



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

Contrato Comisión Europea N° ASR/B7-3100/99/136

*Estudio de la Línea Base Ambiental
y Socioeconómica de la Cuenca del
Río Pilcomayo
Informe Final (borrador)*

Tomo I: Parte II:

Capítulos 9 y 10

- *Recursos Hídricos*
- *Calidad de Agua*

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

Diciembre - 2006

Elaborado por Halcrow & Serman Asociados

MA~189



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

Contrato Comisión Europea N° ASR/B7-3100/99/136

*Estudio de la Línea Base Ambiental
y Socioeconómica de la Cuenca del
Río Pilcomayo
Informe Final (borrador)*

*Tomo I: Parte II:
Capítulo 9:*

Recursos Hídricos

Diciembre - 2006

Elaborado por Halcrow & Serman Asociados

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICO
DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

INDICE

9. RECURSOS HÍDRICOS	9-1
9.1 Descripción general del funcionamiento hídrico del área.	9-1
9.2 Delimitación de subcuencas y unidades de funcionamiento	9-2
9.2.1 Subcuencas pertenecientes a la Cuenca Alta	9-2
9.2.2 Unidades de funcionamiento pertenecientes a la Cuenca Baja	9-2
9.2.3 Superficies de subcuencas y unidades de funcionamiento	9-2
9.3 Dinámica hídrica regional	9-2
9.3.1 Caudales del Río Pilcomayo en la cuenca Alta	9-2
9.3.2 Caudales del Río Pilcomayo en la estación Villa Montes	9-2
9.3.3 Caudales del Río Pilcomayo en la estación Misión La Paz	9-2
9.3.4 Caudales del Río Pilcomayo en la ex estación Fortín Pilcomayo	9-2
9.3.5 Caudales del Río Caraparí /Itiyuro en la estación puente Campo Durán	9-2
9.3.6 Caudales del Riacho Portefío en la estación El Espinillo	9-2
9.3.7 Caudales del Riacho Monte Lindo Grande en la estación M. de Andrea	9-2
9.3.8 Caudales del Riacho Pilagá en la estación Ea. Guaycolec	9-2
9.3.9 Caudales del Brazo Sur del Río Pilcomayo Inferior en la estación Gral Bruguez	9-2
9.3.10 Caudales del Río Negro en la estación Puente Ruta 9 (Transchaco) Km 173	9-2
9.3.11 Caudales del Río Montelindo en la estación Puente Ruta 9 Km 210	9-2
9.4 Análisis de Valores Extremos – Caudales Máximos	9-2
9.5 Análisis de Valores Extremos – Caudales Mínimos	9-2
9.6 Demanda de agua	9-2
9.6.1 Información Utilizada	9-2
9.6.2 Caracterización	9-2

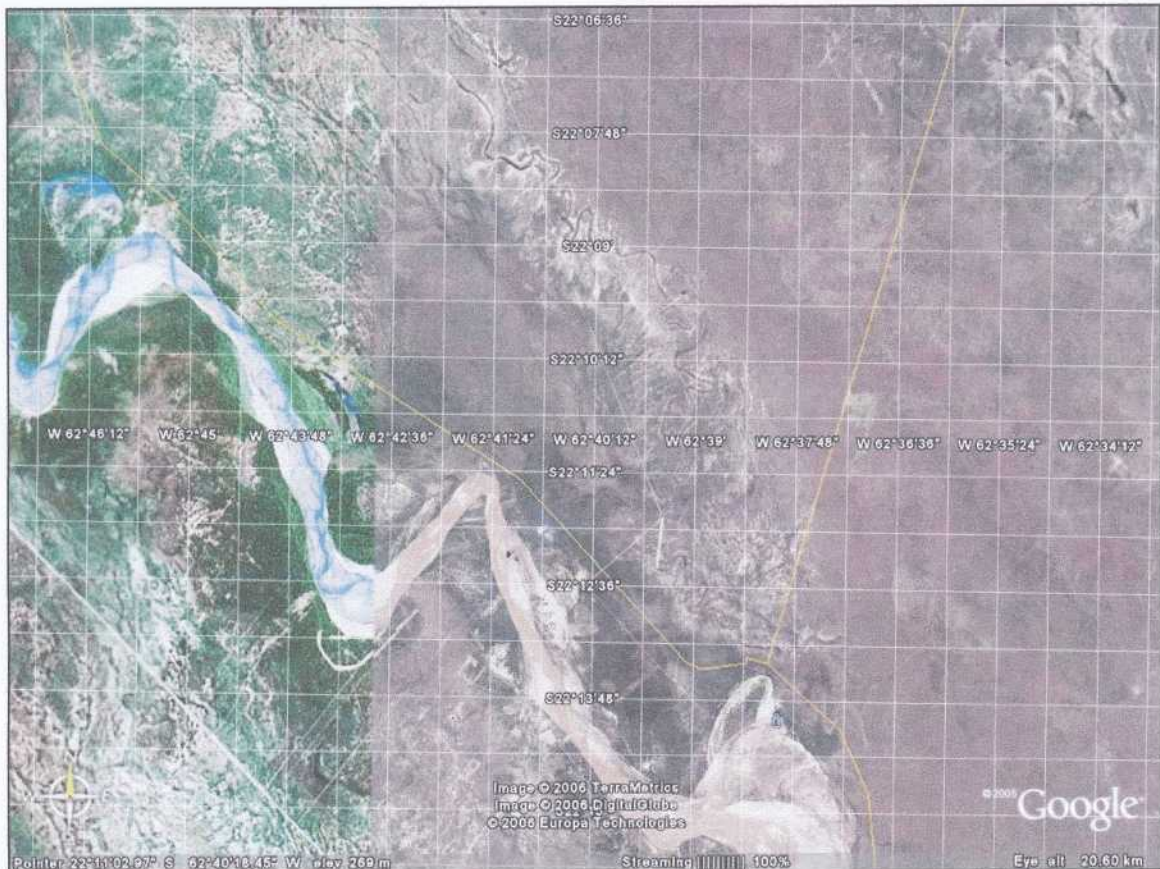
9. RECURSOS HÍDRICOS

9.1 Descripción general del funcionamiento hídrico del área.

Se hace referencia a la cadena causal FTR del balance hídrico de la cuenca.

FUENTE

- **Régimen climático¹:** La cuenca presenta una gran variabilidad climática que a su vez tiene una influencia directa en la disponibilidad del recurso hídrico. Desde las nacientes hasta el río Paraguay se identifican las siguientes zonas climáticas: i) Puna, ii) árido, iii) semiárido, iv) templado a frío, v) subhúmedo seco templado, vi) subhúmedo megatermal, vii) subhúmedo seco megatermal, viii) megatermal, ix) subhúmedo seco, x) subhúmedo húmedo, xi) húmedo.
- **Estacionalidad de la oferta hídrica²:** Las precipitaciones se concentran en los meses de Octubre a Marzo prácticamente en toda la cuenca, aspecto que genera una oferta hídrica estacional y no regulada.
- **Calidad inadecuada:** La calidad natural del agua del río Pilcomayo depende de la época del año y de los niveles de concentración de sedimentos, aspecto que puede ser verificado cuando se comparan imágenes de satélite del curso principal en época seca y en época de lluvias.



La contaminación antrópica importante de los recursos hídricos superficiales se encuentra en la cabecera de la cuenca y está vinculada sobre todo con la actividad minera³.

En lo que respecta al agua subterránea, su calidad esta definida por los niveles naturales de

¹ Mapa de zonas climáticas.

² Mapa de isohietas.

³ Mapa de calidad de agua superficial.

salinidad y en menor medida por la contaminación por acción humana⁴.

- **Baja accesibilidad al recurso hídrico superficial o subterráneo:** Se considera que el recurso hídrico es accesible cuando se puede disponer de él sin mayores dificultades con costos razonables y sin interrupciones en el tiempo. En el caso particular de la cuenca del río Pilcomayo y debido a la marcada estacionalidad de la oferta hídrica, la accesibilidad sólo es posible a través de infraestructura que permita la captación y regulación de caudales superficiales. Por las características de los acuíferos se requiere de extracciones de agua subterránea a grandes profundidades con los costos de bombeo que ello implica.
- **Excesiva demanda:** Los niveles de demanda actuales no son considerados excesivos. Sin embargo, se espera un crecimiento importante de la demanda en el tiempo. En tal sentido, el registro de caudales en la estación de Villa Montes es elocuente, por cuanto se observa una reducción de los caudales mínimos. Se considera que esto se debe al incremento de la demanda en la cuenca alta, entre otros factores adicionales que requieren de análisis detallado, como ser la posible influencia del cambio climático.

TRANSMISOR

- **Topografía y relieve⁵:** Las zonas de montaña se caracterizan por vincular las relaciones causa – efecto con mayor eficiencia que las zonas de llanura. En tal sentido, el modelo de elevación digital permite diferenciar las zonas de topografía y relieves abruptos y pronunciados de aquellas zonas planas y de relieve uniforme. Es evidente que zonas con pendientes importantes son más eficientes en transmitir las acciones aguas arriba hacia aguas abajo, que las zonas de reducida pendiente. En particular, el volumen de agua aportado por las lluvias y su retención superficial depende directamente de la topografía y del relieve.
- **Red hídrica⁶:** El área de estudio abarca escenarios hídricos de características muy diferentes en su recorrido desde su desembocadura actual en Puerto Pilcomayo como un afluente menor de la margen izquierda del Río Paraguay a 60msnm en las proximidades de Asunción (Paraguay) y Clorinda (Argentina), hasta su origen a 4600msnm en la cordillera de los Frailes en las proximidades de Potosí (Bolivia). La distancia en línea recta con orientación Este – Oeste es desde Asunción a Potosí es de 1500km. En este extenso recorrido se pueden identificar las siguientes zonas de funcionamiento hídrico característico :
 - ✓ Cuenca Alta Andina
 - ✓ Cuenca Alta Subandina
 - ✓ Cuenca Baja Superior
 - ✓ Cuenca Baja Media
 - ✓ Cuenca Baja Inferior

Cuenca Alta Andina

La cuenca alta se caracteriza por presentar una red hidrográfica bien definida. Los ríos en general y el curso principal en particular, presentan importante pendiente con márgenes estables. En estas condiciones, tiene una excepcional capacidad para transmitir la escorrentía desde aguas arriba hacia aguas abajo.

El río Pilcomayo en su inicio en la Cuenca Alta se desarrolla en la zona seca de la Cordillera Oriental de los Andes. La cuenca alta del río Pilcomayo presenta un régimen climático bien definido, donde las lluvias se concentran en el período Octubre – Marzo. En esta zona la cobertura vegetal es limitada, los suelos son poco profundos y existen importantes superficies de macizos rocosos prácticamente impermeables o con reducida permeabilidad secundaria. Los factores

⁴ Mapa de calidad de agua subterránea.

⁵ Modelo digital del terreno.

⁶ Mapa de la red hidrográfica jerarquizada.

mencionados se traducen en un régimen de escurrimiento del río torrencial alimentado por escorrentía producto de ocasionales tormentas de lluvia y derretimiento de nieve y una variabilidad extrema de los caudales superficiales en el curso principal y sus tributarios. El cauce en general no cuenta con lagos que permitan la modulación natural de los caudales lo cual permitiría un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles.

Es decir que, en ausencia de regulación de los caudales superficiales, se tiene escasez de agua durante parte del año y en general restricciones para su aprovechamiento racional y sostenido.

Cuenca Alta Subandina

Atraviesa las serranías del Subandino donde se produce un aumento progresivo de caudales y recibe el aporte de su mayor afluente el río Camblaya – Pilaya que a su vez nace en la confluencia de los ríos Tumusla y San Juan del Oro. El régimen del río es torrencial alimentado por escorrentía producto de tormentas de lluvia de verano que llegan a ser importantes en esta zona. El régimen de precipitaciones concentra la producción estacional del agua en la cuenca alta Andina y Subandina. De igual forma que en el caso de la cuenca alta Andina la ausencia de regulación natural o artificial de los caudales superficiales, implica en consecuencia la escasez de agua durante parte del año y en general restricciones para su aprovechamiento de los volúmenes escurridos de forma racional y sostenida.

Cuenca Baja Superior

En la cuenca Baja Superior el cauce del río corre atrincherado en su propio cono de deyección. El tramo se encuentra entre Villa Montes e Ibibobo. Los hidrogramas de caudales del río presentan variaciones rápidas en la época de aguas altas (diciembre a marzo).

Cuenca Baja Media

La cuenca Baja Superior es un cono de deyección aluvial que es formado por los rellenos de sedimento y cambios sucesivos del cauce del que escurre sobre el cono de deyección. El tramo se encuentra entre Ibibobo y el ex Estero Patiño.

En este tramo de pendientes moderadas el cauce es inestable dado que la escorrentía no alcanza para transportar los sedimentos y detritos vegetales.

Cuenca Baja Inferior

Es un abanico fluvial de cauces menores alimentados por excedentes de lluvias locales y eventualmente algunos de ellos por excedentes de caudales provenientes de los bañados del río Pilcomayo en la cuenca Baja Media, y la cuenca desagua en la margen derecha del río Paraguay.

- **Infraestructura⁷**: Se han identificado las siguientes tipologías de obras hidráulicas en la cuenca: i) captaciones sin regulación, ii) captaciones con regulación, iii) conducciones y redes de distribución de agua, iv) protección contra las inundaciones, v) cruces fluviales de conductos, vi) encauzamiento fluvial, vii) preservación ambiental y viii) puentes. Si bien cada tipología interactúa de manera diferente con los recursos hídricos, en todos los casos y desde el punto de vista exclusivo de la transmisión de información desde aguas arriba hacia aguas abajo, las obras hidráulicas presentan dos comportamientos: a) Actúan como filtros de la información en su tránsito de aguas arriba hacia aguas abajo y b) son acumuladores de la información generada aguas arriba. En ambos casos, el resultado final es una modificación de mayor o menor intensidad de los patrones medio ambientales en la zona de la obra y aguas abajo de la misma.

⁷ Mapa de obras hidráulicas.

RECEPTOR

Los principales receptores de la escasez y restricción al aprovechamiento de los recursos hídricos son los seres humanos, de manera directa al considerar la satisfacción de sus necesidades básicas (agua y alimentación) y de manera indirecta con las actividades económicas que realizan, como ser la agropecuaria, la minería e industria ó la actividad petrolera. La vida silvestre también se ve afectada, pues depende del acceso al recurso hídrico.

- **Población:** Si bien las ciudades de la cuenca actualmente disponen de agua potable, se observa que en algunos casos la fuente se encuentra fuera de la cuenca (Sucre y Formosa) y en otros (sobre todo comunidades del área rural) las captaciones superficiales y subsuperficiales dependen directamente de las variaciones que presenta el ciclo hidrológico, por lo que se requiere regular los caudales para garantizar el acceso permanente al recurso hídrico. Los asentamientos indígenas a lo largo del curso principal tienen acceso directo al recurso hídrico en cantidad, pero la calidad del agua depende de la época del año y sobre todo de los niveles de contaminación por la actividad minera en las cabeceras.
- **Actividad agropecuaria:** La agricultura y la ganadería dependen directamente de la disponibilidad de agua. En tal sentido, la marcada estacionalidad de la oferta sin regulación natural de caudales superficiales demanda el almacenamiento de agua en época de exceso hídrico para que sea utilizada en época de déficit.
- **Minería e industria:** El consumo de agua por la actividad industrial en la cuenca es mínimo, aspecto que no sucede en el caso de la minería. Se debe resaltar los importantes volúmenes de agua demandados por la actividad minera en el procesamiento de minerales en las cabeceras de la cuenca.
- **Actividad petrolera:** Demanda agua para consumo humano en campamentos y desde el punto de vista industrial en la perforación de pozos y operación de los campos petroleros. La zona petrolera, corresponde a la serranía del Aguarague, donde el recurso hídrico es accesible con las inversiones respectivas.
- **Vida silvestre – caudal ecológico:** La demanda de agua por intervenciones antrópicas compete con la disponibilidad de agua para satisfacer la demanda de la vida silvestre.

9.2 Delimitación de subcuencas y unidades de funcionamiento

Se hace referencia al mapa de subcuencas y unidades de funcionamiento para el balance hídrico.

9.2.1 Subcuencas pertenecientes a la Cuenca Alta

Para la cuenca alta se tomó la división en sub cuencas provenientes del balance hídrico de dicha cuenca. Estas son:

- SC_1 Nujchu
- SC_2 Talula
- SC_3 Salto León
- SC_4 Palca Grande
- SC_5 La Angostura
- SC_6 El Puente
- SC_7 Tumusla
- SC_8 Viña Quemada
- SC_9 Puente Aruma
- SC_10 Villa Montes
- SC_11 San Pedro

- SC_12 Chillcara
- SC_13 El Molino
- SC_14 San Josecito
- SC_15 Misión La Paz Superior
- SC_16 Sub cuenca Ibibobo

9.2.2 Unidades de funcionamiento pertenecientes a la Cuenca Baja

Las unidades de funcionamiento fueron determinadas en base a los siguientes criterios:

- Topográficos
- Geomorfológicos
- Antrópicos (obras hídricas, Infraestructura vial, etc)
- Vegetación

Las unidades de funcionamiento en que se subdividió la cuenca baja son:

- **UF_17: Cuenca del Río Itiyuro**
Esta unidad se delimito en base a las de curvas de nivel y al mapa geomorfológico en el cual se distingue la unidad Fri – Cono aluvial del Río Itiyuro
- **UF_18: Río Bermejo**
Para delimitar esta unidad se utilizo como base el mapa de unidades geomorfológicas en especial se consideró la unidad Fpb-Primer nivel del conoide regional del Río Bermejo.
Esta unidad de funcionamiento limita al sur con la ruta 81 y las Vías del Ferrocarril.
En esta zona se presentan numerosos paleocauces.
- **UF_19: Río Pilcomayo Superior- Bañado La Estrella**
Tiene sus orígenes a la altura de la ciudad de María Cristina aproximadamente, finalizando en el control de la ruta 28.
La principal característica de esta unidad es la presencia del Bañado La Estrella, a través del cual se encauzan las aguas del Pilcomayo y del embalse formado por obra hidrovial de la ruta 28.
- **UF_20: Bañado y esteros del Pilcomayo**
Esta unidad es muy similar a la UF3 se delimito teniendo en cuenta la subdivisión de los sistemas ecológicos acuático y unidades ecológicas de drenaje.
Siendo esta una zona de bañados y esteros.
- **UF_21: Segundo nivel del conoide del Pilcomayo**
Esta unidad se delimito teniendo en cuenta la unidad geomorfológica Fsp- Segundo nivel del conoide del Pilcomayo.
Se caracteriza por la presencia de bañados hiperestacionales y paleocursos temporalmente anegados.
- **UF_22: Primer nivel del conoide del Pilcomayo**
Esta unidad se delimito teniendo en cuenta la unidad geomorfológica Fpp- Primer nivel del conoide del Pilcomayo.
Esta unidad se caracteriza por ser una planicie de anegamiento temporario.
- **UF_23: Pilagá**
Esta unidad representa la cuenca de aporte del riacho Pilagá con origen a la altura de la ciudad de Ibarreta y limitando al sur con el río Paraguay, desaguando en el río Paraguay.

- **UF_24: Monte Lindo**

Esta unidad de funcionamiento se corresponde con los límites de la cuenca de aporte del Riacho Monte Lindo.

Limita al oeste con la ruta 28 y al este con el Río Paraguay

Esta es una zona que presenta una red de escurrimiento mucho mas definida, fundamentalmente por los riachos Monte lindo Grande y Chico ambos desaguardo en el Río Paraguay.

- **UF_25: El Porteño He He**

Esta unidad se corresponde prácticamente con los límites de la cuenca de aporte del riacho el Porteño.

Esta unidad limita al este con la ruta 28 y al oeste con el Río Paraguay para desembocar en el río Pilcomayo Inferior.

- **Unidades_26 a 33**

Estas unidades se corresponden con la unidad geomorfológica Frc-Zona distal del Conoide Regional del río Pilcomayo la cual limita con el Río Paraguay al este y la unidad geomorfológica Fpp al oeste. Esta gran unidad se subdividió en unidades menores teniendo en cuenta las áreas de aporte de cada riacho y los controles que producen las rutas y caminos.

Por lo cual resultaron las siguientes unidades de funcionamiento, cuyos nombres corresponden con el riacho más importante

- **UF_26: Pilcomayo Inferior**

Tiene sus orígenes al este del paraje de Fortín Pilcomayo, limitando al sur con la cuenca del Riacho El Porteño. Esta unidad cuenta con una estación de aforo del Brazo Sur del Río Pilcomayo en Gral. Briguez (Paraguay) desde abril 1970.

- **UF_27: Río Confuso**

Tiene sus orígenes en el ex Estero Patifio y desemboca en el Río Paraguay en las proximidades de Villa Hayes (Paraguay).

- **UF_28: Aguará Guazú**

- **UF_29: Río Negro**

Esta unidad cuenta con una estación de aforo del Río Negro en el Puente del Km 173 de la Ruta 9 (Transchaco) de Paraguay desde abril 1970.

- **UF_30: Riacho Monte Lindo**

Esta unidad cuenta con una estación de aforo del Río Montelindo en el Puente del Km 210 de la Ruta 9 (Transchaco) de Paraguay desde abril 1970.

- **UF_31: Siete Plumas**

- **UF_32: Arroyo Verde**

- **UF_33: Riacho Gonzales**

- **UF_33: Riacho Alegre**

9.2.3 Superficies de subcuencas y unidades de funcionamiento

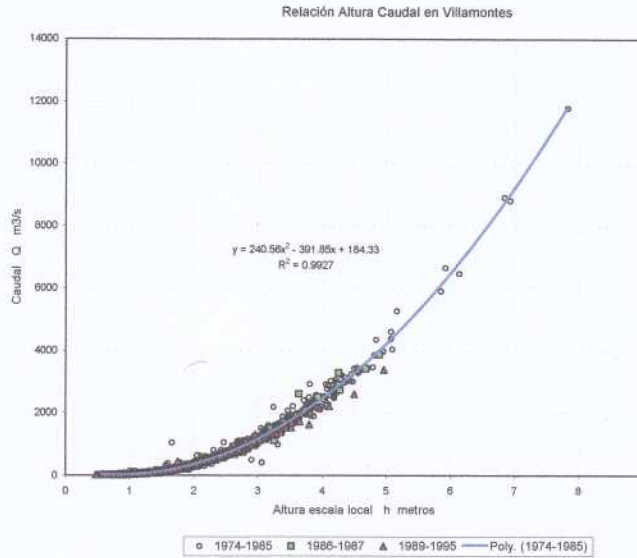
Número	Código	Nombre Subcuenca	Area en Km ²
1	SC_1	Nujchu	1623.5
2	SC_2	Talula	6457.5
3	SC_3	Salto León	4461.4
4	SC_4	Palca Grande	10444.9
5	SC_5	Angostura Tupiza	2336.3
6	SC_6	El Puente	17683.3
7	SC_7	Tumusla	3656.6
8	SC_8	Viña Quemada	5384.6
9	SC_9	Puente Aruma	10090.2
10	SC_10	Villa Montes	8955.1
11	SC_11	San Pedro	2199.3
12	SC_12	Chilcara	3172.0
13	SC_13	EL Molino	290.9
14	SC_14	San Josecito	4236.5
15	SC_15	Misión La Paz Superior	6264.8
16	SC_16	Ibibobo	2191.8
17	UF_17	Itiyuro	10977.7
18	UF_18	Bermejo	8928.8
19	UF_19	Pilcomayo Superior (Bañado La Estrella)	15407.8
20	UF_20	Bañados y esteros del Pilcomayo	12727.1
21	UF_21	Segundo nivel del conoide del Pilcomayo	21883.4
22	UF_22	Primer nivel del conoide del Pilcomayo	25015.8
23	UF_23	Pilagás	5136.7
24	UF_24	Monte Lindo	10088.9
25	UF_25	El Porteño - He He	9651.3
26	UF_26	Pilcomayo Inferior	10667.7
27	UF_27	Confuso	6766.4
28	UF_28	Aguará Guazú	5194.7
29	UF_29	Negro	8470.5
30	UF_30	Monte Lindo	8488.5
31	UF_31	Siete Plumas	6757.8
32	UF_32	Verde	13520.5
33	UF_33	Gonzalez	6926.7
34	UF_34	Alegre	12390.6
		Total	288449.6

9.3 Dinámica hídrica regional**9.3.1 Caudales del Río Pilcomayo en la cuenca Alta**

Ver Ref[2] y resultados de revisión de caudales de JCSH.

9.3.2 Caudales del Río Pilcomayo en la estación Villa Montes

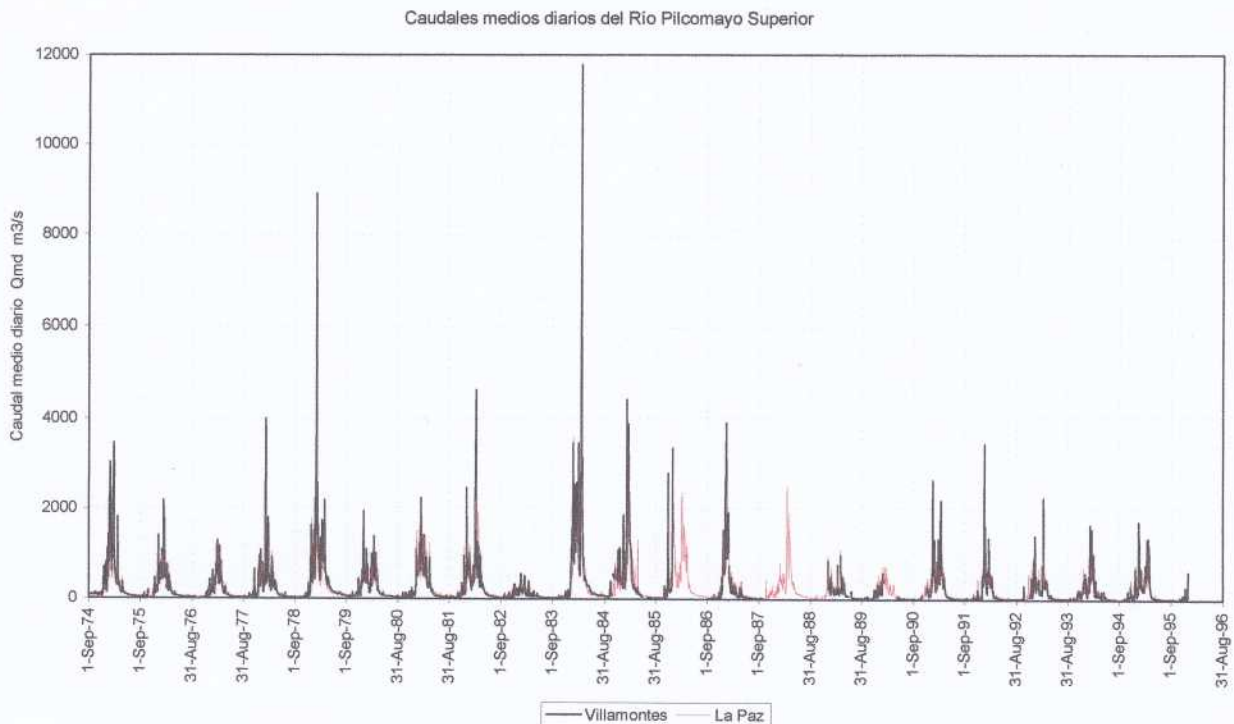
La relación altura caudal del Río Pilcomayo en Villa Montes obtenida de los datos SENAMHI del período 1974 a 1975 se ajusta sin mayor dispersión a una relación parabólica. Dicha relación se mantiene sin cambios significativos en el período analizado.



9.3.3 Caudales del Río Pilcomayo en la estación Misión La Paz

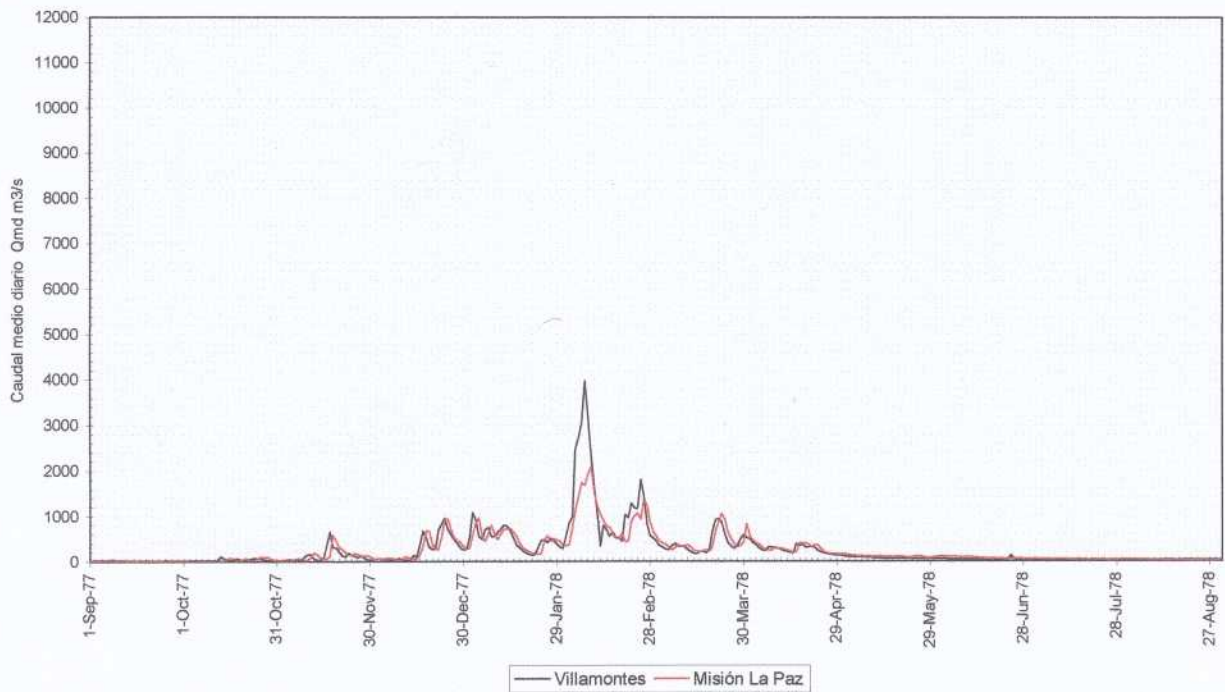
Los caudales medios diarios del Río Pilcomayo en Misión La Paz se obtiene de los datos publicados SSRH (Argentina). El período de registro abarca desde 1960 hasta el presente. La relación altura caudal es muy variable dado que el lecho se profundiza en función del caudal. Consecuentemente la relación altura caudal es actualizada repetidamente en cada año para obtener el registro de caudales diarios.

En la siguiente figura se presenta en forma gráfica la serie temporal de caudales diarios de Misión La Paz comparados con los valores correspondientes a Villa Montes para el período 1974 a 1995. Visualmente se aprecia una razonable correlación en la magnitud de los caudales y en fase. En general se observa que el desfase entre los valores de caudal registrados en Villa Montes y la Paz es del orden de un día.



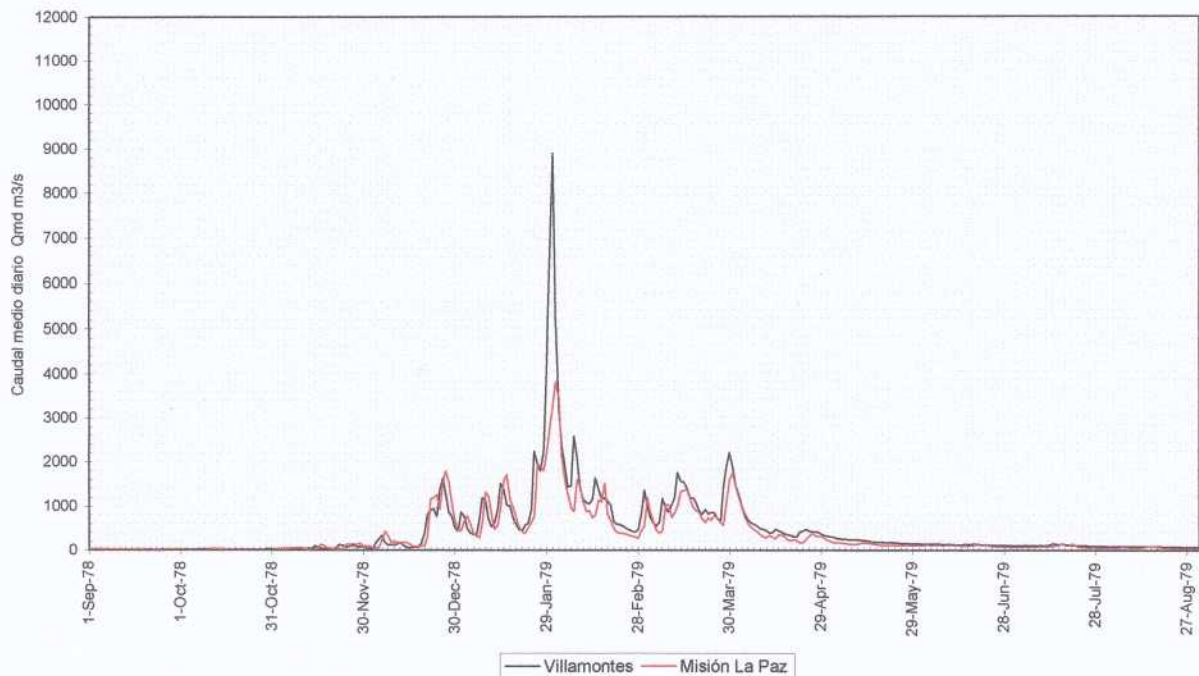
Para mayor facilidad de observación los hidrogramas de estas dos estaciones claves de la cuenca se presentan en escala ampliada los siguientes años hidrológicos

Caudal Medio Diario en Villamontes y La Paz Año 1977 - 78



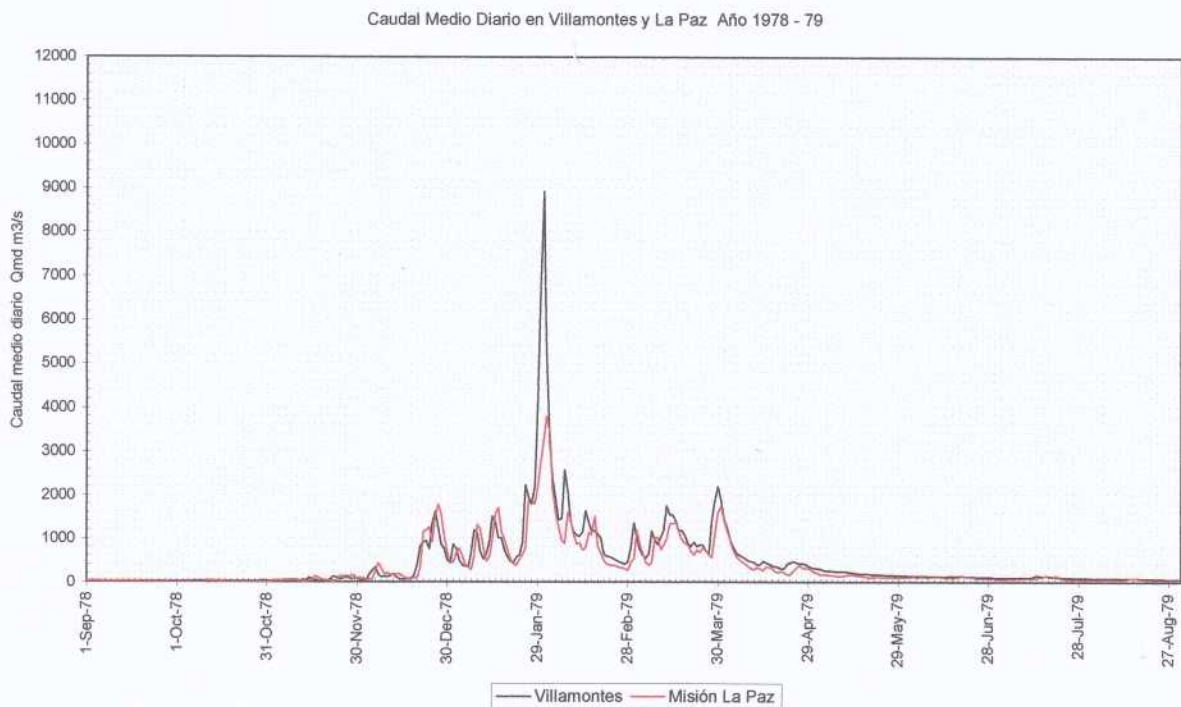
Se observa una marcada coherencia entre los caudales medios diarios de Villa Montes (SENAMHI) y La Paz (SSRH – Evarsa). Se observa el amortiguamiento del pico y pérdida de volumen de una onda de crecida en el mes de febrero 1978. El amortiguamiento es del orden del 50% de $4000\text{m}^3/\text{s}$ en Villa Montes a $2000\text{m}^3/\text{s}$ en La Paz. La pérdida de masa de agua por desbordes es claramente detectable en la gráfica de este evento.

Caudal Medio Diario en Villamontes y La Paz Año 1978 - 79

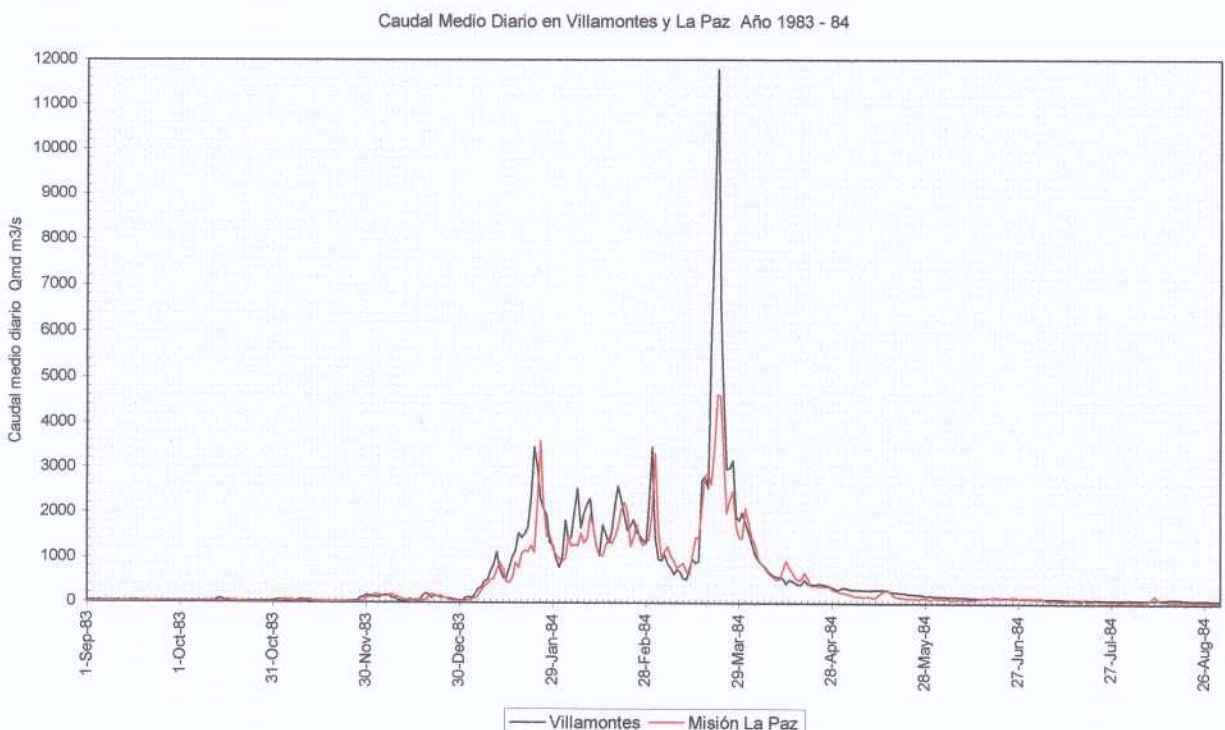


Se observa una marcada coherencia entre los caudales medios diarios de Villa Montes (SENAMHI) y La

Paz (SSRH – Evarsa). Se observa el amortiguamiento del pico y pérdida de volumen por desbordes de una onda de crecida en el mes de febrero 1979. El amortiguamiento es del orden del 50% de 9000m³/s en Villa Montes a 3800m³/s en La Paz.

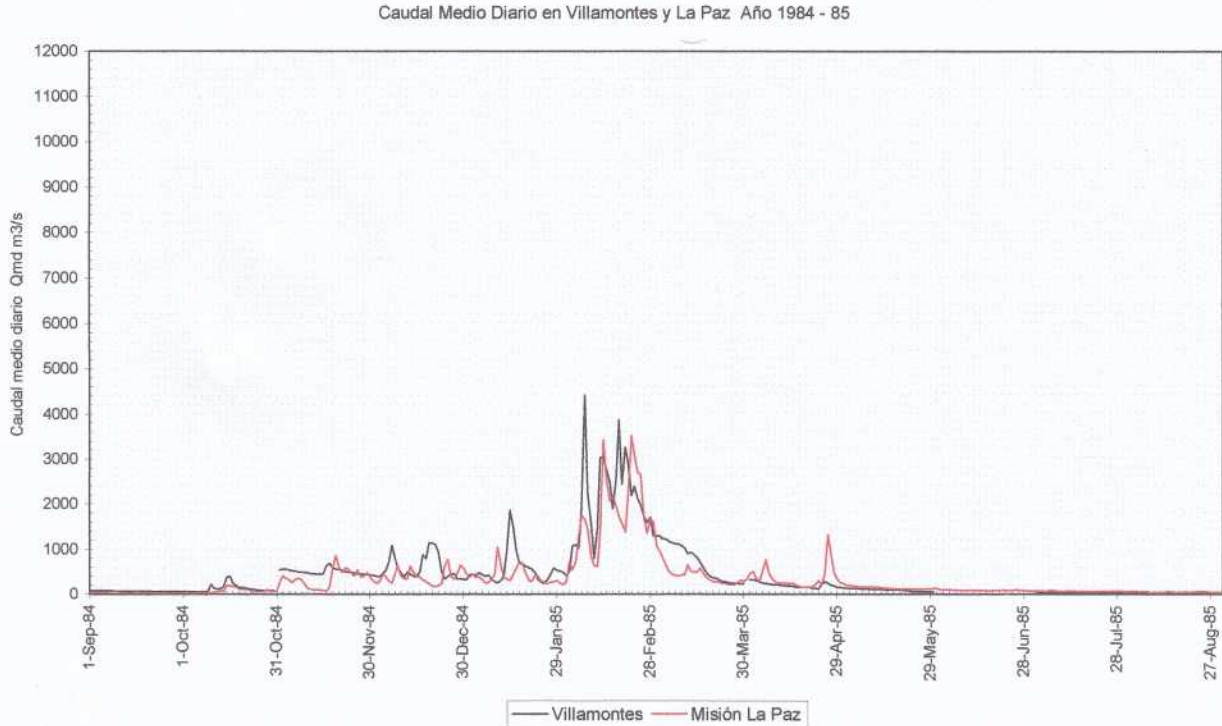


Se observa el hidrograma de un año muy pobre en cuanto se refiere a producción de agua. Se observa una coherencia entre los registros de caudales medios diarios de Villa Montes (SENAMHI) y La Paz (SSRH – Evarsa).

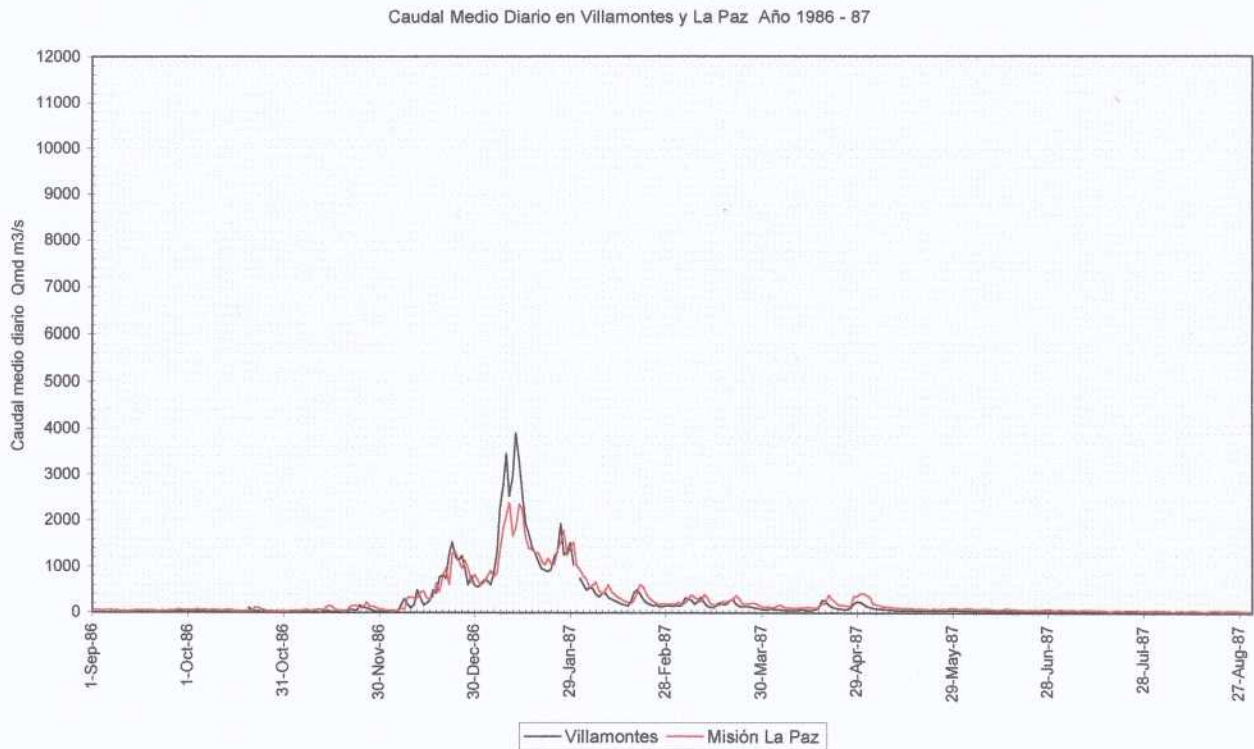


Se observa el hidrograma de un año de gran producción de agua. Se observa una marcada coherencia

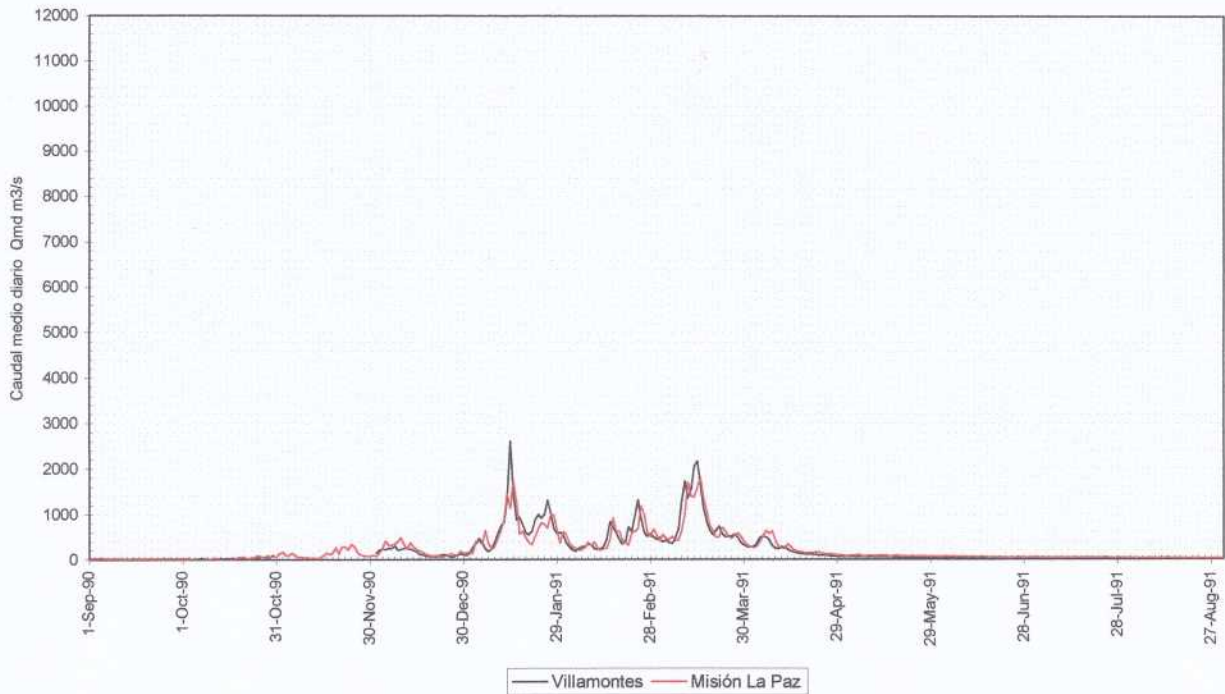
entre los caudales medios diarios de Villa Montes (SENAMHI) y La Paz (SSRH – Evarsa). Se observa el amortiguamiento del pico y pérdida de volumen por desbordes de una onda de crecida en el mes de febrero 1984. El amortiguamiento es del orden del 50% de 11800m³/s en Villa Montes a 4600m³/s en La Paz.



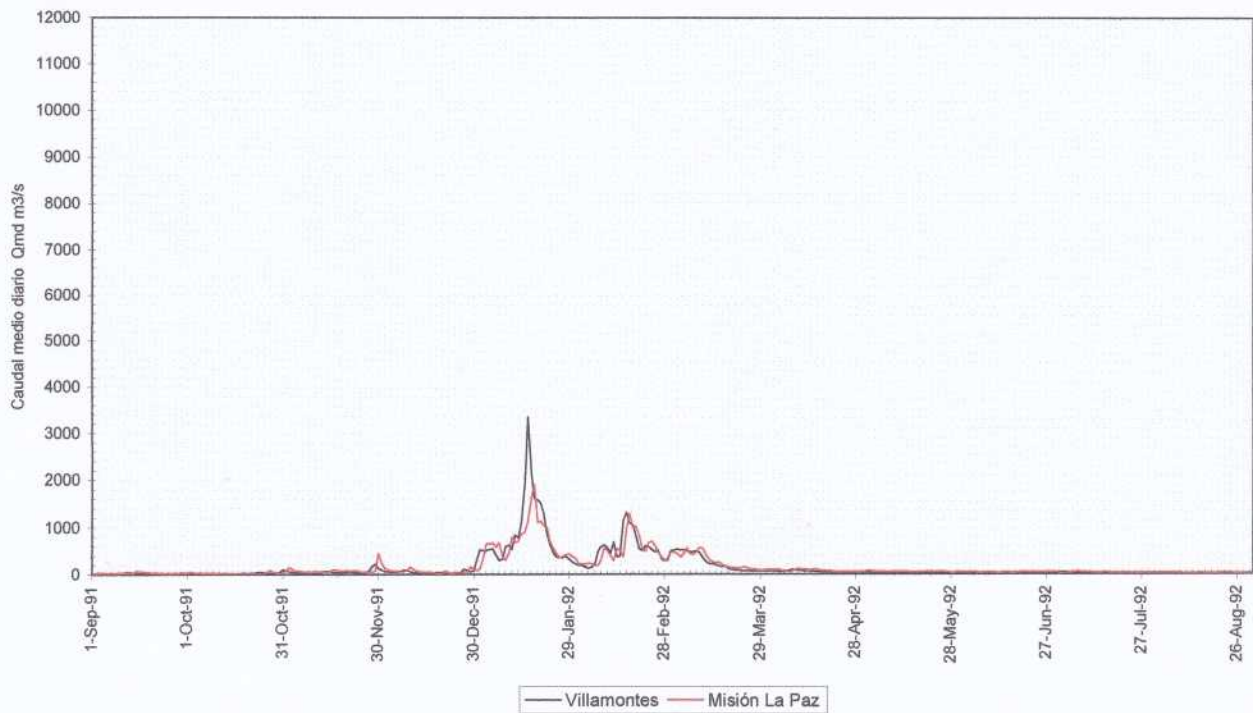
Se observa una falta de coherencia en algunos sectores del registro de este año.



Caudal Medio Diario en Villamontes y La Paz Año 1990 - 91



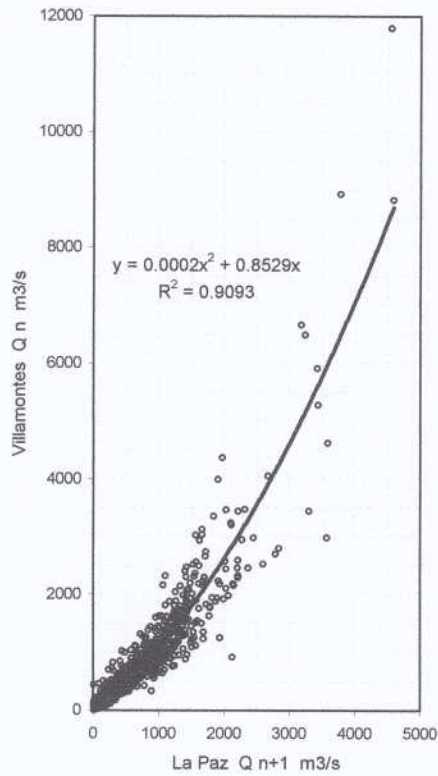
Caudal Medio Diario en Villamontes y La Paz Año 1991 - 92



Se observa una marcada coherencia entre los caudales medios diarios registrados en Villa Montes (SENAMHI) y en La Paz (SSRH – Evarsa). Se observa el marcado amortiguamiento de picos mayores a $2000\text{m}^3/\text{s}$ y pérdida de volumen de una onda de crecida.

En la siguiente figura se observa que existe un buen grado de correlación entre el caudal medio diario de Villa Montes con el mismo valor en La Paz el día siguiente.

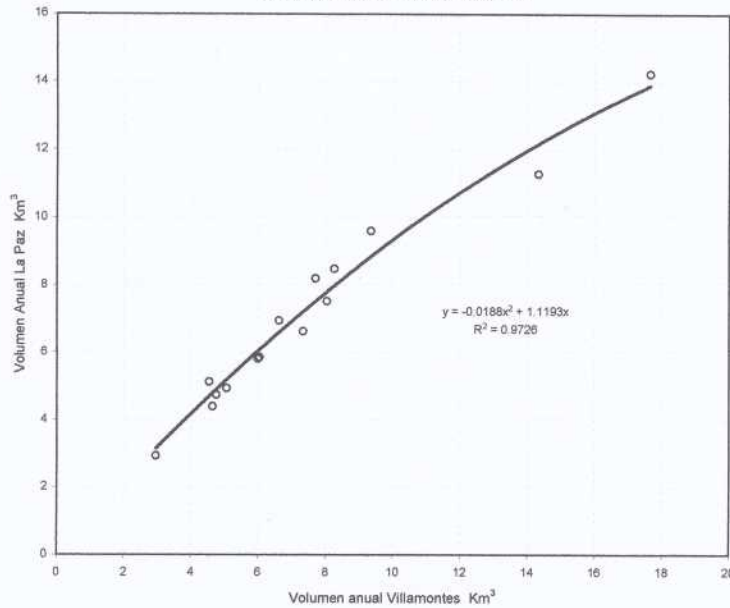
Correlación Caudales medios diarios Río Pilcomayo



Se observa que la dispersión de la correlación aumenta en función de la magnitud de los caudales. Esto es consistente con la pérdida de caudales por desbordes en el cono de deyección.

Si se analizan los volúmenes anuales de escorrentía se encuentra que para valores anuales de hasta 6km hay coincidencia entre los registros de Villa Montes y Misión La Paz. Para volúmenes mayores hay un decaimiento que en este caso es cuadrático debido a pérdidas por desbordes en las planicies sobre las riberas.

Correlación Volumen anual escorrentía



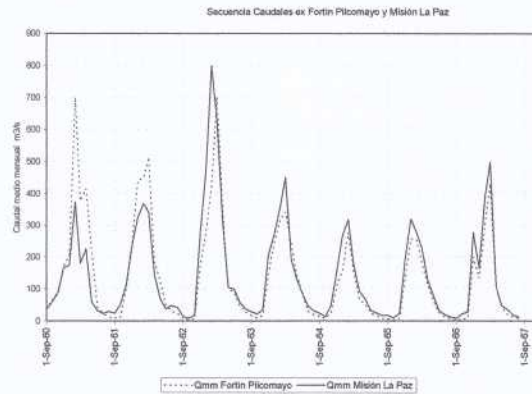
No se tuvieron en cuenta los años hidrológicos sin buena correspondencia entre los registros de Villa Montes y La Paz.

9.3.4 Caudales del Río Pilcomayo en la ex estación Fortín Pilcomayo

Las observaciones fueron realizadas entre enero 1949 hasta abril 1968. En esta última fecha se suspendieron las mediciones debido al taponamiento del cauce.

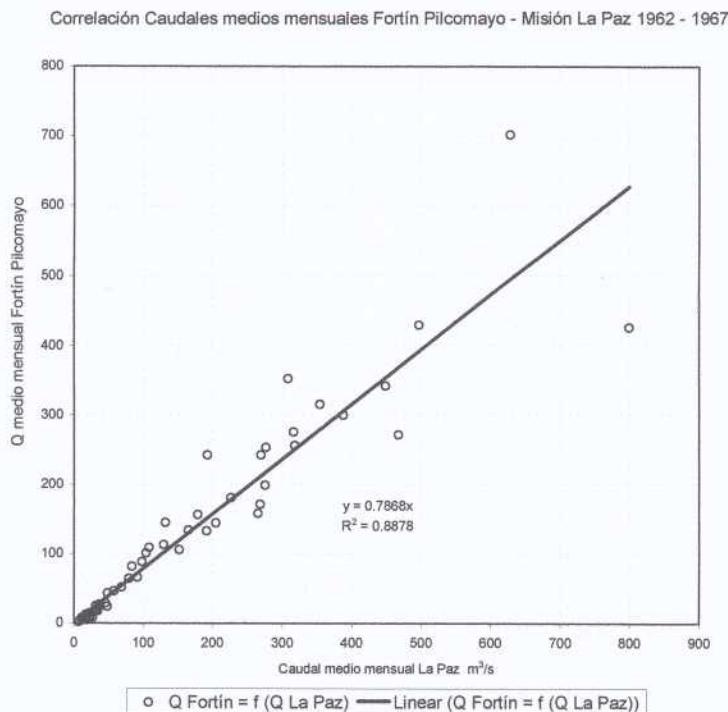
En el período de operación el derrame medio anual fue de 4829hm^3 , que equivale a un caudal medio de $153\text{m}^3/\text{s}$.

La serie de caudales medios mensuales de Fortín Pilcomayo comparado con los valores de La Paz se presenta en el siguiente gráfico:



En la serie de datos mensuales comparados se observa que en los años hidrológicos 1960 – 61 y 1961 – 62 los caudales de aguas altas son mayores en Fortín Pilcomayo. La situación se invierte en los años 1962 – 63 a 1966 -67. Ello puede deberse a aportes excepcionales de lluvia en los primeros dos años, o eventualmente a errores de medición. Si se toma la situación mas frecuente con una pérdida de masa entre La Paz y Fortin Pilcomayo se obtiene la siguiente relación que se ilustra en la siguiente figura.

$$Q_{\text{mm Fortín Pilcomayo}} = 0,7868 Q_{\text{mm Misión La Paz}}$$

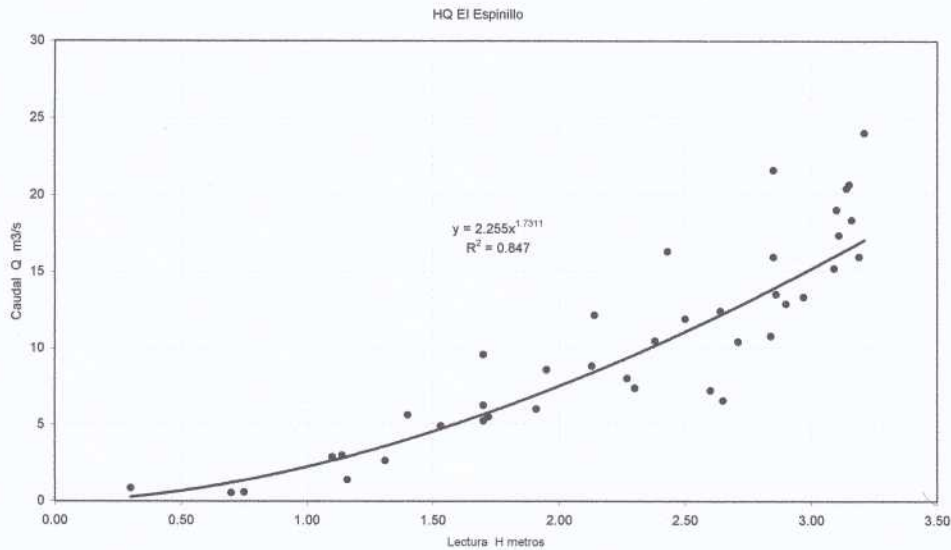


9.3.5 Caudales del Río Caraparí /Itiyuro en la estación puente Campo Durán

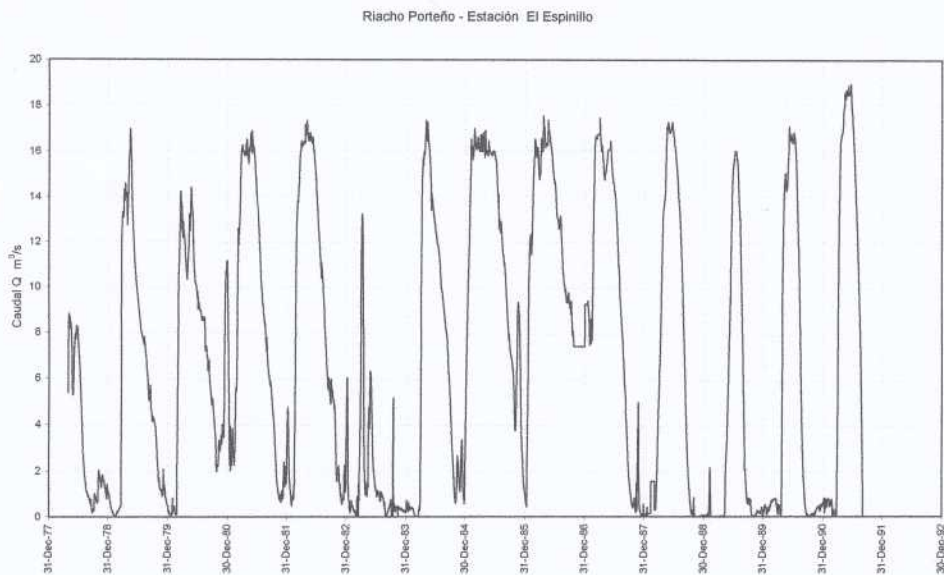
Nota : Ver planilla de valores mensuales de la SSRH.

9.3.6 Caudales del Riacho Porteño en la estación El Espinillo

A partir de información de aforos provista por la Dirección de Agua y Suelos de la Provincia de Formosa se obtuvo la siguiente relación altura caudal del Riacho Porteño en El Espinillo.



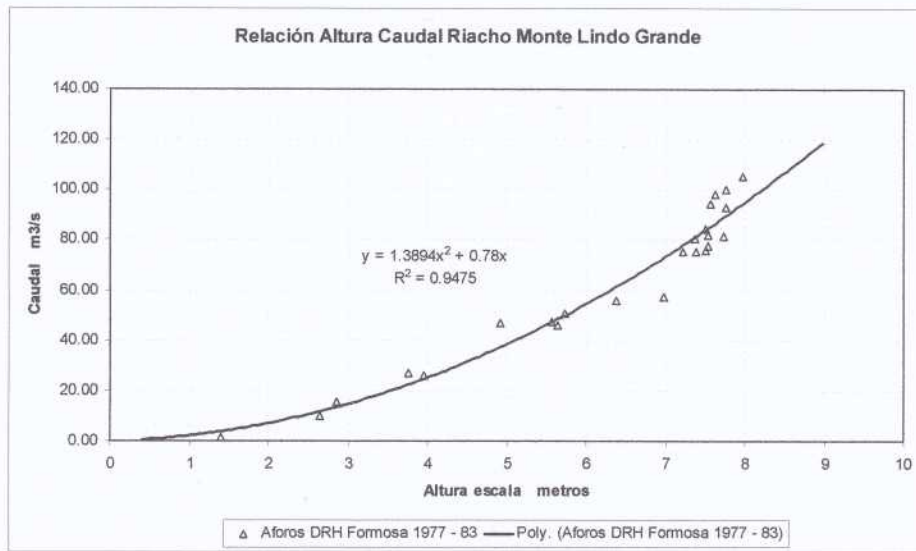
Aplicando esta relación a la serie de alturas registradas se obtiene la siguiente serie de caudales.



Se observa que el caudal de pico anual en general es del orden de 17m³/s y el caudal medio es del orden de 8m³/s.

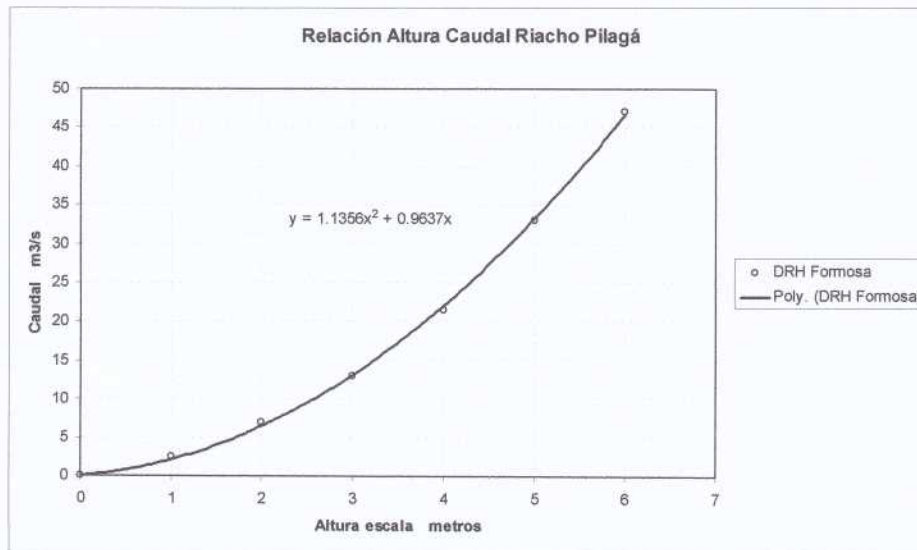
9.3.7 Caudales del Riacho Monte Lindo Grande en la estación M. de Andrea

A partir de información de aforos de la publicación “Los Recursos Hídricos de la Provincia de Formosa, Datos Hidrológicos de los cursos Interiores” de año 1984, se obtuvo la siguiente relación altura - caudal.



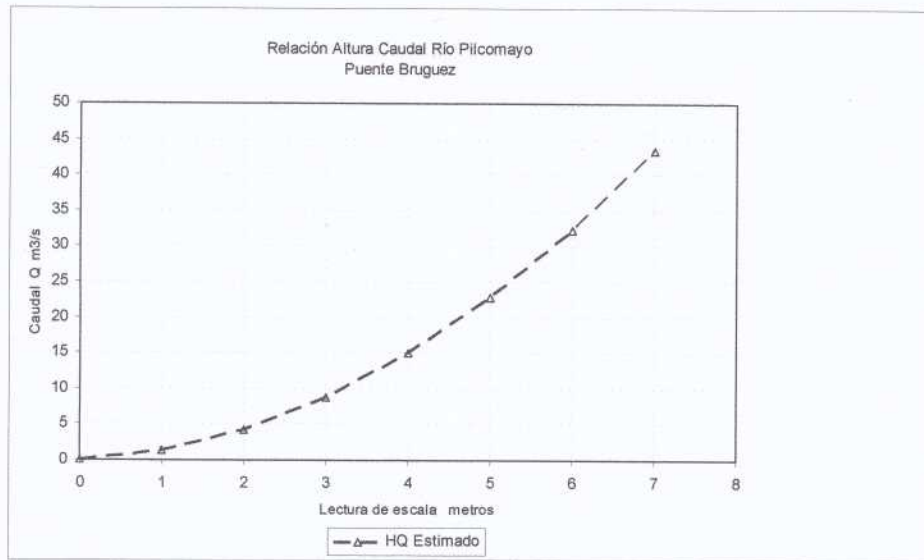
9.3.8 Caudales del Riacho Pilagá en la estación Ea. Guaycolec

A partir de información de aforos de la publicación "Los Recursos Hídricos de la Provincia de Formosa, Datos Hidrológicos de los cursos Interiores" de año 1984, se obtuvo la siguiente relación altura - caudal.



9.3.9 Caudales del Brazo Sur del Río Pilcomayo Inferior en la estación Gral Bruguez

A partir de la relación altura caudal del Riacho Monte Lindo (Argentina) se obtuvo una relación estimada a partir de la relación de los anchos de los cauces respectivos.

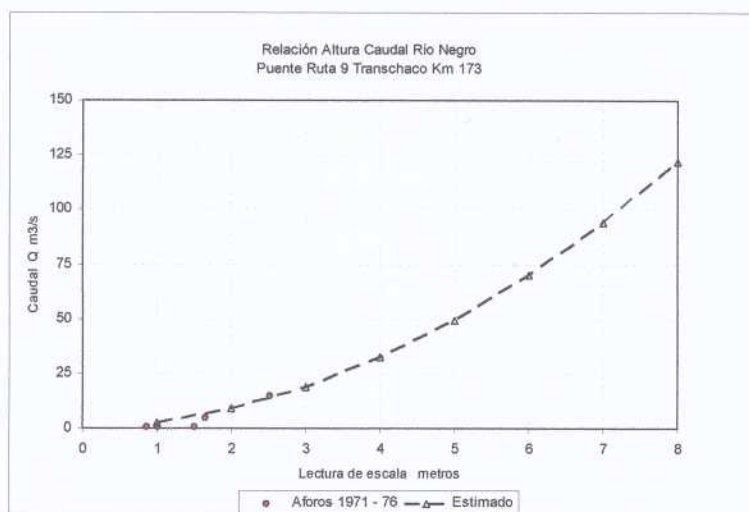


En esta estación que consta en Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo (OEA, BID, PNUD, 1977) y se registran las alturas diarias desde abril 1970. En la siguiente foto [Halcrow 2006] se observan las características del sitio, estimándose que la luz del puente tipo Bailey es del orden de 24m (16 tramos de 1,5m). El nivel de la barranca es aproximadamente 6m sobre el fondo del cauce según antecedentes de la Instalación de Hidrometros, Río Negro, Río Montelindo, Gral Buguez, Río Pilcomayo. Ing Gustavo Alvarenga Cajés, Mayo 2006.



9.3.10 Caudales del Río Negro en la estación Puente Ruta 9 (Transchaco) Km 173

A partir de la relación altura caudal del Riacho Monte Lindo (Argentina) se obtuvo una relación estimada a partir de la relación de los anchos de los cauces respectivos. Se observa que para caudales bajos la relación propuesta es consistente con aforos realizados entre 1971 y 1976 (Balance Hídrico Superficial de la Cuenca Alta del Río Pilcomayo, IHH, SENAMHI, IRD, Marzo 2006).

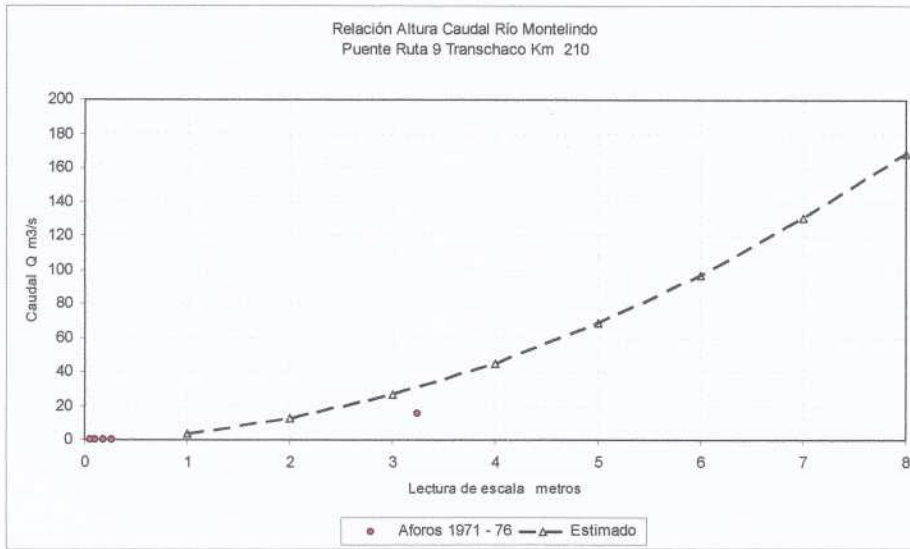


En esta estación se registran las alturas diarias desde abril 1970 (Anuario Hidrográfico Año 1974 – 1991, Administración Nacional de Navegación y Puertos ANNP, Paraguay 1992) y las escalas hidrométricas han sido renovadas por el proyecto actual de Gestión Integrada Cuenca del Río Pilcomayo en Mayo 2006 [Instalación de Hidrometros, Río Negro, Río Montelindo, Gral Buguez, Río Pilcomayo. Ing Gustavo Alvarenga Cajés, Mayo 2006]. En la siguientes fotos provenientes del trabajo mencionado anteriormente y se observan las características del sitio.



9.3.11 Caudales del Río Montelindo en la estación Puente Ruta 9 Km 210

A partir de la relación altura caudal del Riacho Monte Lindo (Argentina) se obtuvo una relación estimada a partir de la relación de los anchos de los cauces respectivos. Se observa que para caudales bajos la relación estimada es compatible con aforos realizados entre 1971 y 1976 [Balance Hídrico Superficial de la Cuenca Alta del Río Pilcomayo, IHH, SENAMHI, IRD, Marzo 2006].



En esta estación se registran las alturas diarias desde abril 1970 (Anuario Hidrográfico Año 1974 – 1991, Administración Nacional de Navegación y Puertos ANNP, Paraguay 1992) y las escalas hidrométricas han sido renovadas por el proyecto actual de Gestión Integrada Cuenca del Río Pilcomayo en junio 2006 (Instalación de Hidrometros, Río Negro, Río Montelindo, Gral Buguez, Río Pilcomayo. Ing Gustavo Alvarenga Cajés, Mayo 2006). En la siguiente foto proveniente del mismo documento anterior se observan las características del sitio.



9.4 Análisis de Valores Extremos – Caudales Máximos

Para estimar crecidas con diferente recurrencia se utilizó la metodología propuesta por Gumbel, que establece que los máximos caudales anuales son eventos independientes que tienen como función distribución de probabilidad:

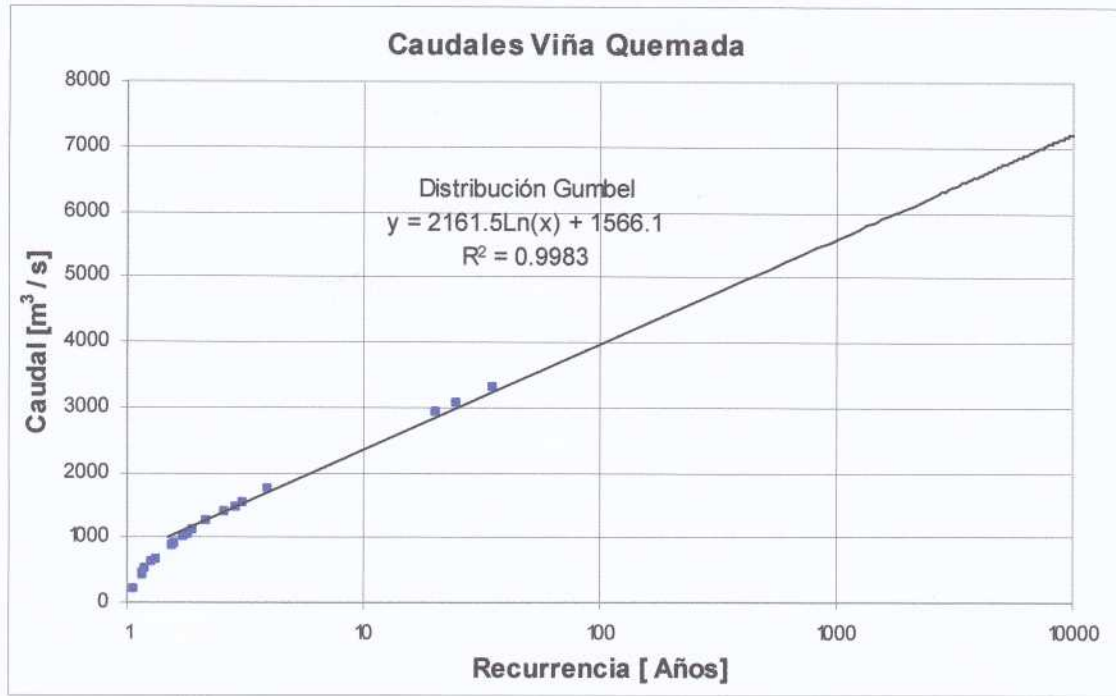
$$F(x) = \exp [-\exp(-(x-u)/\alpha)]$$

$$\alpha = s \sqrt{6} / \pi$$

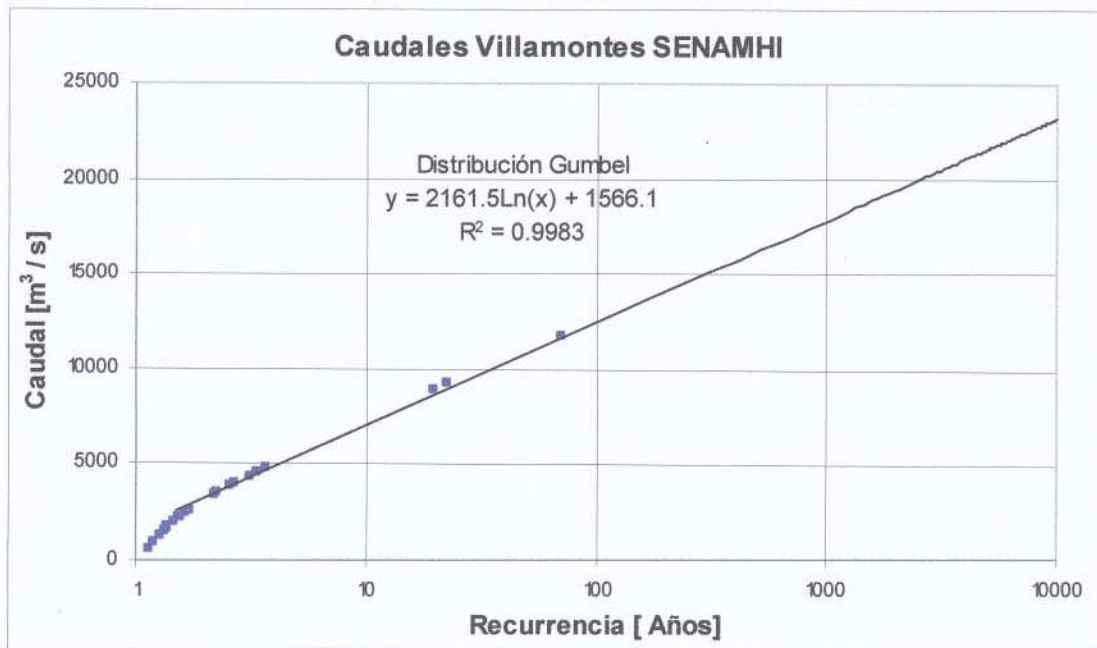
$$u = \text{Moda de la distribución} = \mu - 0.5772 \alpha$$

Siendo μ el valor medio de la serie y s el desvío estandar.

Viña Quemada :



Villa Montes



Misión La Paz



Debido a que las series disponibles no son muy largas, en cada caso se ha realizado el ajuste de las recurrencias de acuerdo al criterio del US Water Resources Council de 1981 y el US Army Corps of Engineers de 1972.

9.5 Análisis de Valores Extremos – Caudales Mínimos

Para estimar caudales mínimos con diferente recurrencia se utilizó la metodología propuesta por Weibull, que establece que los mínimos caudales anuales son eventos independientes que responden a la siguiente ley:

$$P(Q_{\min} < Q_0) = 1 / R = m / (n + 1)$$

Donde:

P ($Q_{\min} < Q_0$), es la probabilidad de que el caudal tome un valor igual o menor que el valor de referencia.

R es la recurrencia expresada en años.

m es el número de orden en la serie de caudales mínimos ordenados de menor a mayor.

n es el número total de valores disponibles para el ajuste estadístico.

Es interesante observar que las 13 estaciones analizadas tienen un comportamiento similar y responden razonablemente bien a un ajuste estadístico del tipo:

$$Q = a R^b$$

Donde Q es el caudal en metros cúbicos por segundo, R la recurrencia en años y a y b son constantes de ajuste, de manera tal que los resultados obtenidos pueden ser sintetizados en la siguiente tabla:

RESUMEN DEL AJUSTE ESTADÍSTICO			
Estación	Constantes de ajuste		R ²
	a	b	
Chilcara	6.2929	-0.6498	0.8836
El Molino	0.0535	-0.6682	0.9135

RESUMEN DEL AJUSTE ESTADÍSTICO			
Estación	Constantes de ajuste		R ²
	a	b	
El Puente San Juan del Oro	2.8662	-1.4481	0.8075
Misión La Paz	16.9250	-0.7804	0.8622
Mulluquiri	0.1515	-1.5850	0.8091
Ñujchu	3.9334	-1.9517	0.9495
Palca Grande	7.8408	-0.6547	0.8502
Salto León	4.9234	-1.9745	0.9248
San Josecito	17.7010	-0.8945	0.8785
Talulá	4.5228	-0.3239	0.9496
Tumusla	1.2986	-2.3685	0.9072
Villa Montes datos Proyecto Pilcomayo	56.4620	-1.5775	0.9185
Villa Montes datos SENAMHI	35.3600	-0.7270	0.8477
Viña Quemada	9.2995	-0.8487	0.9246

Se hace notar que en la tabla R² es el coeficiente de correlación del ajuste estadístico. El valor R² mide la proporción de representación del fenómeno que se obtiene con la variable independiente de la ecuación.

9.6 Demanda de agua

La demanda de agua dentro del área de estudio, se planteó para los siguientes usos:

- Uso doméstico, se incluye dentro de este uso a toda demanda producida por las personas que habitan dentro del área de estudio, ya sea dentro del ámbito rural o urbano.
- Uso ganadero, este uso incluye la demanda producida por el ganado al abrevar, según los distintos tipos de ganado. Los que fueron considerados para la demanda son: ganado bovino, porcino, ovino, caprino, equino y camélidos.
- Uso agrícola (riego), en este uso se incluyó exclusivamente la demanda debida al riego.
- Uso Industrial, se consideraron las industrias más significativas dentro del área de estudio.

Como se mencionara en el punto anterior, la demanda fue determinada exclusivamente según aquella que se ejerce sobre los recursos del área de estudio (entiéndase por recursos, agua superficial, agua subterránea o precipitaciones), de esta forma fueron descontadas de la demanda (aunque igualmente se encuentran calculadas y presentadas en el mapa) toda demanda que se satisface con recursos obtenidos por trasvases de cuenca.

9.6.1 Información Utilizada

La demanda de agua, para cada uso y en cada sector del área de estudio, será variable según las condiciones geográficas, climáticas y costumbres culturales. Por lo tanto, no es la misma demanda que se presenta para el uso doméstico en sectores de la puna en Bolivia ó Argentina que los que se presentan en Filadelfia en el Chaco Paraguayo. Por este motivo es que se consultaron diversos artículos, trabajos y bibliografía con el fin de obtener el valor más adecuado de la demanda unitaria en cada uno de los usos. Al final de este capítulo en las notas bibliográficas puede consultarse la bibliografía consultada para la adopción de la demanda unitaria.

En lo relativo a la información de población dentro del área de estudio, fueron utilizados los datos ya generados por este estudio de LBAyS. En los casos en que correspondía y se detallan en el siguiente punto, se ha descontado parte de la población puesto que su demanda se satisface con recursos dados por trasvases de cuenca.

Para la demanda de agua dada por el riego, se incorporó principalmente la información obtenida del inventario de riego de Bolivia, complementado para Argentina y Paraguay con el informe de riego del Ingeniero Panique.

Los datos acerca de la cantidad de ganado en la cuenca, fue obtenida del experto económico de la LBAyS, el cual estudió con detalle los stocks (existencia ganadera) en cada sector del área de estudio, y su determinación puede ser consultada en la sección correspondiente.

En cuanto a la información del uso industrial, en función de la información económica, se determinaron cuáles eran las industrias más importantes dentro de la cuenca, y de ellas se incluyeron en este cálculo las que presentaban mayor demanda de agua. Este análisis fue realizado en conjunto con el experto económico.

9.6.2 Caracterización

En esta sección se detallan los cálculos realizados para la generación del mapa. Se presentan por cada uso, las hipótesis adoptadas, los valores utilizados, las demandas unitarias y los resultados finales.

Uso Doméstico

Como ya se mencionara anteriormente las demandas unitarias en cada zona del área de estudio variarán en función de las condiciones geográficas, climáticas y costumbres culturales. Consultada la bibliografía disponible, se adoptó las siguientes dotaciones potenciales :

- Chaco Paraguayo: 100 litros / habitante /día
- Chaco Argentino: 140 litros / habitante /día
- Tarija - Bolivia: 80 litros / habitante /día
- Potosí – Bolivia: 70 litros / habitante /día
- Chuquisaca – Bolivia: 70 litros / habitante /día
- Puna Argentina: 70 litros / habitante /día

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la demanda doméstica potencial total, detallando en los casos detectados en que se consideró que la demanda es satisfecha con aguas de otras cuencas, y consecuentemente corresponde su descuento.

Cabe notar que es esperable que la demanda real actual será inferior a la potencial calculada debido a que la población urbana sin servicio domiciliario de agua potable tiene una dotación inferior a las adoptadas. Asimismo la dotación será menor a la potencial en el caso de la población rural y autóctona distribuida en la cuenca y que utiliza sistema propios de provisión de agua (pozos de uso familiar o grupal) o fuentes naturales (vertientes, madrejones y otros cuerpos de agua).

Tabla de Demanda de Agua para consumo humano

			Población en el área de estudio (2002)		Población que efectivamente toma agua de la cuenca	Dotación asignada (l/hab/día)	Demanda de agua (m ³ /día)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Total	Notas			
PARAGUAY							
Presidente Hayes	Benjamín Aceval		82.493	Se adoptó que la localidad de Benjamín Aceval (7335 habitantes) que está sobre el río Paraguay, se abastece de dicha fuente, por lo tanto se descontó su población de este cálculo	75.158	100	7.516
	Puerto Pinasco		3.948	Se adoptó la localidad de Puerto Pinasco (843 habitantes) que está sobre el río Paraguay, se abastece de dicha fuente, por lo tanto se descontará su población de este cálculo	3.105	100	311
	Villa Hayes		57.217	Se adoptó que la localidad de Villa Hayes (15.466 Habitantes), que está sobre el río Paraguay, se abastece de dicha fuente, por lo tanto se descontó su población de este cálculo	41.751	100	4.175
	Nanawa		4.830		4.830	100	483
	José Falcón		3.189		3.189	100	319
Alto Paraguay	La Victoria		1.984		1.984	100	198
Boquerón	Mariscal Estigarribia		36.995		36.995	100	3.700
BOLIVIA							
Tarija	Mendez	San Lorenzo	12.282		12.282	80	983
		El Puente	10.626		10.626	80	850
	Avilez	Yunchara	3.791		3.791	80	303
	Cercado	Tarija	1.409		1.409	80	113
	Burnet O'Connor	Entre Ríos	10.474		10.474	80	838
	Gran Chaco	Yacuiba	83.518		83.518	80	6.681
		Carapari	4.835		4.835	80	387
		Villamontes	21.945		21.945	80	1.756
Potosí	Tomas Frías	Potosí	145.057		145.057	80	11.605
		Tinguipaya	21.742		21.742	70	1.522
		Yocalla	8.046		8.046	70	563
		Urmiri	1.957		1.957	70	137

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Población en el área de estudio (2002) Total	Notas	Población efectivamente que toma agua de la cuenca	Dotación asignada (l/hab/día)	Demanda de agua (m ³ /día)
	Cornelio Saavedra	Batenzos	36.308		36.308	70	2.542
		Chaqui	9.644		9.644	70	675
		Tacobamba	12.754		12.754	70	893
	Chayanta	Colquechaca	2.927		2.927	70	205
		Ravelo	7.703		7.703	70	539
		Ocuri	12.196		12.196	70	854
	Nor Chichas	Cotagaita	23.859		23.859	70	1.670
		Vitichi	11.298		11.298	70	791
	Sur Chichas	Tupiza	38.330		38.330	70	2.683
		Atocha	8.818		8.818	70	617
	Sur Lipez	San Pablo de Lipez	213		213	70	15
		Mojinete	716		716	70	50
		San Antonio de Esmoruco	1.336		1.336	70	94
	Jose Maria Linares	Puna	41.775		41.775	70	2.924
		Caiza D	9.637		9.637	70	675
	A Quijarro	Uyuni	130		130	70	9
		Tomave	7.706		7.706	70	539
		Porco	5.959		5.959	70	417
	Modesto Omiste	Villazon	35.705		35.705	70	2.499
	Chuquisaca	Oropeza	Sucre	201.526	La ciudad de Sucre con 193.876 habitantes cuenta con abastecimiento de la cuenca vecina, por lo tanto se descontaron estos habitantes	7.650	70
Yotala			9.497	9.497		70	665
Azurduy		Azurduy	6.737	6.737		70	472
		Tarvita	7.318	7.318		70	512
		Icla	8.916	8.916		70	624
Hernando Siles		Monteagudo	824	824		70	58
		Huacareta	7.830	7.830		70	548
Yamparaez		Tarabuco	6.804	6.804		70	476

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Población en el área de estudio (2002) Total	Notas	Población efectivamente que toma agua de la cuenca	Dotación asignada (l/hab/día)	Demanda de agua (m ³ /día)
	Nor Cinti	Yamparaez	7.342		7.342	70	514
		Camargo	14.009		14.009	70	981
		San Lucas	32.109		32.109	70	2.248
		Incahuasi	23.394		23.394	70	1.638
	Sud Cinti	Camataqui	3.195		3.195	70	224
		Culpina	17.570		17.570	70	1.230
		Las Carreras	3.556		3.556	70	249
	Luis Calvo	Villa Vaca Guzmán	2.004		2.004	70	140
		Huacaya	1.842		1.842	70	129
		Machareti	1.761		1.761	70	123
Oruro	Avaroa	Challapata	2.333		2.333	70	163
	Sebastian Pagador	Santiago de Huari	2.601		2.601	70	182
ARGENTINA							
Salta	General José de San Martín		27.325		27.325	70	1.913
		Rivadavia	10.557		10.557	70	739
		Santa Victoria	452		452	70	32
Formosa	Bermejo		6.952		6.952	140	973
	Formosa		203.432	La ciudad de Formosa con 198.074 habitantes que se abastecen del río Paraguay, por lo tanto se descontaron de este cálculo	5.358	140	750
	Matacos		611		611	140	86
	Patíño		25.039	Las lomas se abastece en parte de agua de la cuenca, se descontaron 1638 habitantes, como un porcentaje que no se abastece de la misma	14.850	140	2.079
				Ibarreta, Comandante Fontana, Pozo del Tigre y Estanislao del Campo, se abastecen de lagunas y reservorios, diseminados tanto en la cuenca del Pilcomayo como en la del Bermejo y por lo tanto, se asume que el 50% del agua de abastecimiento la toman de la cuenca y se tomará solo el 50% de su población (total 8.551 habitantes)			

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Población en el área de estudio (2002) Total	Notas	Población que efectivamente toma agua de la cuenca	Dotación asignada (l/hab/día)	Demanda de agua (m ³ /día)
	Pilagás		17.523		17.523	140	2.453
	Pilcomayo		76.952	La ciudad de Clorinda con 37.592 habitantes no se abastece de la cuenta, por lo tanto no se computa dicha población	39.360	140	5.510
	Pirané		11.283	Pirané y Palo Santo se abastecen de lagunas y reservorios, diseminados tanto en la cuenca del Pilcomayo como en la del Bermejo y por lo tanto, se asume que el 50% del agua de abastecimiento la toman de la cuenca y se sumará el 50% de su población (total 9.294 habitantes)	1.989	140	278
	Ramón Lista		10.928		10.928	140	1.530
Jujuy	Cochinoca		114		114	70	8
	Rinconada		818		818	70	57
	Santa Catalina		1.475		1.475	70	103
	Yavi		16.114		16.114	70	1.128
TOTAL		1.554.095		1.081.426		90.480	

Uso Ganadero

Como ya se mencionara anteriormente las demandas unitarias para cada tipo de ganado variarán. Consultada la bibliografía disponible, se adoptó las siguientes dotaciones:

- Ganado bovino - Chaco Paraguayo: entre 100 y 80 litros / animal / día
- Ganado bovino - Chaco Argentino: 80 litros / animal / día
- Ganado bovino - Bolivia: 40 litros / animal / día
- Ganado bovino - Puna Argentina: 40 litros / animal / día
- Ganado porcino, ovino y caprino: 10 litros / animal / día
- Ganado equino: 40 litros / animal / día
- Camélidos: 10 litros / animal / día

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la demanda del ganado total, y en el anexo se brinda la hoja de cálculo correspondiente.

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	cantidad de Ganado						demanda total (m ³ /día)						
			Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	TOTAL
BOLIVIA															
Chuquisaca	Azurduy	Azurduy	4.688	2.778	13.351	9.758	1.680	-	188	28	134	98	67	-	514
		Tarvita	5.074	3.007	14.450	10.561	1.819	-	203	30	144	106	73	-	556
	Hernando Siles	Huacareta	27.100	24.804	4.657	3.329	2.416	-	1.084	248	47	33	97	-	1.509
		Monteagudo	2.939	2.690	505	361	262	-	118	27	5	4	10	-	164
	Luis Calvo	Huacaya	6.533	5.979	1.123	803	582	-	261	60	11	8	23	-	364
		Machareti	15.083	683	253	3.069	273	-	603	7	3	31	11	-	654
		V Vaca Guzman	6.961	6.371	1.196	855	621	-	278	64	12	9	25	-	387
	Nor Cinti	Camargo	7.721	4.575	21.989	16.071	2.767	-	309	46	220	161	111	-	846
		Incahuasi	16.218	9.610	46.190	33.757	5.813	-	649	96	462	338	233	-	1.777
		San Lucas	24.796	14.694	70.622	51.614	8.888	-	992	147	706	516	356	-	2.717
	Oropeza	Sucre	6.116	3.624	17.418	12.730	2.192	-	245	36	174	127	88	-	670
		Yotala	7.473	4.428	21.284	15.555	2.679	-	299	44	213	156	107	-	819
	Sud Cinti	Camataqui	2.560	1.517	7.291	5.329	918	-	102	15	73	53	37	-	280
		Culpina	11.589	6.868	33.008	24.124	4.154	-	464	69	330	241	166	-	1.270
	Yamparaez	Las Carreras	2.957	1.752	8.421	6.154	1.060	-	118	18	84	62	42	-	324
		Tarabuco	3.218	1.907	9.165	6.698	1.153	-	129	19	92	67	46	-	353
Yamparaez		6.046	3.583	17.221	12.586	2.167	-	242	36	172	126	87	-	662	
Zudañez	Icla	6.085	3.606	17.330	12.666	2.181	-	243	36	173	127	87	-	667	
Oruro	Avaroa	Challapata	220	-	2.696	858	277	592	9	-	27	9	11	6	61
	Sebastián Pagador	Santiago de Huari	388	-	4.753	1.513	488	1.043	16	-	48	15	20	10	108
Potosi	Antonio Quijarro	Porco	271	-	19.014	3.263	3.082	50.433	11	-	190	33	123	504	861
		Tomave	427	-	29.973	5.143	4.859	79.502	17	-	300	51	194	795	1.358
		Uyuni	7	-	493	85	80	1.307	0	-	5	1	3	13	22
	Chayanta	Colquechaca	790	-	7.268	1.896	716	1.986	32	-	73	19	29	20	172
		Ocuri	3.251	-	29.905	7.801	2.948	8.173	130	-	299	78	118	82	707
		Ravelo	2.096	-	19.288	5.032	1.901	5.271	84	-	193	50	76	53	456
	Cornelio Batenzos	Betanzos	5.597	-	68.648	21.853	7.055	15.069	224	-	686	219	282	151	1.562
Chaqui		2.009	-	24.637	7.843	2.532	5.408	80	-	246	78	101	54	560	

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	cantidad de Ganado					demanda total (m ³ /día)							
			Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	TOTAL
		Tacobamba	2.540	-	31.157	9.918	3.202	6.839	102	-	312	99	128	68	709
	Jose Maria Linare	Caiza "D"	1.915	-	23.490	7.478	2.414	5.156	77	-	235	75	97	52	534
		Puna	7.909	-	97.012	30.883	9.970	21.295	316	-	970	309	399	213	2.207
	Modesto Omiste	Villazon	3.036	-	20.397	20.761	2.186	4.904	121	-	204	208	87	49	669
	Nor Chichas	Cotagaita	9.696	-	65.148	66.308	6.981	15.664	388	-	651	663	279	157	2.138
		Vitichi	4.509	-	30.296	30.835	3.246	7.284	180	-	303	308	130	73	994
	Sur Chichas	Atocha	1.727	-	11.603	11.809	1.243	2.790	69	-	116	118	50	28	381
		Tupiza	7.362	-	49.469	50.350	5.301	11.894	294	-	495	503	212	119	1.624
	Sur Lipez	Mojinete	37	-	2.612	448	423	6.927	1	-	26	4	17	69	118
		San Antonio de Esmoruco	55	-	3.857	662	625	10.231	2	-	39	7	25	102	175
		San Pablo de Lipez	10	-	708	121	115	1.877	0	-	7	1	5	19	32
	Tomas Frias	Potosi	2.486	-	30.491	9.706	3.133	6.693	99	-	305	97	125	67	694
		Tinguiyaya	3.945	-	48.390	15.404	4.973	10.622	158	-	484	154	199	106	1.101
		Urmiri	572	-	7.016	2.233	721	1.540	23	-	70	22	29	15	160
		Yocalla	1.702	-	20.873	6.645	2.145	4.582	68	-	209	66	86	46	475
Tarija	Avilez	Yunchara	4.684	521	2.973	2.955	-	-	187	5	30	30	-	-	252
	Burnet O'Connor	Entre Rios	55.546	46.246	7.794	28.349	6.524	-	2.222	462	78	283	261	-	3.307
	Cercado	Tarija	2.513	279	1.595	1.585	-	-	101	3	16	16	-	-	135
	Gran Chaco	Carapari	8.006	4.280	2.833	-	1.828	-	320	43	28	-	73	-	464
		Villa Montes	20.645	7.916	7.385	16.239	-	-	826	79	74	162	-	-	1.141
		Yacuiba	82.358	29.619	6.619	12.055	-	-	3.294	296	66	121	-	-	3.777
	Mendez	El Puente	8.124	1.588	93.417	17.501	-	-	325	16	934	175	-	-	1.450
		San Lorenzo	15.095	2.950	173.571	32.517	-	-	604	30	1.736	325	-	-	2.694
ARGENTINA															
Formosa	Bermejo		67.358	26.223	16.089	30.215	8.954	-	5.389	262	161	302	716	-	6.830
	Formosa		121.188	763	2.030	1.258	3.787	-	9.695	8	20	13	303	-	10.038
	Matacos		6.275	791	975	4.064	910	-	502	8	10	41	73	-	633
	Patino		233.413	13.686	12.718	41.979	16.673	-	18.673	137	127	420	1.334	-	20.691
	Pilagas		98.043	4.964	4.079	1.688	5.309	-	7.843	50	41	17	425	-	8.375

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	cantidad de Ganado						demanda total (m ³ /día)						
			Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Llamas	TOTAL
	Pilcomayo		146.745	2.828	2.827	702	7.463	-	11.740	28	28	7	597	-	12.400
	Pirane		101.252	2.407	3.695	2.641	7.423	-	8.100	24	37	26	594	-	8.781
	Ramon Lista		16.530	3.226	4.034	14.843	1.976	-	1.322	32	40	148	158	-	1.702
Jujuy	Rinconada		48	-	11.427	858	-	2.182	2	-	114	9	-	22	147
	Yavi		547	-	12.336	570	-	3.225	22	-	123	6	-	32	183
	Santa Catalina		4	-	15.042	39	-	2.280	0	-	150	0	-	23	174
Salta	Gral .Jose de San Martin		6.579	-	523	421	-	-	263	-	5	4	-	-	273
	Rivadavia		6.673	-	2.852	7.700	-	-	267	-	29	77	-	-	372
	Santa Victoria		17	-	20	4	-	-	1	-	0	0	-	-	1
PARAGUAY															
	Boqueron		723.349	7.497	10.156	13.209	6.560	-	72.335	75	102	132	525	-	73.168
	Presidente Hayes		1.695.542	11.636	68.472	41.470	41.812	-	169.554	116	685	415	3.345	-	174.115
	Alto Paraguay		19.889	159	672	268	327	-	1.591	2	7	3	26	-	1.628
TOTAL			3.666.139	270.057	1.418.800	818.001	221.789	294.768	324.207	2.701	14.188	8.180	12.919	2.948	365.142

Uso Agrícola (riego)

La información volcada en el mapa con respecto al uso del riego, es básicamente la obtenida del inventario de riego de Bolivia, donde en el mapeo se utilizó el valor mayor de demanda, o sea el valor demandado en invierno. Como los sistemas de riego de Bolivia presentan una eficiencia entre el 50 y el 60%, al valor del inventario de riego, se lo disminuyó en un 50%, puesto que se sabe que dicho porcentaje es el que es devuelto al río por dicha falta de eficiencia.

Con respecto a las demandas en Paraguay, el nivel de riego en el Chaco Paraguayo es muy pequeño, pero sin embargo se volcó el dato obtenido del Informe del Ingeniero Panique.

En lo relativo a la Argentina, también se volcó el dato del Informe del Ingeniero Panique, los datos actualizados de la demanda de agua por riego en la provincia de Formosa y Salta.

Uso Industrial

Cuando se realizó el análisis de las industrias presentes en el área de estudio y de ellas las que demandaban una importante cantidad de agua en su producción, se concluyó que dichas industrias eran:

- Minería en Potosí (Bolivia)

Los datos que se obtuvieron de la demanda de agua en la producción minera del Cerro Rico de Potosí se basa en el inventario de ingenios y su declaración de consumo de agua. Por falta de datos de consumos en bocaminas y otros sectores relacionados con la industria minera, y con el fin de ser conservadores, a la demanda obtenida de los ingenios de la duplicó para obtener la demanda total dada por la industria minera en general. De esta forma se obtiene:

Nombre	Fuente de agua	consumo	Reciclaje	consumo real (m ³ /día)
Imsur	AAPOS – Tuberías (100%)	Provisión fresca aprox. 300m ³ /d	50-60%	300
San Juan	AAPOS – Colas de tres ingenios	60m ³ /d (30 %)	70%	60
Ñañay	AAPOS, agua fresca	400m ³ /d	280m ³ /d	120
Petra	AAPOS (100%)	250m ³ /d	175m ³ /d	75
Emma	AAPOS – vertientes	90m ³ /d, vertientes: 25.86m ³ /d	54 m ³ /d	36
San Sebastián	AAPOS-100%	Aprox. 80m ³ /d	56 m ³ /d	48
Emca	AAPOS (70%)(420m ³ /d)	600m ³ /d	180m ³ /d	420
Santa Catalina C-1-2-3	Aguas recicladas de ingenios 100%	360m ³ /d	250 m ³ /d	0
San Silvestre	AAPOS (70%) – Reciclado (30%)	800 - 900m ³ /d. Consumo 1,100m ³ /d	30%	800
Copacabana	Manantial (30%) - AAPOS (50%) - Alcantarillado (20%)	40m ³ /d	70%	28
Dolores	Río de la Ribera (80%) – R. Huaynamayu (20%)	680m ³ /d	0%	680
San Pedro Srl	Río de la Ribera (60%) – Vertiente ojo de agua (40%)	160m ³ /d	128m ³ /d	32
Emmpsa	Río Sucumayu 100%	700m ³ /d	0%	700
Thuru	Río Sucumayu 100%	420m ³ /d	0%	420
Cristo Redentor I	DAM (bocaminas)–antiguas minas 100%	180m ³ /d	36 m ³ /d	0
Cristo Redentor II	DAM (50%) – Río de la Ribera (50%)	180m ³ /d	30%	63
Santa Lucia	Río de la Ribera (60%) – Dique de colas (40%)	400m ³ /d	10%	216

Nombre	Fuente de agua	consumo	Reciclaje	consumo real (m ³ /día)
Lambol Sa	Río de la Ribera 100%	800m ³ /d	0%	800
San Jose De Berque	Aguas residuales de la ciudad 100%	360m ³ /d	80%	0
Comzinc Srl	R. de la Ribera 100%	350m ³ /d	30%	245
La Aliada	Río de la Ribera 100%	288m ³ /d	70-80%	86
Royal	Colas de los Ingenios 100%	100m ³ /d	50%	
Sominkor	Río de la Ribera (75%) – Vertiente de agua (25%)	320m ³ /d	50%	160
Virgen De Copacabana	Río de la Ribera (60%) – Colas (40%)	280m ³ /d	0%	168
San Juanino	Río de La Rivera (90%)–Recircul (10%)	240m ³ /d	24 a 40m ³	173
Jorge	AAPOS agua fresca	280m ³ /d	260m ³ /d	20
Daniela	AAPOS 90% Aguas Residuales 10%	100m ³ /d	100 m ³ /d	10
TOTAL INGENIOS				5.660
extras y consumo en bocaminas				5.660
GRAN TOTAL				11.320

▪ Industria cementera en Tarija (Bolivia)

Los datos de producción se obtuvieron directamente de la página de la empresa y los consumos unitarios de la bibliografía respectiva.

	Producción anual TM	consumo unitario (m ³) de agua por tonelada	m ³ agua/día
Cemento	83.500	0,6	137
Clincker	62.700	0,6	103
TOTAL			240

▪ Industria Lechera en Filadelfia (Paraguay)

	Producción litros de leche por día	consumo unitario de agua por litro de leche procesada	m ³ agua/día
Chortitzer	191.781	2	384
Fernheim	150.000	2	300
TOTAL			684

▪ Industria Frigorífica en Filadelfia (Paraguay)

	Ganado total	% de ganado que se faena al año	ganado faenado al año	consumo unitario (m ³) de agua por cabeza de vacuno faenado	m ³ agua/día
Boquerón	723.349	10	72.335	1,12	222
Presidente Hayes	1.695.542	10	169.554	1,12	520
TOTAL					742

Demanda Potencial Total

La demanda potencial total de la cuenca se resume en la siguiente tabla.

Demanda total (m ³ /día)	uso doméstico	uso ganadero	uso riego	uso industrial	TOTAL
Argentina	17.639	70.601	5.520	-	93.760
Bolivia	56.141	248.912	1.692.737	1.426	1.999.216
Paraguay	16.702	45.630	130	11.561	74.023
Total	90.482	365.143	1.698.387	12.987	2.166.999

Se observa del cuadro anterior que el uso dominante es el uso estimado para riego en la Cuenca Alta y le sigue en importancia el abastecimiento de agua para ganadería. En el estado actual el uso industrial detectado es inferior al uso doméstico.

Se observa que la demanda potencial de uso doméstico Argentina 3040m³/d, Bolivia 14770m³/d, Paraguay 1326m³/d es del orden de 5% del uso ganadero que puede considerarse real. Consecuentemente las limitaciones existentes para el agua de uso doméstico no obedece a un problema de balance hídrico general de la cuenca, sino a problemas de infraestructura debido a la distancia desde fuentes de volumen, permanencia y calidad a los centros de consumo.

La demanda real actual es inferior a la potencial calculada debido a que la población urbana sin servicio domiciliario de agua potable tiene una dotación inferior a las adoptadas. Asimismo la dotación será menor a la potencial en el caso de la población rural y autóctona distribuida en la cuenca ya que utiliza sistema propios de provisión de agua (pozos de uso familiar o grupal) o fuentes naturales (vertientes en la cuenca alta, madrejones y otros cuerpos de agua en la cuenca baja).

Es posible que el uso industrial sea mayor al informado.



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

Contrato Comisión Europea N° ASR/B7-3100/99/136

*Estudio de la Línea Base Ambiental
y Socioeconómica de la Cuenca del
Río Pilcomayo
Informe Final (borrador)*

*Tomo I: Parte II:
Capítulo 10*

Calidad del Agua

Diciembre - 2006

Elaborado por Halcrow & Serman Asociados

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICO
DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

INDICE

10. CALIDAD DEL AGUA	10-1
10.1 Objetivo	10-1
10.2 Introducción	10-2
10.2.1 Antecedentes	10-2
10.2.2 Limitaciones del conocimiento actual	10-3
10.2.3 Requerimientos de información y posibilidades de este estudio	10-4
10.2.4 Métodos de campo	10-6
10.2.5 Gestión de datos de calidad de aguas.	10-9
10.3 Resultados de las campañas y de los análisis de este estudio	10-9
10.3.1 Primera campaña	10-9
10.3.2 Segunda campaña	10-11

ANEXOS

Anexo 10.1: Resultados de la primera campaña de calidad

Anexo 10.2: Resultados de la segunda campaña de calidad

10. CALIDAD DEL AGUA

El mapa correspondiente a este tema se puede consultar en el Tomo III – Carpetas de mapas, bajo el número 18, que corresponden al mapa de conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea.

10.1 Objetivo

La valoración de la calidad de las aguas en este estudio se encuadra en el marco de las prescripciones del POG que, claramente señala los receptores del estudio y el sentido que deben tener las investigaciones en el tema: *“...Atender las emergencias vinculadas a los habitantes ribereños del río, pueblos indígenas y criollos en particular, es otro aspecto focal del Proyecto. Allí aparecen requerimientos referidos al acceso, uso y calidad del agua, a las actividades pesqueras, al desarrollo humano, etc.”* Coherente con esa propuesta, en el mismo documento se señala la necesidad de *“... disponer de agua para consumo humano para comunidades rurales de la cuenca, obras de retención y acumulación de agua, creación y optimización de sistemas de miniriego con regulación, mejoramiento del uso del agua para la ganadería en la cuenca, apoyo a la mitigación de las contaminaciones mineras e hidrocarbúricas y otras intervenciones.”*

El conocimiento de la calidad de las aguas tiene una sólida justificación en el POG por lo que su mención resulta pertinente aquí: *“...el conocimiento de la calidad del recurso hídrico, utilizado en muy diversas actividades humanas y como soporte general de la vida en la naturaleza, resulta un dato imprescindible de base para su adecuado manejo. En la cuenca del río Pilcomayo, en particular en sus afluentes de la cuenca alta, existe contaminación natural y antrópica de las aguas. Esta última se vincula principalmente a la actividad minera, y además a los desagües cloacales e industriales de las ciudades importantes, que son vertidos sin tratamiento o con tratamiento parcial (Potosí, Sucre, Camargo, La Quiaca y Villazón, Villa Montes, etc), las actividades petrolíferas/gasíferas del pie del subandino y zona occidental chaqueña, (tanto en Bolivia como en Argentina), la salinización de pozos y tajamares en territorio paraguayo, etc. La contaminación natural se vincula a las sales, carbonatos, sulfatos y demás sustancias contaminantes contenidas en los suelos y rocas de la cuenca, que son lixiviados y arrastrados al curso por las lluvias. A través de los años, se han registrado diversas investigaciones en puntos aislados y en general de corta duración, con resultados que muestran distintos niveles de contaminación sobre las aguas, los sedimentos, los peces (en particular el sábalo) y los productos de huertas regadas con aguas del río, y los pozos y tajamares ...”*

De este marco conceptual, surgieron los requerimientos del pliego de licitación:

“Caracterizar las aguas superficiales y subterráneas, analizando sus características físico-químicas y biológicas. Determinar la concentración de agentes contaminantes (metales pesados, hidrocarburos, agroquímicos, sustancias orgánicas) en las aguas del río Pilcomayo y afluentes principales y realizar una zonificación de la calidad de los mismos. Determinar la calidad de las aguas subterráneas en zonas de alto riesgo de contaminación (p.ej. en ciertas áreas urbanas como la ciudad de Potosí) y precisar a través de una zonificación la concentración de sales disueltas (concentración iónica) en aguas subterráneas en la cuenca baja (zona chaqueña).”

La presentación de los requerimientos del pliego licitatorio y de los fundamentos conceptuales que justificaron este estudio resultan pertinentes para comprender que el mismo va más allá del inventario de la información existente y de la realización de observaciones y mediciones de parámetros de calidad de agua, sino que intenta generar una comprensión del estado actual de las aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca (situación de línea de base), como recurso para el sustento de la biota, la supervivencia de las poblaciones ribereñas y, para distintas actividades productivas dentro de una estrategia de uso sostenible. Pretende también informar las limitaciones y dificultades encontradas en su elaboración y avanzar mediante algunas propuestas para la mejor gestión de la calidad de las aguas.

10.2 Introducción

10.2.1 Antecedentes

Como se describe en distintas secciones de este informe, la cuenca del río Pilcomayo es una de las más complejas de Sudamérica, en razón de su heterogeneidad espacial, temporal y de la ocupación histórica del territorio.

La cuenca alta es el área más contaminada, especialmente por la actividad minera que opera en forma continuada desde 1545 a la fecha. El resto de la cuenca, con una densidad poblacional menor, ha sido menos agredida por el agregado de sustancias tóxicas y los problemas relativos a la calidad de las aguas son percibidos por las personas cuando los elevados tenores de salinidad natural comprometen los usos del recurso. En la parte oriental de la cuenca, y también en algunos sectores de la cuenca media, los pobladores han desistido de la utilización de estas aguas salinas –tanto superficiales como freáticas– desarrollando tecnologías de variada complejidad para el aprovechamiento de las lluvias locales. La mayor expresión de esto, se encuentra en las colonias menonitas del Chaco central y también en los emprendimientos ganaderos del centro y Este de la cuenca.

La contaminación de la cuenca alta ha sido un tema que preocupó a los distintos naturalistas que visitaron la zona de Potosí a comienzos del siglo XIX. Sin embargo fue planteado como un problema serio a mediados de la década del 90, a partir de la acción de la Prefectura de Chuquisaca, la Universidad Mayor San Francisco, y las presentaciones de algunas ONG's (como la Asociación Sucrense de Ecología). En 1998 se realizó la evaluación del impacto ambiental que producía la minería en Potosí, a través de una cooperación de JICA (Japón) aportando valiosa información de campo sobre la cuenca alta.

La Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (2000) realizó un estudio sobre calidad de aguas de la alta cuenca, encomendado por la Oficina técnica de los ríos Pilcomayo y Bermejo en 1999 focalizado en la cuenca del río San Juan del Oro.

Posteriormente, el ITA (Instituto de Tecnología de Alimentos) realizó una evaluación que comprendió a la cuenca alta considerando las fuentes de contaminación provenientes de las urbanizaciones, de las actividades agropecuarias y de la minería.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Argentina, con el auspicio de la Comisión Trinacional del Río Pilcomayo efectuó una prolija evaluación de la calidad física, química y biológica del Pilcomayo en Misión La Paz, luego de su ingreso en territorio argentino. Dicha Comisión Trinacional viene realizando un monitoreo de la calidad de aguas de la cuenca, mediante la colaboración de entidades públicas y privadas que actuaron bajo contrato. Esto incluye tres campañas en el tramo boliviano entre 2004 y 2006; campañas de monitoreo de aguas y sedimentos en Paraguay en 2005 (DR y AS, 2005) y sendas campañas en el tramo argentino, realizadas en 2005 con la colaboración del Instituto Nacional del Agua de ese país (INA, 2005). Berzat et al (2006) realizaron colectas por encomienda de la Entidad Destora del Proyecto Pilcomayo en la cuenca alta hasta la localidad de Puente Aruma, determinando la contaminación con metales pesados en aguas y en sedimentos en una completa prospección.

Deben citarse otras importantes contribuciones como las de Hudson-Edwards et al (2001) referida a las fuentes y distribución de metales pesados en las aguas de la alta cuenca del Pilcomayo; Miller et al. (2002) referida a las concentraciones de metales pesados en sedimentos y su transferencia a las comunidades, a través de mediciones con radioisótopos. En 2003, el grupo de Miller publicó otra contribución referida a las fuentes de contaminantes en la alta cuenca y su importancia en la alimentación humana.

Otro indicador muy importante ha sido la bioacumulación de contaminantes en animales y personas. Quevillon et al (MA019) produjeron un análisis de la contaminación en el sábalo y en las poblaciones ribereñas en un esfuerzo conjunto de QPID, CER-DET - FIA y Archer et al. (2005) un diagnóstico de la contaminación por arsénico en la alta cuenca, demostrando la acumulación en faneras cutáneas de hombres y mujeres. Los trabajos de Smolders y colaboradores (Smolders et al. 1999; 2003 y 2006) ratifican estos resultados y avanzan en el conocimiento de los procesos de transferencia de contaminantes.

Recientemente, Escalera (2006) realizó una amplia compilación de los antecedentes en el tema, produciendo una discusión global sobre el efecto de las actividades antrópicas, especialmente de los

impactos de la actividad minera en la alta cuenca y el efecto mitigador de los diques de cola de las minas.

10.2.2 Limitaciones del conocimiento actual

Hasta el presente los estudios revisados han utilizado los análisis de las concentraciones de sustancias tóxicas para la valoración directa del grado de deterioro de la calidad de las aguas. Este procedimiento objetivo es conceptualmente inobjetable en tanto que la contaminación se relaciona con el incremento de sustancias tóxicas. Sin embargo, si se lo usa sin ayuda de otros procedimientos de análisis y la inclusión de otros indicadores, puede inducir a conclusiones equívocas a la hora de valorar la contaminación a nivel de la cuenca, o de zonificar áreas de problema. Por ejemplo, la concentración de metales pesados en una muestra puede ser alta y, en consecuencia cuando se la compara con los niveles-guía de cada país, el sitio puede estar *contaminado*. Pero esto es una verdad a medias si no se asocia este valor de concentración al caudal del curso de agua (idea de carga) y a la velocidad del mismo (idea de residencia del contaminante).

De hecho, cuando se intenta comparar los resultados de distintos estudios, a través del único dato de las concentraciones de contaminantes, el error de apreciación puede ser aún mayor, especialmente cuando se conoce que la mayor parte de la información disponible ha sido tomada por diferentes operadores, con diferentes procedimientos y equipos de campo, procesadas con técnicas distintas y diferente precisión en los análisis.

Cualquier evaluación realizada sólo en base a la concentración de las sustancias en una muestra, es un dato efímero, especialmente en ríos como los de la cuenca del Pilcomayo, en que el nivel hidrométrico es muy variable. En Misión La Paz, por ejemplo, se han registrado en las dos últimas décadas variaciones de medio metro en el hidrómetro, en el mismo día. Obviamente la concentración de solutos y de sedimentos suspendidos es completamente distinta en ambas situaciones.

Sin embargo, la comparación de los valores de concentración de contaminantes con los de caudal líquido o sólido puede dar bajos valores de correlación si no se considera adecuadamente la dinámica de pulsos. Por ejemplo, la concentración iónica para una misma altura hidrométrica (estado hidrológico semejante) puede ser muy diferente, en tanto ambas muestras hayan sido tomadas al comienzo o al final de la misma riada. En la primera situación las concentraciones esperadas son mayores que en la segunda, cuando el flujo ya "lavó" la carga de minerales retenidos en la cuenca.

También las condiciones meteorológicas previas de la cuenca merecen ser tenidas en cuenta para la evaluación de la calidad de aguas. Un período inusualmente prolongado de lluvias intensas en la cuenca de aporte, puede generar condiciones favorables para la disolución y transporte de sustancias químicas disueltas en el agua o adheridas a los depósitos de los desmontes y del suelo desde las partes altas del paisaje y determinar un aumento en la concentración de solutos, aunque la producción minera se mantenga en el mismo ritmo y los aportes de desechos sean semejantes. Los fenómenos meteorológicos como aquellos inducidos por ENSO, pueden tener manifestación desfasada en el tiempo (Smolders, 2002) por lo que las relaciones causales son difíciles de comprobar.

Otra fuente importante de error deriva de las dificultades para considerar la geomorfología del río. En general, son cursos poco profundos. Alguno de ellos puede tener un tirante próximo a dos metros durante la máxima riada y solamente medio metro en situación de estiaje. La profundidad de toma de las muestras en la mayoría de los estudios revisados (cuando se consigna) señala que es subsuperficial, es decir es decir, entre 20 y 40 cm. Ambas situaciones pueden tener resultados de concentración muy distinta sólo por la mayor o menor proximidad al lecho en ambas fases hidrológicas, dado que buena parte de los contaminantes residen en los sedimentos.

Por este motivo, algunos estudios como los de Hudson-Edwards (2001), Smolders et al. (2003); Miller (2004); Verzat (2006) y otros, han puesto énfasis también, en el análisis de los sedimentos. Sin embargo, la interpretación de los resultados encuentra muchas limitaciones en ríos de fondo muy móvil, en los que no se ha determinado las tasas de erosión/deposición en las áreas en las que se toman las muestras. En la cuenca baja una barra puede formarse o desaparecer luego de una riada. Si no se conoce la genética de las barras sedimentarias, las conclusiones relativas a la carga contaminante y su modificación temporal, son muy limitadas.

El pliego de licitación que originó este estudio ha colocado mucho interés en la valoración de la

contaminación de la cuenca a través de índices de calidad de aguas. La utilización de estos índices cuenta con opiniones contradictorias en la literatura internacional. De hecho, en la información revisada no se menciona la posibilidad de utilizar estos índices. Esto se explica parcialmente porque el uso de índices requiere conocer en buena medida el funcionamiento de las variables que determinan la calidad de las aguas. En esta cuenca, los procesos de deterioro originados por la minería datan de 500 años, por lo que no existen "sitios-testigo", con excepción de algunos cursos de primer orden situados en la alta montaña, de difícil acceso, de los que se tiene poca información, y de las lagunas de Kari Kari que, curiosamente, hasta hoy han recibido poca atención como posible situación testigo.

No hay ningún índice de calidad de aguas que pueda aplicarse como reflejo del estado de pureza de las aguas de esta cuenca, puesto que los desarrollados en otros contextos geográficos responden a diferentes cadenas causales, a distintos procesos de deterioro del ambiente y a diferente uso y valoración de las aguas por parte de los pobladores de la cuenca. La mayoría de los índices que permiten la determinación de clases de calidad de agua están basados en la relativa abundancia de determinadas especies de animales que viven en el bentos como fuera utilizado en diversos países como por ejemplo en la delimitación de los distintos tramos del río Danubio (ICPDR 2002). Lamentablemente la cuantificación de los organismos béticos no fue contemplada en la documentación que originó este estudio.

En el capítulo 4.4 de la parte III de este informe se presenta el uso de varios índices desarrollados –a manera de ensayo- para este estudio.

Seguramente esta rápida enumeración no agota el listado de los estudios en este tema, pero permite comprender que se ha producido un interés creciente, especialmente en la primera década de este siglo, lo que justifica la necesidad de encontrar herramientas que permitan valorar en forma sinóptica la calidad de las aguas en distintos sitios y épocas sucesivas.

10.2.3 Requerimientos de información y posibilidades de este estudio

Las variables que definen la calidad de las aguas del Pilcomayo fueron seleccionadas por la unidad Gestora del Proyecto Pilcomayo, al igual que la estrategia de colecta, el número de estaciones y el tipo de muestras a obtener. Las planillas que se anexan a este estudio (Anexos 10.1 y 10.2) han organizado la información en grupos de datos: datos de campo, aniones y cationes incluyendo en estos últimos a los metales pesados, el grupo de variables microbiológicas, los datos que permiten inferir sobre la concentración de materia orgánica y las determinaciones de biocidas organoclorados y organofosforados.

La colecta comprendió la realización de dos campañas, una en aguas altas en febrero-marzo de 2006 y una de aguas bajas que se cumplió en junio-julio de 2006. El programa propuesto en el pliego de licitación comprendía 31 puntos, la mayoría de los cuales estaban situados en ambientes fluviales y un número menor en humedales. A este programa los consultores adicionaron otros sitios con el ánimo de tener una mayor cobertura de situaciones funcionales de la cuenca.

Estaciones de Colecta de Calidad de Aguas	Nombre	Curso - Cuerpo de Agua	Posición Geográfica		Primera Campaña	Segunda Campaña
			Latitud Sur	Longitud Oeste		
1	Tarapaya	Pilcomayo	19°26'06"	65°47'16"	06/02/2006	05/07/2006
2	Pte. Sucre	Pilcomayo	19°21'28"	65°10'17"	06/02/2006	04/07/2006
3	Tumusla	Tumusla	20°44'30"	65°14'22"	06/02/2006	03/07/2006
4	Tupiza	Tupiza	21°29'52"	65°42'39"	07/02/2006	03/07/2006
5	SubCuenca Tumusla	Tumusla-Potosí	20°28'19"	65°37'38"	07/02/2006	03/07/2006
6	SubCuenca San Juan del Oro, Chuquiago	San Juan del Oro	21°33'40"	65°38'52"	07/02/2006	03/07/2006
7	Palca Grande	Tumusla	20°29'15"	65°37'02"	08/02/2006	06/07/2006
8	El Puente	San Juan del Oro	20° 44'30"	65°14'22"	10/02/2006	04/07/2006
9	San Josecito	Pilaya	21°09'15"	64°14'04"	11/02/2006	06/07/2006
10	Puente Aruma	Pilcomayo	20°54'56"	64°06'37"	11/02/2006	07/07/2006

ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

Estaciones de Colecta de Calidad de Aguas	Nombre	Curso - Cuerpo de Agua	Posición Geográfica		Primera Campaña	Segunda Campaña
			Latitud Sur	Longitud Oeste		
	(Tarija)					
11	Villa Montes (Pte. ferroviario)	Pilcomayo	21°16'35"	63°27'36"	11/02/2006	08/06/2006
12	Misión La Paz	Pilcomayo	22° 22'32"	62° 31'22"	18/02/2006	11/06/2006
13	María Cristina	Canal Farías	22°41'15"	62°11'54"	18/02/2006	11/06/2006
14	El Potrillo	Canal El Reventado	23°03'60"	61°55'48"	19/02/2006	12/06/2006
15	El Churcal	Brazo abandonado Pilcomayo	23°16'54"	61°40'28"	19/02/2006	12/06/2006
16	Ruta Prov. 28, Formosa, Km 45	Bañado La Estrella	24°24'02"	60°19'53"	21/02/2006	14/06/2006
17	Salida Lag.Salada, Riacho Porteño	Laguna Salada	24°55'04"	59°01'19"	21/02/2006	14/06/2006
18	Clorinda	Riacho Porteño	25°15'26"	57°44'08"	22/02/2006	14/06/2006
19	Ruta Nac.11 - Argentina	Monte Lindo	25°46'35"	58°00'51"	22/02/2006	15/06/2006
20	Ruta prov. 32, Formosa, Argentina	Monte Lindo	25°23'07"	59°10'11"	22/02/2006	15/06/2006
21	Pte. Loyola	Pilcomayo	25°15'50"	57°43'26"	22/02/2006	15/06/2006
22	San Antonio (Boquerón)	Cañada San Antonio	23°00'12"	62°00'06"	25/02/2006	sin datos - estaba seca
23	General Diaz	Cañada General Díaz	23°34'07"	60°31'19"	24/02/2006	17/06/2006
24	General Briguez	Pilcomayo	24°44'52"	58°49'58"	24/02/2006	19/06/2006
25	Ruta Nac.9 (Transchaco) Paraguay	Monte Lindo	23°53'34"	58°26'45"	23/02/2006	sin datos -estaba seca
26	Ruta Nac.9 (Transchaco) Paraguay	Río Negro	24°11'22"	58°17'57"	23/02/2006	18/06/2006
27	Ruta Nac.9 (Transchaco) Paraguay	Río Verde	23°12'54"	59° 12'04"	23/02/2006	sin datos - estaba seca
28	Villa Hayes	Río Confuso	25° 06'17"	57° 32'48"	24/02/2006	18/06/2006
29	Tramo superior río Cofuso	Río Confuso	24° 25'00"	58° 52'46"	24/02/2006	17/06/2006
30	Villa Oros mayo	Río Oros mayo	22° 34'24"	66° 20'47"	26/02/2006	27/06/2006
31	Quebrada La Quiaca, Villazón	Río La Quiaca	22° 05'46"	65° 35'04"	26/02/2006	28/06/2006
ESTACIONES DE COLECTA AGREGADAS POR EL CONSORCIO HALCROW-SERMAN						
32	Arriba de Confluencia c/San Juan del Oro	Río Sococha	21°53'33"	65° 25'11"	07/02/2006	05/07/2006
33	Lagunas de altura, Potosí	Lagunas de Cari Cari	19° 35'59"	65° 43'12"	08/02/2006	04/07/2006
34	Pte. Ruta 23, Formosa	Río Tatú Piré	25° 16'34"	59° 09'09"	21/02/2006	14/06/2006
35	Eros cercanos a Gral Diaz (PGY)	Estero Las Garzas	23° 32'19"	60° 15' 13"	24/02/2006	sin datos - estaba seca
36	Límite Internacional Argentina-Bolivia	Río La Quiaca	22° 06'54"	65° 34'53"	26/02/2006	28/06/2006
37	Ruta Nacional N° 9 (Transchaco)	Ero. El Chajá	23° 58'17"	58° 25'30"	23/02/2006	18/06/2006
38	Esteros del Brazo Norte del Pilcomayo	Intersección Brazo Norte	24° 39'03"	58° 46'39"	24/02/2006	19/06/2006

Estaciones de Colecta de Calidad de Aguas	Nombre	Curso - Cuerpo de Agua	Posición Geográfica		Primera Campaña	Segunda Campaña
			Latitud Sur	Longitud Oeste		
39	Pto. Esmeralda	Río Pilcomayo	22° 14'30"	62° 39'33"	18/02/2006	9/06/2006

10.2.4 Métodos de campo

Todas las operaciones de campo fueron conducidas por el Jefe de Equipo Doctor Juan José Neiff, con la participación de técnicos con experiencia previa, que fueron entrenados con anterioridad para la tarea. El equipo de trabajo estuvo integrado en cada sitio por tres personas, cada una de las cuales cumplía con las mismas rutinas.

Los trabajos de observaciones y colectas comenzaron en la cuenca alta para terminar en la cuenca baja, siguiendo la dirección del flujo.

Las colectas fueron realizadas con la colaboración y supervisión de Técnicos del Proyecto Pilcomayo, que colaboraron para localizar los mismos sitios que venían siendo monitoreados en las campañas anteriores que realizara el Proyecto, por sí mismo o a través de terceros. Los datos de campo fueron registrados por duplicado para evitar posibles pérdidas.

Al campo se llevaron equipos de medición por duplicado para cubrir posibles fallas. Todos los equipos fueron calibrados en laboratorio antes del comienzo de la campaña, contrastando las mediciones con otros equipos en uso.

En cada sitio se establecieron las coordenadas geográficas con GPS y las características del lugar, tales como el registro de las condiciones meteorológicas al momento de la colecta, el ancho y profundidad aproximada del río, el color aparente.

La temperatura del aire fue medida con termómetro de mercurio, que se usó para ratificar las medidas realizadas de la temperatura del agua con teletermómetro provisto de termistor.

La transparencia del agua fue estimada mediante disco de Sechi de 15cm de diámetro procurando que la medida se tomara a la sombra. La velocidad de la corriente fue estimada en el sitio de toma de la muestra, con un correntómetro AOT. La conductividad eléctrica del agua, se midió con un conductímetro YSI que posee tres rangos de medición permitiendo cubrir toda la gama de situaciones de campo. Este aparato fue controlado en campo con una solución patrón de concentración conocida.

El pH se valoró con un peachímetro electrónico digital WTW que fue recalibrado en campo para el rango de 4 a 10 unidades, con tres soluciones buffer de la firma Merck. Cada recalibración implicó la sustitución del buffer.

El oxígeno disuelto en agua se estimó mediante un oxímetro polarográfico WTW, que fue recalibrado en campo antes de cada medición. El mismo equipo permitió la medida de la temperatura del agua. Todas las mediciones se realizaron respetando los tiempos de estabilización de los distintos electrodos en el agua.

En cada lugar se tomaron dos muestras de agua: una para el análisis del agua entera, sin filtrar, y otra para el análisis de las sustancias químicas sobre muestras filtradas. La tercera muestra de cada sitio se destinó a los análisis microbiológicos.

Todas las muestras fueron captadas de los 20 cm superficiales, luego de permanecer cinco minutos en el sitio de toma, para evitar cualquier alteración debida a la incorporación de sedimentos desde el fondo.

Se emplearon envases nuevos, de polietileno para las muestras de agua, que fueron lavados previamente en laboratorio, luego curados con una solución de ácido nítrico, enjuagados nuevamente y curados con agua clorinada durante 24 horas. Luego los envases fueron secados boca abajo y guardados en bolsas de polietileno para protegerlos del polvo hasta llegar a los sitios de colecta. En cada lugar, los envases fueron sometidos a triple enjuague con el agua del sitio y finalmente cargados y estivados en conservadoras, cuidando que el volumen de hielo sea igual o mayor al volumen de muestras.

Las muestras para análisis microbiológicos fueron tomadas en envases plásticos herméticos estériles provistos por la firma Medicap en bolsas de polietileno de alta densidad, selladas. Luego que el operador

lavara sus manos y las enjuagara con alcohol, se cargó completamente el frasco en cada sitio estiviéndolo en conservadora en las condiciones ya mencionadas, dentro de bolsas de polietileno.

Cada muestra llevaba un rótulo escrito con fibra indeleble y un precinto numerado, sin indicación del lugar ni fecha de toma. Las muestras para análisis generales fueron procesadas dentro de los 30 días de tomadas, período en que se mantuvieron siempre refrigeradas. Las muestras para análisis microbiológicos se procesaron dentro de los siete días de la toma.

Los análisis de aniones y cationes que se encuentran en mayor concentración fueron realizados en los laboratorios de CECOAL, en Corrientes, en tanto que los de metales pesados (en aguas filtradas y sin filtrar) fueron realizados por SPECTROLAB (Bolivia) y DIOXITEK (Argentina) que utilizan el equipo de Plasma de Acoplamiento Inductivo-Espectrómetro de Masas (ICP-MS). Los análisis biocidas organoclorados y organofosforados fueron realizados por PROANALISIS (Argentina) mediante cromatografía en fase gaseosa. En cada envío de muestras a los laboratorios se adicionó una muestra del mismo origen, pero con diferente rótulo, para tener una idea del error en el tratamiento de las muestras. El laboratorio DIOXITEK entregó las curvas de calibración previas a los dosajes de metales pesados en las mismas.

Las determinaciones de biocidas clorados y fosforados se realizaron por cromatografía de fase gaseosa, para investigar la presencia y concentración de los siguientes elementos

Plaguicidas clorados	
Dieldrin	alfa-clordano
Endrin	beta-clordano
Heptacloro	gama-Clordano
Heptacloro epóxido	alfa-HCH
Hexaclorobenceno	Mirex
Lindano	alfa-endosulfan
beta-HCH	beta-endosulfan
Metoxicloro	Aldrin
	D.D.T. y Metabolitos
Plaguicidas fosforados	
Acefato	Metidación
Fenitrotión	Azinfos Etil
Dimetoato	Metil pirimifos
Metamidofós	Monocrotofós
Metil azinfos	Metil clorpirifós
Metil-paratión	Malatión
Diclorvos	Clorpirifós
Paratión	Disulfotón
Diazinon	Diazinón

Los mismos plaguicidas fueron investigados en muestras de grasa de sábalos de distintos tamaños en las distintas épocas en que se realizaron las campañas.

Traslado de las muestras

Se coordinó con los laboratorios las fechas de entrega de las muestras, confirmando las mismas mediante comunicación telefónica con dos días de anticipación. Para el traslado, cuando fue en la cuenca media, se comisionó a un técnico que realizó la custodia del material asegurándose que se mantuvieran las condiciones de refrigeración y que se cumpliera con la entrega segura e inmediata en los laboratorios de destino.

Control de calidad de la información.

Como en todo estudio de calidad de aguas, el éxito de la evaluación depende de numerosos factores que

requieren ser identificados y controlados en la medida de lo posible, sabiendo que, aún en las mejores condiciones de estandarización de las tareas y a pesar de la buena voluntad de los múltiples operadores que intervienen en la obtención de los datos, siempre quedan fuentes de error (como el envejecimiento de los reactivos, o de las piezas sensibles de los equipos de medición), que deben inducir a la prudencia respecto de las conclusiones que se obtengan.

Es preciso un cuidadoso proceso de filtrado e interpretación de los datos dada la complejidad del sistema analizado. Precisamente, en los talleres de calidad de aguas del río Pilcomayo, realizados en Tarija y en Asunción por iniciativa del Proyecto Pilcomayo, se manifestaron las dificultades para la utilización de la información existente, debido a defectos de forma y de fondo en la gestión de los datos de calidad de aguas.

En la amplia gama de problemas mencionados por los especialistas se mencionaron los defectos en las operaciones de colecta, del manejo de envases, de calibración de los aparatos, de traslado y conservación de las muestras, de técnicas analíticas y límites de detección de los aparatos, lo que también ha quedado plasmado en el informe técnico presentado por los consultores de este Proyecto (Mariuz, 2004; Spandre, 2005; Escalera, 2006).

Otro aspecto importante es que la información publicada no siempre consigna la condición hidrológica en que se encontraba el río en el momento de la colecta y, más aún, a veces no se consigna la información ambiental necesaria para interpretar los datos.

El conocimiento de la calidad de agua de una cuenca es siempre un proceso complejo, por el número de variables que intervienen y porque la dinámica de las mismas no siempre se comporta con tendencias definidas (Meybeck et al. 1997), al menos en una serie de tiempo compatible con la vida humana. El estudio de los riesgos de polución en ríos es complicado debido a la compleja mezcla de los potenciales tóxicos y la alta variabilidad en diferentes tramos (Smolders et al 2003).

Esto es especialmente válido en el Pilcomayo, donde hay tres complejos de características propias, diferentes de las que operan en la generalidad de los ríos de Sudamérica. La cantidad de energía que se desplaza en el sistema por unidad de sección y de tiempo (caudal líquido) es tan variable, como lo es la cantidad de materiales (sólidos disueltos y suspendidos) que lleva, deposita y eroda el río, como consecuencia de los procesos físicos y químicos (climáticos, hidrológicos) que ocurren aguas arriba de cada punto que consideremos. Estas características serán descritas en el capítulo 4.4 de la parte III de este informe.

La cuenca del río Pilcomayo tiene comportamiento definitivamente vectorial con declividad fuerte, que puede superar el 10% hasta que desciende de las montañas de Los Andes. En este sector hay una marcada asimetría entre las condiciones de aguas altas (potamofase) y de aguas bajas (limnofase). En ambas fases el río tiene distintas condiciones de flujo y de carga de materiales sólidos en suspensión, que deben ser adecuadamente valoradas.

En ríos como éste, con semejante intensidad de pulsos, el tratamiento de la información debería permitir evaluar la variabilidad de materiales sólidos y disueltos en relación con la variabilidad pulsátil. Sin embargo, es frecuente que en la documentación existente se presente las diferencias temporales con técnicas usadas para sistemas de baja variación espacial y temporal.

La descripción de la calidad del agua normalmente requiere de la confrontación de una o más muestras actuales con otras que corresponden a situaciones tomadas como "normales" o situación testigo. En el caso del Pilcomayo este procedimiento encuentra muchas dificultades en razón de la extrema escasez de datos para el período de aguas altas, como se desprende del informe de Escalera (2006). Debe agregarse que pocas veces se ha realizado una colecta con técnicas comparables, que comprendiera a toda la cuenca, por parte de un mismo equipo de trabajo. Es necesario adoptar una gestión adecuada de datos.

En este sentido, se comparte el criterio y recomendaciones emanadas del taller de expertos sobre calidad de aguas del río Pilcomayo de realizar una consulta a especialistas externos al grupo consultor antes de emitir conclusiones sobre el particular, lo que tendrá lugar luego de disponer de los resultados de laboratorio, de organizar los datos en planillas electrónicas y de realizar un prediagnóstico de la información.

10.2.5 Gestión de datos de calidad de aguas.

Resumiendo lo actuado en este estudio, la obtención de un diagnóstico de calidad de aguas que supere algunas limitaciones de la información existente, se basa en seis aspectos fundamentales:

- 1) La ejecución exitosa de los trabajos de campo
- 2) La utilización de los envases más convenientes y su correcto etiquetado
- 3) El traslado rápido y seguro de las muestras a los laboratorios
- 4) La eficiencia en la realización de los análisis de las muestras
- 5) La correcta interpretación de los resultados
- 6) La utilización de un esquema explicativo claro, conciso y preciso

Para los trabajos de campo se puso énfasis en:

- ✓ Efectuar las colectas en los puntos requeridos por los TDR. Si bien, se adicionaron algunos sitios adicionales al esquema original de tareas.
- ✓ Realizar la colecta en las condiciones representativas de aguas altas y de aguas bajas
- ✓ Tomar las muestras en los ambientes representativos de cada punto
- ✓ Una adecuada supervisión de las tareas, empleando personal capacitado
- ✓ Emplear instrumental de campo adecuado y previamente calibrado
- ✓ Minimizar las situaciones de imprevistos

10.3 Resultados de las campañas y de los análisis de este estudio

El tratamiento detallado de los resultados y la elaboración de los índices de calidad puede consultarse en detalle en el capítulo 4.4 de la parte III del presente informe.

10.3.1 Primera campaña

Estado hidrológico del sistema al momento de la realización de las colectas

La cuenca alta había recibido la riada que comenzó, en la mayor parte de la cuenca alta, durante la primera quincena de enero. La cuenca media se encontraba recibiendo las aportaciones de la riada que había superado ya la localidad de El Potrillo. El resto de la cuenca, hasta la ruta provincial N° 28 (Formosa, Argentina) todavía se encontraba en aguas bajas, si bien recibiendo aportes de varias lluvias locales. Los ríos y arroyos del Chaco Oriental, al oeste del meridiano de 60 grados, se encontraban en aguas bajas, si bien todavía con agua en el cauce y escorrentía lenta o nula, como se indica en las planillas anexas.

Condiciones de campo

Los ríos de la alta cuenca estaban aún desbordados sobre la planicie de inundación, con flujo rápido (entre 0,8 y 2m/seg), llevando en suspensión alta carga de sólidos que le daban color castaño (color aparente). La temperatura del agua fue próxima a los 20 grados, con una diferencia próxima a los 2 grados entre sitios de colecta. La transparencia del agua era muy baja (Sechi \leq 2cm) y el oxígeno disuelto alcanzaba concentración próxima o superior a 70% del valor de saturación. El pH se encontraba en el rango desde ligeramente ácido a moderadamente alcalino. La salinidad se encontraba en el rango de moderada a baja (en la mayoría de los puntos la conductividad eléctrica no superaba los 500 μ S/cm).

Hacia la cuenca baja, se aprecia claramente la reducción de la velocidad de la corriente, aunque con valores aún bajos de transparencia del agua y con incremento en la carga de compuestos orgánicos valorados por la DQO (Demanda química de oxígeno) que, en el bañado La Estrella llega a 49mg/l indicando mayor residencia del agua en la planicie y procesos de descomposición de la materia orgánica del bañado, lo que es normal al comienzo de la fase de inundación del suelo. Como consecuencia hay una marcada declinación en la concentración del oxígeno disuelto en el agua, si bien el pH aún no se mantenía levemente alcalino, próximo a la neutralidad. En la cuenca media, con un espesor equivalente de la lámina

del agua, se aprecia un incremento de la temperatura del orden de tres grados. Con el ingreso a la llanura, se apreciaba un aumento notorio en la conductividad eléctrica del agua que en Misión La Paz llegaba casi a $700\mu\text{S}/\text{cm}$ y en El Churcal superaba los $800\mu\text{S}/\text{cm}$ en el momento de la colecta.

Los cursos de agua y humedales de la cuenca baja, en el Este de la Cuenca, no estaban conectados con las aguas del Pilcomayo y apenas recibían el aporte de lluvias locales. Las aguas eran completamente lénticas, cálidas (temperatura del agua de 29-35 grados); con pH definitivamente alcalino (llegaba a 8,38 en el tramo bajo del Pilcomayo, en General Bruguez, lo que da cuenta de la no conectividad con las aguas del tramo alto).

Hay una clara diferencia entre esta zona y el resto de la cuenca respecto de la concentración salina, con valores de conductividad eléctrica que llegan a $12000\mu\text{S}/\text{cm}$ en General Bruguez. El oxígeno disuelto es más bajo, especialmente en los humedales de General Díaz, donde se registró un valor menor del 10% de saturación, como consecuencia del alto contenido de materia orgánica particulada gruesa y de la existencia de un tapete continuo de plantas flotantes.

Iones mayores

En aguas altas, las aguas de la cuenca alta correspondían a la tipología: sulfatadas-bicarbonatadas – cloruradas-sódicas, aunque con concentración moderada a baja de electrolitos. Desde Villa Montes hasta el Bañado La Estrella, se mantiene la tipología: sulfatada-bicarbonatada-clorurada ratificando la continuidad con las aguas de la alta cuenca. En el sector oriental, al este del meridiano de 60 grados, los arroyos y humedales respondían a la tipología: sulfatada-clorurada-bicarbonatada, con un aumento muy marcado del sodio entre los cationes (llegando a casi dos gramos por litro en los ríos Verde y Monte Lindo, en Paraguay). Esto reflejaría el ingreso de agua freática a estos cursos de agua. Los demás aniones y cationes no indican situaciones anómalas.

Metales pesados en aguas filtradas

Arsénico: se encontró en concentraciones bajas, el único punto que se encuentra en el límite fijado para la protección de la biota en aguas filtradas es el N° 36 "Límite Internacional" con un valor de $0,015\text{mg}/\text{L}$.

Bario: el único punto que se encuentra en el límite fijado para la protección de la biota en aguas filtradas es el N° 24 "General Bruguez" con un valor de $0,03\text{mg}/\text{L}$, el punto N° 27 supera dicho límite con un valor de $0,33\text{mg}/\text{L}$.

Berilio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Boro: la Secretaría de Recursos Hídricos no ha establecido un límite para la protección de la biota, las concentraciones más altas corresponden a los puntos N° 34 ($2\text{mg}/\text{L}$), 25 ($3,9\text{mg}/\text{L}$), 27 ($3,1\text{mg}/\text{L}$), 30 ($6,9\text{mg}/\text{L}$), 17 ($2,5\text{mg}/\text{L}$), 24 ($2,3\text{mg}/\text{L}$).

Cadmio: el punto N° 30 supera el límite fijado para la protección de la biota en aguas filtradas con un valor de $0,005\text{mg}/\text{L}$.

Cobalto: los valores de las muestras analizadas están por debajo del límite de detección.

Cobre: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Cromo total: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota, con excepción de los puntos N° 24 ($0,02\text{mg}/\text{L}$), 25 ($0,01\text{mg}/\text{L}$), 27 ($0,02\text{mg}/\text{L}$), 34 ($0,02\text{mg}/\text{L}$).

Hierro: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Manganeso: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Mercurio: el máximo valor registrado corresponde al punto N° 15 ($1,02\text{mg}/\text{L}$). Este valor cuadruplica el valor admitido para la biota

Níquel: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Vanadio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota, con excepción de los puntos N° 17, 24, 25, 27 y 34 .

Zinc: el único punto que excedió la concentración indicada por el nivel guía fue el Villa Oros mayo en la alta

cuenca, donde se registró 0,33mg/L.

Condiciones microbiológicas

En la alta cuenca los coliformes totales tuvieron el rango más frecuente de 5 a 34 unidades formadoras de colonias, con valores extremos de 94 UFC en El Puente (Río San Juan del Oro) y ausencia en el río Tumusla (Palca Grande), esto último posiblemente relacionado con la presencia de algunas sustancias contaminantes como el cobre, cadmio y el manganeso. La actividad microbiológica en este punto también está restringida en todas las demás variables de la muestra. La calidad microbiológica del agua es mejor en los puntos N° 3 y 5.

Los estreptococos fecales fueron particularmente abundantes en todas las muestras, con NMP próximo o superior a 1100. Otra regularidad es la presencia de *Escherichia coli* en todas las mismas. No se registró presencia de salmonellas en la cuenca alta.

Desde San Josecito (río Pilaya) hacia la cuenca baja, hay un paulatino mejoramiento de la calidad microbiológica del agua, con densidad significativamente menor de estreptococos fecales, que no estuvieron presentes en Misión La Paz, María Cristina y San Josecito. Sin embargo, superan las 1100 unidades en las proximidades de Puente Aruma, posiblemente en relación con las descargas domésticas, como parece indicar también la presencia de *Escherichia coli* en la muestra. En el bañado La Estrella también se detectó presencia de *Escherichia coli* aunque posiblemente atribuible a la influencia de las descargas del obrador que se encontraba trabajando en la ruta provincial N° 28.

En los ríos del Chaco Oriental, pudo detectarse también condiciones impropias en el agua para abastecimiento, especialmente en los ríos Negro, Monte Lindo y en el tramo superior del río Confuso, lugares que reciben descargas de campos dedicados a la ganadería y en los que se encuentran algunos asentamientos.

10.3.2 Segunda campaña

Estado hidrológico

En toda la cuenca había finalizado el período de lluvias, dos meses antes de la colecta, y los ríos se encontraban encauzados. En la alta cuenca, el escurrimiento era constante pero con flujo mucho más lento (valores más frecuentes de velocidad en el rango de 0,4 – 0,7m/s). Al ingreso en la llanura chaqueña el Pilcomayo mantenía flujo rápido, pero con valores decrecientes de velocidad 1,5m/s en Villa Montes a 0,20m/s en El Potrillo.

Una amplia lámina de agua cubría el bañado La Estrella, con profundidad entre 0,10m y 1,20m, valor este último que se registraba en la intersección de las rutas, si bien en el cruce de la ruta N°28 (Formosa) el agua tenía un tirante de 1,80 m. En este punto el agua rebalsaba sobre el camino para encauzarse a través de los ríos Tatú Piré y Monte Lindo en Formosa, hasta llegar al río Paraguay. Esta conectividad con el río Paraguay representa una situación atípica, o al menos, propia de las grandes riadas.

Los ríos y cuerpos de agua del Chaco Oriental, incluyendo ambos brazos del Pilcomayo en las proximidades de General Bruguez, se encontraban con profundidad menor de 30cm y con velocidad imperceptible. Algunos de ellos, como los ríos Verde, Monte Lindo y el tramo superior del río Confuso y la cañada San Antonio, se encontraban secos. El resto de las estaciones de colecta tenían condiciones lénticas, permitiendo el desarrollo de plantas flotantes libres en aquellos de menor salinidad (como el río Negro, en el cruce de la ruta Transchaco).

Condiciones de campo

Se percibió un leve mejoramiento de la transparencia del agua, lo que indica suficiente competencia del flujo para el transporte de sólidos en suspensión aun a esta menor velocidad de flujo. La transparencia frecuentemente estuvo entre 10 y 20cm (medida de Sechi). Hacia la cuenca baja aumenta la transparencia, pero también el color de las aguas, por la presencia de compuestos orgánicos disueltos y particulados finos en suspensión coloidal.

El oxígeno disuelto tuvo concentraciones muy variables espacialmente entre 4 y 8mg/L en la alta cuenca, con una ganancia hacia la saturación en la zona de Villa Montes y hasta el bañado La Estrella. En el punto

16 (cruce de la ruta N°28, Formosa) se advierte una recuperación en la concentración del oxígeno disuelto en el humedal, superando el 85% de saturación.

El pH en los ríos de la alta cuenca se mantuvo en el rango alcalino, entre 7,15 (Tumusla) y 8,32 (Tupiza). La mayor parte de los registros estuvieron encima de 7,5 unidades. Desde Villa Montes al Este el pH disminuye con valores entre 6 y 7 unidades en los humedales que aún estaban recibiendo los derrames del bañado La Estrella y en el mismo bañado.

Las aguas, que tenían entre 800 y 1600 μ S/cm en la cuenca alta, se salinizan en la llanura chaqueña, con valores frecuentes entre 1000 y 2500 μ S/cm en los ambientes del Chaco Oriental, llegando en General Briguez a 28450 μ S/cm, lo que denota la alimentación freática del sistema.

La DQO, como expresión de la concentración de materia orgánica en el agua, indicaba valores generalmente menores de 5mg/L en la alta cuenca, con concentraciones crecientes en el tramo aguas abajo de Villa Montes.

Metales pesados en aguas filtradas

Arsénico: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Bario: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Berilio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Boro: la Secretaría de Recursos Hídricos no ha establecido un límite para la protección de la biota, las concentraciones más altas corresponden a los puntos N° 4 (1,41mg/L), 5 (1,3mg/L), 6 (2,3mg/L), 7 (1,037mg/L), 8 (2,27mg/L), 24 (0,034mg/L), 25 (2,6mg/L) y 30 (11,57mg/L).

Cadmio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Cobalto: el punto N° 5 supera el límite fijado para la protección de la biota en aguas filtradas con un valor de 0,01139mg/L.

Cobre: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Cromo total: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Hierro: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Manganeso: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Mercurio: los puntos que superan el límite establecido para la protección de la biota son 2,3,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,23,24,25,26,28,32,34,35,37.

Níquel: el punto N° 5 supera el límite fijado para la protección de la biota en aguas filtradas con un valor de 0,04595mg/L.

Plata: los puntos que superan el límite establecido para la protección de la biota son 20, 21, 25, 26.

Plomo: los puntos que superan el límite establecido para la protección de la biota son 1, 2, 3, 5,10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 34, 35, 36 y 37.

Selenio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Vanadio: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.

Zinc: los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la protección de la biota.