grande proyectos como ICLA para el desarrollo inmediato de algunas áreas específicas y para acostumar a los campesinos a la técnica de riego. También el seguimiento de estas obras puede dar informaciones muy útiles sobre la hidrología de las subcuencas y los procesos locales de erosión. Informaciones de este tipo resultarían de alto interés para los estudios futuros de proyectos mayores.

### **5.2.2. Especificidad de la cuenca receptora.**

En la cuenca receptora, en la zona del Chaco, podemos encontrar los mismos problemas de abastecimiento en agua potable de las poblaciones o de desarrollo de proyectos de riego, y hasta con mayor dificultad por la salinidad de aguas y suelos.

Si el primero objetivo puede ser conseguido con el uso de las aguas subterráneas, el segundo depende de las aguas superficiales. Hasta ahora existen algunas experiencias cerca de la ciudad de Villamontes con el proyecto Villamontes - Sachapera o en el lado Argentino (más exactamente en la cuenca del río Bermejo, pero con una situación similar a la del río Pilcomayo). La toma de agua se hace directamente en el río cuando su curso existe como en la parte boliviana del Chaco o con una obra de almacenamiento como en la zona aguas abajo (proyecto ruta 28 en el lado Argentino, o embalses de los ganaderos en el lado paraguayo). Pero hasta ahora se puede decir que la principal actividad agrícola en el Chaco es la ganadería extensiva con las correspondientes necesidades de agua para los animales. Esta actividad es compatible con el ciclo de inundaciones y la existencia de bañados importantes. También se puede ver que esta actividad aprovecha las inundaciones como un medio para ganar nuevas áreas de pasto cuando el exceso de agua mata la vegetación natural existente. Pero hay que decir que tal uso natural o espontáneo se acompaña de pérdidas muy importantes. Sin duda, sería posible mejorar su eficiencia (ver resultados del proyecto Tifunqué/CEE).

Por fin, existen proyectos de reserva natural para mantener la riqueza natural faunística y florística del Chaco que depende mucho del ritmo de inundaciones y periodos secos debido al régimen del río Pilcomayo.

## **6. CONCLUSIONES .**

### **6.1. DATOS HIDRO - METEOROLÓGICOS.**

#### **6.1.1. Pluviometria.**

##### **6.1.1.1. Diagnostico.**

Existe ya una red de estaciones pluviométricas (o meteorológicas) bastante importante y más o menos bien repartida en la cuenca vertiente del río Pilcomayo. En algunas regiones (cuenca alta del San Juan del Oro, por ejemplo) hay lagunas en la repartición geográfica de las estaciones. En la cuenca receptora, disponemos de más estaciones en el lado argentino que en el lado paraguayo, pero la homogeneidad aparente de las lluvias deja entender que no es muy importante disponer de una red densa de estaciones.

Sin embargo la disponibilidad real de los datos no esta asegurada, especialmente en los últimos años de mediciones, y en algunos casos las estaciones están cerradas desde mucho tiempo.

Otro problema encontrado durante la misión consiste en la localización precisa de los estaciones. Diferentes documentos dan las estaciones con coordenadas diferentes y es difícil definir cual es la buena localización (ver resultados misión : monitoreo/SIG).

##### **6.1.1.2. Proposición para mejorar el sistema.**

Es muy importante disponer de una base de datos regularmente actualizados para facilitar los estudios futuros y el conocimiento de la hidrología de la cuenca. Este no significa hacer los mediciones por si mismo pero que haya un acuerdo con los servicios a cargo de las mediciones (SENAMHI, ENDE, ...) para recibir regularmente los datos actualizados de las mediciones.

Una elección de las estaciones representativas de las diferentes partes de la cuenca debe ser realizada sobre la base de :

- localización de las estaciones (estabilidad en el tiempo, característica de la zona),
- disponibilidad real de los datos,
- duración de las series de datos.

Después de esta elección, la organización de una base de datos pluviométricos podría realizarse con un formato de archivo bien definido y común a todas las estaciones. Un paso de tiempo diario parece suficiente para la gran mayoría de las necesidades y será posible limitar el número de estaciones con registro continuo.

En las zonas donde no hay ninguna estación actualmente, sería necesario instalar algunas estaciones suplementarias. Por eso también un convenio con los servicios a cargo de los datos

hidro - meteorológicos podría resolver el problema en buenas condiciones (ver Informe final - Tomo II - « Servicios Tecnológicos »).

### **6.1.1.3. Estudios sintéticos.**

Sobre la base de los datos existentes una actualización de los estudios pluviométricos podría ser realizada con los siguientes objetivos :

- la determinación de los regímenes pluviométricos de las subcuencas (y no solamente de las isohietas), repartición espacial y temporal de las lluvias, intensidad de la lluvias (corelada con los procesos de erosión), ...
- establecer referencias básicas de intensidad - duración - frecuencia (IdF) para las diferentes áreas de la cuenca,
- verificar la representatividad de algunas estaciones para utilizar sus datos en los estudios hidrológicos.

Con aquel estudio, dispondremos de un conocimiento actualizado de los regímenes pluviométricos de la cuenca útil para los estudios hidrológicos y para el diseño de las pequeñas obras hidráulicas (saneamiento urbano, puente sobre los ríos aguas abajo de pequeñas cuencas ...).

También sería posible incluir un análisis de las necesidades de agua de los cultivos en las diferentes áreas de la cuenca para ayudar al diseño de los proyectos de mejoramiento bajo riego.

Un estudio de este tipo podrá ser utilizado para establecer un balance de los recursos de agua en las diferentes áreas de la cuenca del Río Pilcomayo a fin de mejorar el manejo de los recursos hidricos.

## **6.1.2. Hidrometría.**

### **6.1.2.1. Diagnóstico.**

Pudimos encontrar 8 estaciones hidrométricas sobre el río Pilcomayo o sus afluentes. Pero estas estaciones no tienen una duración de funcionamiento muy grande y solamente 4 tienen una serie de registro bastante completa como para llevar a cabo algunos estudios hidrológicos. Es decir que la red de estaciones hidrométricas está muy insuficiente para un conocimiento de los regímenes hidrológicos de las diferentes subcuencas. Además, los datos no están fácilmente accesibles y hay también una dificultad con la fiabilidad de estos datos. De facto, en diferentes estudios pasados, es posible encontrar unos datos diferentes para el mismo año y la misma estación. Sería importante volver a los datos iniciales para disponer de una serie confiable de datos.

Otro problema encontrado es la continuidad de las series. Con la excepción de la estación de Fortín La Paz, aguas abajo de Villamontes, ninguna estación tiene una serie de datos continua sobre un largo período. Como consecuencia, es difícil hacer un estudio completo del régimen hidrológico de cada una y de comparar los regímenes de las

subcuencas. Además, disponemos de más informaciones sobre el río Pilcomayo mismo que sobre sus afluentes.

Se debe considerar con particular interés el funcionamiento hidrológico de los riachos del Chaco, aguas abajo del taponamiento. En el lado argentino, hay algunas estaciones de medición sobre algunos de ellos (río Monte Lindo, río Porteño, río Malvinas). En el lado paraguayo, no disponemos de ningún dato sobre los defluentes del sistema Pilcomayo. Estas informaciones son muy interesantes para establecer el balance hídrico de la zona baja de la cuenca.

### **6.1.2.2. Proposición para mejorar el sistema.**

#### **A. Base de datos.**

Por las mismas razones de disponibilidad y de confiabilidad de los datos, es muy importante establecer una base de datos con todas las mediciones hidrométricas existentes. Los datos con un paso de tiempo diario parecen los más adecuados para los estudios hidrométricos del río Pilcomayo y de sus principales afluentes.

El archivo de estos datos debe ser centralizado en un mismo lugar bajo convenio con los productores de datos, de tal manera que los datos estén inmediatamente disponibles para los estudios futuros.

Hasta ahora los datos no son fácilmente disponibles porque cada uno tiene un formato específico y que la ubicación de las estaciones es imprecisa. Los esfuerzos iniciados en la oficina de la comisión boliviana del Río Pilcomayo deben continuar para elaborar esta base de datos operacional.

#### **B. Complemento de la red hidrométrica.**

Para completar la base de datos es necesario instalar nuevas estaciones sobre el río Pilcomayo y sus principales afluentes. Las mediciones en cuencas "encajonadas" permiten estudiar la evolución de los gastos a lo largo del río y de analizar la variación de los regímenes hidrológicos y de la disponibilidad de agua. Por ejemplo, sería muy importante mantener las estaciones ya existentes como Talula o Viña Quemada sobre el Río Pilcomayo, y establecer algunas estaciones sobre el río Pilaya, el río Tumusla, el río San Juan del Oro. Estas estaciones deben ser fijas y continuas.

Además, sería posible completar esta red fija con algunas estaciones temporales sobre pequeñas cuencas donde serían proyectadas obras hidráulicas. Con solamente algunos años de datos (3 a 5), es posible establecer comparación con las estaciones fijas y mejorar los estudios hidrológicos regionales. Es bastante fácil desde la identificación del proyecto, de empezar la recolección de datos para disponer de una información suficiente para los estudios detallados del proyecto.

De la misma manera que para las estaciones pluviométricas, sería más conveniente establecer convenios con los servicios a cargo de las mediciones hidrométricas que manejar por sí mismo las estaciones. El convenio debe prever la transmisión regular de los datos. Y la comisión debe mantener un archivo completo de los datos.

### 6.1.2.3. Estudios y servicios complementarios.

#### A. Estudios generales.

El ultimo estudio hidrológico general de la cuenca vertiente del río Pilcomayo fue realizado en el año 1988 con el proyecto PHICAB. Este tipo de estudio puede ser actualizado con un frecuencia de 10 o 15 años para utilizar los nuevos datos disponibles. Además el ultimo estudio no tenía en cuenta la cuenca receptora del río Pilcomayo.

Un nuevo estudio tendrá como objetivo una actualización del balance hídrico de la cuenca vertiente del río Pilcomayo, sin posibilidad de mejorar los balances de las subcuencas, ya que no disponemos de nuevos datos sobre estas subcuencas. Un segundo objetivo sería analizar el balance hídrico de la cuenca receptora del río Pilcomayo, con un esfuerzo especial para analizar el impacto del retroceso muy importante del cauce en el año 1984. El análisis comparativo de los datos antes del año 1984 y después permitirá establecer si este cambio de cauce tuvo un impacto importante sobre el régimen hidrológico de los riachos aguas abajo de este punto, y analizar la posibilidad de una regulación natural y pluri anual de la cuenca receptora del Pilcomayo.

Tal estudio será una base necesaria para establecer un balance de los recursos hidricos disponible en la cuenca del Rio Pilcomayo con un paso de tiempo adaptado al ritmo del consumo, y particularmente a las necesidades de agua de los cultivos. Así sería posible mejorar la gestion de las aguas con respecto a los usos posibles.

#### B. Problema específico de la alerta hidrológica.

La principal demanda de este tipo fue mencionada para proteger el tramo aguas abajo de Villamontes y la zona de ganadería del Chaco. Tambien puede ser bastante útil para las comunidades indigenas que viven en la zona del Chaco, y en el próximo futuro, para las maquinas de mantenimiento del cauce y del dique ditribuidor y para las obras publicas que podran ser edificadas en la zona (corredor bi-oceánico, puente en Pozo Hondo, ...). La duración característica de las crecidas en esta área supera las 24 horas; es decir que la observación de la estación de Villamontes con una transmisión de información vía la red telefónica puede ser una primera respuesta al problema.

En una fase ulteriora, el conocimiento del regimen hidrológico de la cuenca permitirá establecer algunos modelos de previsión para responder a las diferentes necesidades : manejo de las zonas agropecuarias en la cuenca receptora con arreglo a las condiciones de lluvia en la cuenca vertiente, alerta hidrológica en caso de crecida, etc. Pero no hay que subestimar la dificultad de establecer un modelo de transferencia de las crecidas en una cuenca como la del río Pilcomayo ...

#### C. La necesidad de desarrollar la red hidrométrica.

Considerando tales objetivos, es muy importante de disponer de datos actualizados que resulten de una red hidrométrica completa y eficaz. Parece una prioridad absoluta para desarrollar la base de modelización.

### **6.1.3. El problema de la base de datos.**

Para organizar la base de datos hidro - meteorológicos es importante elegir un sistema de archivo específico que permita además algunos tratamientos básicos de los datos: visualización, muestreo y ajustamiento estadístico, ...

En el Tomo II del informe general, con título "Servicios Tecnológicos", se encuentran los detalles operativos para el manejo de la base de datos.

## **6.2. USO DE LAS AGUAS.**

### **6.2.1. Diagnostico.**

#### **6.2.1.1. Cuenca vertiente.**

En la cuenca vertiente del río Pilcomayo, el sistema actual de uso de las aguas consiste especialmente en:

- aprovechamiento de agua potable para las poblaciones,
- aprovechamiento de agua para la ganadería,
- proyectos de defensas y de recuperación de las tierras a lo largo de los ríos, con riego de complemento,
- pequeñas presas hidráulicas para agua potable y riego,
- uso de agua para la industria minera en la parte alta.

Una estimación del nivel actual da una superficie regada de 10 000 ha repartida en la cuenca vertiente.

Las actividades mineras tienen consecuencias especialmente sobre la calidad del agua. No necesitan volúmenes ni gastos muy importantes pero representan una fuente de contaminación que a veces puede ser peligrosa para las poblaciones que no disponen de otro medio de abastecimiento. Este problema particular debe ser estudiado por sí mismo. Algunos estudios específicos podrían ser desarrollados con la colaboración de la Comunidad Europea, fuera de esta misión.

Por fin, hay también algunos grandes proyectos de embalses para la producción hidroeléctrica y la regulación del río.

Hoy, en esta zona, las necesidades de agua no son muy elevadas de tal modo que no se requiere un alto nivel de regularización hidráulica. Un primer esfuerzo sería oportuno para dar seguridad al sistema tradicional de aprovechamiento de las tierras, y satisfacer una demanda bastante importante de los agricultores tradicionales como ocurre en el proyecto de desarrollo de Cotagaita - San Juan del Oro.

Este primer diagnóstico tiene que ser confirmado por los otros expertos, especialmente el de riego.

### 6.2.1.2. Cuenca receptora.

La cuenca receptora tiene un problema específico de abastecimiento de las poblaciones en agua de consumo. La salinidad casi generalizada de las aguas subterráneas lleva a la utilización de las aguas superficiales para este uso pero la débil densidad humana en el Chaco no necesita caudales muy fuertes.

Las aguas superficiales sirven principalmente al mantenimiento del ecosistema natural del Chaco y al sistema de ganadería extensiva. El ecosistema del Chaco parece bastante interesante con especies vegetales raras y una fauna específica. Estos usos ambientales necesitan algún tipo de regulación hidrológica pero nos parece que una **compensación inter-anual** (es decir dentro de un periodo de algunos años sucesivos y no cada año) sería suficiente para esta fin. Hay algunos proyectos de embalse o terraplén para guardar un volumen de agua más importante en la estación de lluvias o durante las aguas altas de los ríachos.

Aguas abajo de Villamontes, hay algunas experimentaciones de riego con el proyecto Villamontes - Sachapera (# 400 ha), pero este proyecto encontró problemas de bienes raíces, de salinidad de los suelos y no da todos los resultados esperados. En el Chaco argentino y paraguayo, hay pocos proyectos de riego hasta ahora y solamente algunas experimentaciones en el lado argentino con las aguas del río Bermejo. Las dificultades ligadas al problema de salinidad de los suelos y de las aguas no dejan esperar un desarrollo muy importante de los proyectos de riego.

### 6.2.2. Proyectos a desarrollar.

#### 6.2.2.1. A corto plazo.

##### A. Cuenca vertiente.

Se recomienda desarrollar y dar seguridad a los usos tradicionales de las tierras como los proyectos de recuperación y de protección de las tierras. Las superficies interesadas por estos proyectos son relativamente importantes : más de 10 000 ha.

Estos proyectos dan a los habitantes de la región un medio para vivir y también para ganar algún dinero con la comercialización de sus productos hasta La Paz (Cf. San Juan del Oro). Estos proyectos permiten también parar una parte de los sedimentos que van a la recuperación de tierras, y disminuyen la presión sobre las tierras altas donde se produce la erosión. Entonces y indirectamente, permiten de luchar contra el proceso de erosión.

Se sugiere identificar más proyectos de desarrollo, con pequeñas presas o galerías filtrantes para favorecer una producción agrícola sobre las tierras más productivas o mejor ubicadas.

**B. Cuenca receptora.**

El primer objetivo en la cuenca aguas abajo de Villamontes es asegurar el aprovechamiento en agua de consumo. Las necesidades no son muy altas, y algunos proyectos de presas, con canales, y tuberías, deberían resolver este problema.

También hay que desarrollar los proyectos de riego ya existentes como el de Villamontes - Sachapera y otros proyectos argentinos o paraguayos de tal manera que se demuestre la factibilidad de cultivos regados en la zona del Chaco y que se mejoren las técnicas de riego en las condiciones de la zona (salinidad de los suelos y de las aguas).

Debe ser posible de mejorar el uso de las aguas para la producción de forrajes naturales en las zonas de ganadería extensiva del Chaco (ver Proyecto Tifunqué).

Además se requiere mantener un caudal biológico para el medio ambiente.

Por otro lado el análisis del funcionamiento de la obra de control permitirá conocer su eficacia para disminuir el proceso de retroceso del cauce. Este análisis permitirá identificar otros puntos donde se podría construir otras obras para acompañar la evolución del cauce y mejorar la distribución de los caudales entre las dos márgenes del río.

**6.2.2.2. A medio plazo.**

Un trabajo para resolver el problema de la tenencia de la tierra es importante para poder desarrollar proyectos ambiciosos. Es necesario clarificar los derechos de propiedad sobre las tierras para reforzar las posibilidades de desarrollo y evitar los conflictos cuando se realizan nuevos proyectos. Tal reflexión debe tener en cuenta las reivindicaciones sobre los sitios indígenas históricos (ej. « Laguna Escalante »)

Al mismo tiempo es posible continuar el desarrollo de pequeños proyectos de riego o de obras hidráulicas para mejorar las condiciones de producción agrícola de la zona, particularmente en la cuenca vertiente del río Pilcomayo y de sus tributarios.

En el tramo aguas abajo, hay que acompañar la evolución natural del cauce para evitar su cambio completo y también para "equilibrar" la distribución de las aguas entre los dos países ribereños. Proyectos de reservas naturales binacionales en la zona de taponamiento pueden ser una solución eficiente para aceptar esta evolución y evitar los conflictos. Cada año, sería posible prever una intervención mecánica conjunta para equilibrar los flujos de aguas entre los dos países. Hay también que aceptar a veces mala repartición de aguas con la garantía de una intervención al año siguiente para evitar la reproducción del problema. Parece que un organismo ejecutivo conjunto entre los dos (o tres) países sería la sola manera de manejar con eficacia tal situación.

El medio ambiente como el sistema de ganadería extensiva pueden soportar sin problema ese tipo de funcionamiento con la ayuda de algunos embalses aguas abajo donde las necesidades son más importantes, sobre el modelo de lo que existe en el lado argentino (presa ruta 28, por ejemplo). Estos proyectos deben permitir una compensación pluri-anual de los volúmenes de aguas de cada lado del río y disminuir los efectos negativos de una posible mala repartición de las aguas.

Los resultados del proyecto Tifunque, financiado por la Comisión Europea, daran elementos muy oportunos sobre el funcionamiento de los bañados, de su balance hidrico, y como sería posible mejorar el uso de las aguas y la producción de forrajes en estas zonas.

### 6.2.2.3. A largo plazo.

Hay que estudiar objetivamente la factibilidad de algunos proyectos de presas de regulación y de almacenamiento de los sedimentos sobre el río Pilcomayo, para mejorar las compensaciones interanuales y almacenar los sedimentos (totalmente o en parte) durante un largo tiempo. Es seguro (ver el estudio de fluviomorfología) que una obra única, con una retención total de los sedimentos, tendrá como consecuencia un cambio radical del ecosistema aguas abajo y también una inestabilidad morfológica del río. Entonces la elección de una solución de este tipo debe ser realizada con un estudio previo muy completo y cuidadoso de sus consecuencias.

En el contexto actual de los usos de aguas y tierras en la cuenca receptora del río Pilcomayo, esta solución no puede ser aconsejada ya que sus beneficios no estarían suficientes cómo para justificar tal inversión. Tal conclusión debe ser verificada con los otros expertos de la misión especialmente el de « mercados energéticos ». Dentro de algunos años, es posible que el contexto evolucionara y que tal solución podrá ser interesante.

Por lo menos, será necesario asegurar el abastecimiento en agua de las poblaciones en las zonas del Chaco argentino, boliviano y paraguayo. Por eso, una solución de presa de agua en el tramo donde el cauce esta fijo y acueducto para conducir las aguas donde las necesitan puede ser una solución razonable y de un costo aceptable. Para asegurar la disponibilidad de las aguas a lo largo del año, tal proyecto debe ser completado por obras de almacenamiento de aguas como terraplenes.

El problema de aprovechamiento para las aguas de consumo y los cultivos regados necesita solamente una regulación parcial (volumen limitado) de los recursos hídricos. Los otros usos, como el ambiental y para forrajes naturales, no necesitan un nivel de regulación tan preciso sino más bien unas compensaciones inter-anales en volúmenes mayores. Así no parece oportuna una solución de regulación integral como la de Caipipendi, mientras que soluciones alternativas permiten esta regulación parcial para los usos proritarios y una gestión a un nivel pluri-anual para los usos extensivos. En este caso, el problema del retroceso del cauce resultará menos importante. Acompañar la evolución natural del río bajo una supervisión trinacional, y eventual apoyo técnico-científico europeo permitirá ajustar la repuesta al contexto ambiental y económico.