

# Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo

---

## PERFIL DE PROYECTO INFORME FINAL

---

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Contrato de Servicios N° 021/2010

JULIO/2010

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ubicación y delimitación del área de estudio .....	1
1.2	Objetivos y metas del estudio .....	3
<b>2</b>	<b>RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
2.1	Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Fuente: Comisión de la Unión Europea, Enero 1996.....	5
2.2	Proyecto del Sistema Distribuidor de Aguas y Atenuador del Retroceso del cauce del río Pilcomayo. Año 1997 5	5
2.3	Proyecto de emergencia de inundaciones el niño, convenio birf 4273-ar-Defensas en el Río Pilcomayo. Fuente: ANDINA Consultora, Año 2000.....	6
2.4	Relevamiento Topobatimétrico del Río Pilcomayo en la zona de derivación y taponamiento. Fuente: Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Año 2001.....	6
2.5	Proyecto ejecutivo ruta provincial nº 28 – tramo: empalme r.n.nº 81 (las lomas) – empalme r.n.nº 86 (posta cambio zalazar). Fuente: AC&A Ingenieros Economistas Planificadores. ....	6
2.6	Monitoreo Hidrometeorológico – Modelación Hidrológica de la cuenca del río Pilcomayo. Fuente: Ing. Emmanuel Daval, Mayo 2004. ....	7
2.7	Proyecto Piloto Demostrativo Pilcomayo: Control de la Contaminación y Erosión. Fuente: Aquiles Arce Laura, Julio 2005.....	7
2.8	Balance hídrico de la cuenca del río Pilcomayo aguas abajo de Ibibobo/Bolivia. Fuente: EVARSA, Año: 2006 ...	7
2.9	Estudio de base ambiental y socioeconómica de la cuenca del río Pilcomayo. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007.....	9
2.10	Serie de caudales medios diarios de estación La Paz (0631) Año 1941-2001. Fuente EVARSA.....	12
2.11	Hidrometría en Estación La Paz Desde 01/09/1964 - Hasta 31/05/2002. Fuente: EVARSA.....	12
2.12	Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo-Fuente: Dr. Juan Pedro Martín Vide. 12	12
2.12.1	Informe Nº 1. Agosto 2005.....	12
2.12.2	Informe Nº 2. Marzo 2006.....	12
2.12.3	Informe Nº 3. Diciembre 2006 .....	12
2.13	Delimitación del bañado la estrella. Fuente: INA (Instituto Nacional del Agua), Noviembre 2008. ....	13
<b>3</b>	<b>PLANTEO DE NECESIDADES Y PROBLEMAS</b> .....	<b>14</b>
3.1	Déficit hídrico regional .....	15
3.2	Retroceso del río Pilcomayo .....	18
3.3	Elevada tasa de sedimentos .....	18

3.4	Variabilidad de caudales .....	18
3.5	Escasez de agua subterránea .....	18
3.6	Contaminación de fuentes de agua .....	19
3.7	Riesgo de inundaciones .....	19
3.8	Conclusiones .....	20
<b>4</b>	<b>HIDROLOGIA, CARACTERIZACION DE LA OFERTA.....</b>	<b>22</b>
4.1	Introducción .....	22
4.2	Delimitación de subcuencas y escorrentías superficiales medias anuales .....	23
4.3	Precipitaciones .....	25
4.3.1	Relleno de series .....	27
4.4	Caudales.....	31
4.4.1	Estación Misión La Paz .....	32
4.4.2	Estación la Paz .....	49
4.4.3	Estación Fortín Nuevo Pilcomayo .....	51
4.4.4	río Caraparí en Puente Carretero .....	53
4.4.5	Caudales del Riacho Porteño en la estación El Espinillo .....	53
4.4.6	Caudales del Riacho Monte Lindo Grande en la estación M. de Andrea .....	54
4.4.7	Caudales del Riacho Pilagá en la estación Ea. Guaycolec .....	55
4.4.8	Caudales del Brazo Sur del Río Pilcomayo Inferior en la estación Gral. Bruguez .....	55
4.4.9	Análisis de Valores Extremos de caudal en Estación Misión La Paz y Villamontes .....	56
<b>5</b>	<b>USOS DEL AGUA, ESTUDIO DE LA DEMANDA .....</b>	<b>59</b>
5.1	Análisis regional de oferta y demanda hídrica .....	59
5.1.1	Conclusiones .....	60
5.2	Demanda según usos consuntivos .....	60
<b>6</b>	<b>TOPOGRAFIA.....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>APORTE DE SEDIMENTOS.....</b>	<b>63</b>
7.1	Introducción .....	63
7.2	Volumen y tipo de transporte.....	63
7.3	Estación Misión La Paz.....	63
7.4	Estación Villamontes .....	64
7.5	Estación Fortín Pilcomayo .....	65
7.6	Fuentes de sedimentos .....	65
7.7	Particularidades del transporte sólido en suspensión.....	65

<b>8</b>	<b>OBRAS EXISTENTES, EN CONSTRUCCION O PROYECTADAS.....</b>	<b>66</b>
<b>8.1</b>	<b>Identificación y descripción general de obras.....</b>	<b>66</b>
<b>8.2</b>	<b>Descripción de obras destacadas.....</b>	<b>69</b>
8.2.1	Obra hidrovial sobre Ruta Provincial N° 28.....	69
8.2.2	Obra Pantalón.....	71
8.2.3	Dique Distribuidor.....	75
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES DE LA REVISION DE ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS.....</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>PROPUESTA DEL PERFIL DE PROYECTO .....</b>	<b>81</b>
<b>10.1</b>	<b>ZONA DE INTERVENCION PROPUESTA.....</b>	<b>81</b>
<b>10.2</b>	<b>TOPOGRAFIA DE ZONA DE INTERVENCION .....</b>	<b>83</b>
10.2.1	Topografía a escala regional (SRTM e imágenes satelitales).....	83
10.2.2	Perfil en zona de obras.....	86
<b>10.3</b>	<b>HIDROLOGIA, CAUDALES DE DISEÑO .....</b>	<b>87</b>
10.3.1	Generalidades.....	87
10.3.2	Análisis de caudales máximos.....	88
10.3.3	Caudal medio durante el estiaje.....	89
10.3.4	Conclusiones sobre hidrología.....	91
<b>10.4</b>	<b>GEOMORFOFOLOGÍA.....</b>	<b>92</b>
10.4.1	Generalidades.....	92
10.4.2	Ambientes geológicos y geomorfológicos del área de intervención.....	92
<b>10.5</b>	<b>Tendencia evolutiva actual.....</b>	<b>95</b>
10.5.1	Conclusiones respecto del escenario geológico y geomorfológico del área de intervención.....	98
<b>10.6</b>	<b>APORTE DE SEDIMENTOS EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN .....</b>	<b>99</b>
10.6.1	Conclusiones respecto al aporte de sedimentos en la zona de intervención.....	99
<b>10.7</b>	<b>DETERMINACION DE LA DEMANDA .....</b>	<b>101</b>
10.7.1	Uso doméstico.....	101
10.7.2	Uso Ganadero.....	102
10.7.3	Uso Agrícola.....	103
10.7.4	Conclusiones.....	103
<b>10.8</b>	<b>INTERVENCIONES PROPUESTAS.....</b>	<b>104</b>
10.8.1	Introducción.....	104
10.8.2	Alternativa 1.....	104
10.8.3	Alternativa 2.....	107
10.8.4	Alternativa 3.....	112
10.8.5	Conclusiones respecto de las alternativas propuestas.....	113
10.8.6	Vida útil.....	114
<b>11</b>	<b>TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL PROYECTO DE LA OBRA.....</b>	<b>115</b>
<b>11.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>115</b>
<b>11.2</b>	<b>Actividades.....</b>	<b>115</b>
11.2.1	Estudios Básicos de Campo.....	115
11.2.2	Tareas de Gabinete.....	117

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio constituye un perfil de proyecto orientado a la búsqueda de soluciones a los problemas de regulación y escasez de agua en la cuenca baja del río Pilcomayo.

La elaboración del perfil de proyecto brinda una plataforma de partida para una posterior formulación de los proyectos específicos necesarios, cuyos objetivos sean la materialización de las soluciones al problema detectado.

Las propuestas y contenidos que en adelante se presentan responden a los criterios establecidos en los términos de referencia preparados por la Comisión Trinacional Para El Desarrollo De La Cuenca Del río Pilcomayo.

La metodología adoptada para el desarrollo del perfil de proyecto implica el cumplimiento de las siguientes etapas:

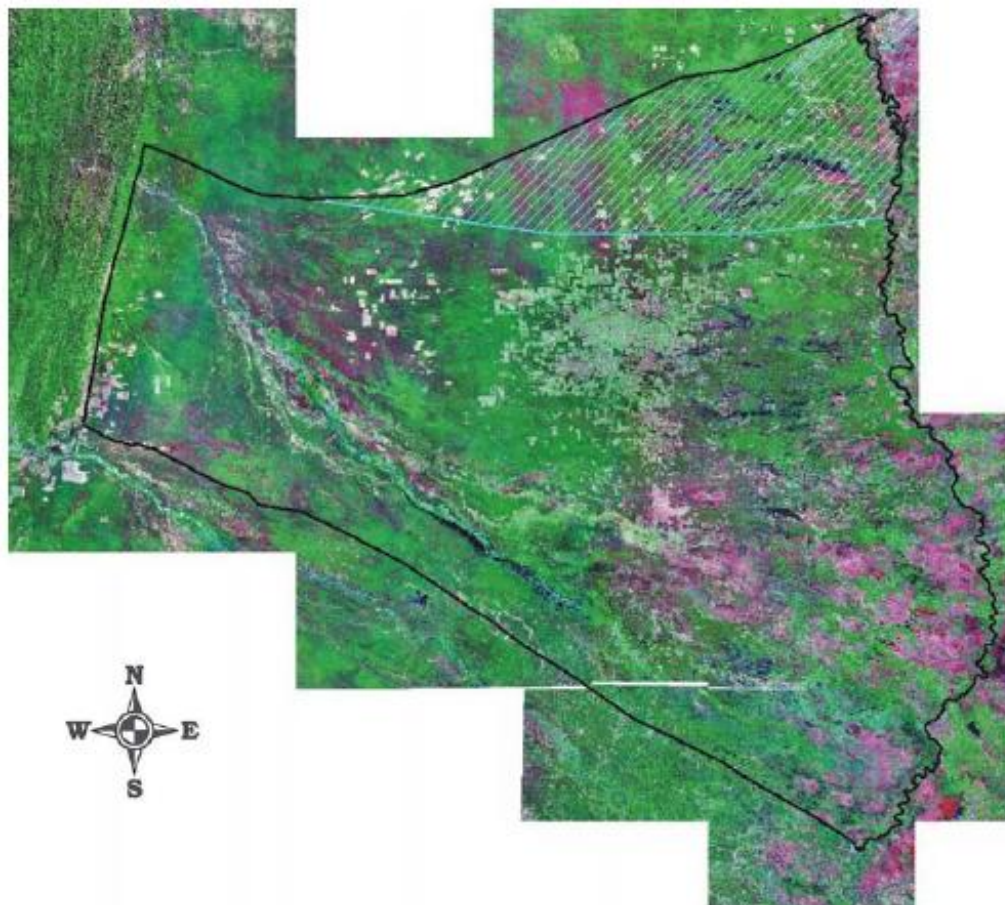
- Estudios Previos
- Recopilación, análisis y sistematización de la información, antecedentes disponibles y relevantes al estudio.
- Análisis del comportamiento hidrológico de la cuenca del Río Pilcomayo, y estudio hidrogeomorfológico del curso fluvial principal en el tramo de estudio.
- Descripción topográfica y desarrollo de cartografía en base a sensores remotos.
- Análisis Geológico y geomorfológico.
- Estudio de aportes de sedimentos
- Análisis de obras existentes y proyectadas
- Propuesta del Perfil de Proyecto
- Identificación y propuesta de sitios de intervención.
- Análisis particular de la oferta hídrica, la topografía, geomorfología y sedimentología según el sitio de intervención propuesto.
- Planteo y análisis de alternativas de solución.
- Elaboración de Términos de Referencia correspondientes a las obras alternativas seleccionadas

## 1.1 UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Pilcomayo abarca escenarios hídricos de características muy diferentes en su recorrido, desde su desembocadura actual en Puerto Pilcomayo como un afluente menor de la margen derecha 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).

Según el informe de Halcrow en su Estudio de Base Ambiental y Socioeconómico se denomina cuenca baja a la parte más oriental de la cuenca del Pilcomayo, en coincidencia con el relieve de llanura. La cuenca se denomina baja partiendo de las proximidades de la ciudad de Villamontes.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 1 Mosaico de Imágenes Landsat 7. Cuenca Baja del río Pilcomayo. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo Aguas Debajo de Ibibobo/Bolivia.**

Algunos autores subdividen la cuenca baja con un criterio hidrogeomorfológico en;

- 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.

- Cuenca Baja Media

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

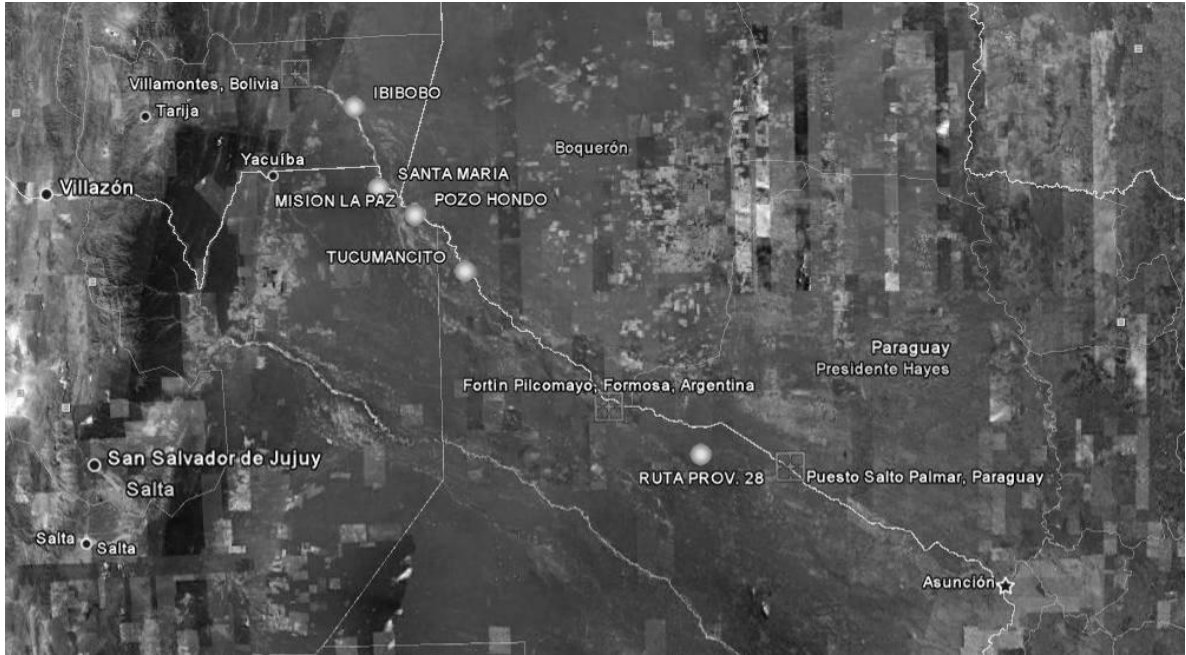
En este tramo de pendientes moderadas el cauce es inestable dado que la escorrentía no alcanza para transportar los sedimentos y detritos vegetales.

- 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. En este tramo final la cuenca desagua en la margen derecha del río Paraguay.

En este Perfil de Proyecto se toma la cuenca baja del río Pilcomayo (aguas abajo de Misión La Paz – Pozo Hondo) como delimitación del área de estudio, abarcando las cuencas baja Media e Inferior según la segmentación anterior.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 2 Ubicación General**

Según El Proyecto Ejecutivo Ruta Provincial N° 28 – Tramo: Empalme R.N.N° 81 (Las Lomitas) – Empalme R.N.N° 86 (Posta Cambio Zalazar), el área de estudio comprende el denominado Pilcomayo Inferior y parte del Pilcomayo Superior, correspondiendo el Alto Pilcomayo a la Cuenca Alta.

- Pilcomayo Superior

Este tramo se extiende desde Villamontes hasta Horqueta (Paraguay) o Fortín Pilcomayo (Argentina) recorriendo 400 Km., con una pendiente aproximada de 0.001 m/m, corriendo por un cauce más amplio pero definido. Es esta una zona de transición entre la pre-cordillera y la llanura chaqueña. A lo largo de 40 Km. el río sirve de frontera entre Argentina y Bolivia, hasta la localidad de Esmeralda y luego entre Argentina y Paraguay. La vegetación es abundante, de tipo boscoso. Este tramo se caracteriza fundamentalmente por las pérdidas de agua, que en períodos bajos se manifiesta en un movimiento del agua superficial hacia los acuíferos subterráneos y durante las inundaciones parte del agua se evapora y parte de la restante se infiltra. El tramo entre esteros que se ubica poco aguas arriba de Fortín Pilcomayo y Salto Palmar es una zona de divagación perdiéndose todo escurrimiento visible del agua. Debido a la inestabilidad de los caudales y que el mismo puede bajar casi hasta anularse, se produce una falta de energía de la corriente requerida para socavar y mantener un cauce estable.

- Pilcomayo Inferior

Corresponde al recorrido de 210 Km. del río desde Salto Palmar hasta la desembocadura en el Río Paraguay, junto a Asunción, que se ubica a una cota aproximada de 60msnm sobre el nivel del mar. En las cercanías de Salto Palmar se forma nuevamente un nuevo cauce del Río Pilcomayo, estrecho y encajonado con una pendiente del 0.00008m/m. Fundamentalmente en este tramo el cauce es bien definido, por lo que no se producen desbordes laterales, los caudales son más estables y con un contenido de sedimentos mucho menor. En cuanto al régimen de precipitaciones debe mencionarse que en la zona del alto Pilcomayo la precipitación media es de 700mm al año, correspondiendo el 90 % de la misma al período Octubre-Marzo. En el Pilcomayo Inferior las precipitaciones son mayores que en la alta cuenca pero la mayor parte del agua no drena hacia el cauce principal sino que lo hace hacia cauces paralelos.

## 1.2 OBJETIVOS Y METAS DEL ESTUDIO

El perfil de proyecto se aborda con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca del río Pilcomayo y de su entorno medioambiental. Para ello se toma como objetivo central la

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

mitigación de problemas de regulación y escasez de agua, en periodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo.

Para alcanzar dicho objetivo principal se prevé cumplimentar una serie de metas que se relacionan directamente con las actividades a desarrollar para la elaboración del perfil. Tales metas son las que se enumeran a continuación;

- Caracterización general del medio físico donde se realizarán las intervenciones
- Descripción topográfica del área de intervención
- Descripción de la dinámica hídrica y procesos hidrológicos
- Descripción de principales aspectos geológicos y geomorfológicos del área de intervención
- Identificación de sectores a intervenir como resultado del contraste entre la oferta hídrica, la demanda y las particularidades geomorfológicas que se presentan.
- Descripción técnica y económica de propuestas para la regulación y provisión de agua

El perfil de proyecto, como tal, ayuda a asegurar la comprensión de las implicaciones de las propuestas de solución, en términos de inversión, factibilidad técnica, y escala de las operaciones. Evita que se desperdicien esfuerzos en la preparación detallada de proyectos incoherentes, que carecen del apoyo desde los organismos y grupos de participación.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **2 RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES**

En esta sección se presenta una recopilación de la información básica y estudios antecedentes disponibles y pertinentes al perfil de proyecto.

Dicha recopilación abarca aspectos de hidrología superficial, sedimentología, hidrogeomorfología etc. Se analiza particularmente la siguiente información:

- Caracterización de procesos hidrológicos anuales e interanuales, identificando procesos medios máximos y medios mínimos, áreas de afectación, etc.
- Valoración cuantitativa y duración de los periodos de caudales máximos y mínimos.
- Determinación de curvas probabilísticas de excedencias para distintos caudales líquidos
- Caracterización de crecidas máximas del área de estudio.
- Identificación de procesos de erosión y sedimentación intensos.
- Áreas inundadas y migración de cauces fluviales.
- Inestabilidad general y escenarios de repetición de eventos a corto, mediano y largo plazo.
- Consideraciones acerca de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo asociados a estas circunstancias (infraestructura, servicios, población).
- Infraestructura de regulación existente y proyectada para el control y regulación de los excedentes hídricos generados por la cuenca.

La información recopilada es sistematizada y ordenada de forma tal de contar con un claro panorama del alcance, consistencia y utilidad de la misma. Su análisis crítico permite inferir a cerca de las necesidades o no de ser ampliada y complementada, lo cual en definitiva permitirá conocer al sistema hídrico, el estado y efecto tanto de las obras existentes como las previstas.

Los puntos siguientes presentan los estudios y/o documentos analizados, a través de un resumen respecto de sus objetivos, contenidos y conclusiones principales.

### **2.1 PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRADA Y PLAN MAESTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO. FUENTE: COMISIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA, ENERO 1996.**

El informe expone los resultados obtenidos tras realizar una misión en la cuenca baja con el fin de plantear soluciones al problema de la correcta división de caudales entre Argentina y Paraguay; y dar recomendaciones respecto a las obras civiles a plantear.

### **2.2 PROYECTO DEL SISTEMA DISTRIBUIDOR DE AGUAS Y ATENUADOR DEL RETROCESO DEL CAUCE DEL RÍO PILCOMAYO. AÑO 1997**

En el documento se plantea el proyecto de las obras de control para la correcta distribución de caudales del río Pilcomayo entre Argentina y Paraguay.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### **2.3 PROYECTO DE EMERGENCIA DE INUNDACIONES EL NIÑO, CONVENIO BIRF 4273-AR-DEFENSAS EN EL RÍO PILCOMAYO. FUENTE: ANDINA CONSULTORA, AÑO 2000**

Proyecto de Defensas de márgenes del Río Pilcomayo, en el Departamento Rivadavia (Provincia de Salta), a fin de proteger zonas urbanizadas y obras de infraestructura correspondientes a los siguientes sectores: Localidades de Hito I (zona fronteriza con la República de Bolivia), Localidades de Santa María, Localidad de San Martín y de Las Vertientes ubicada en la zona de Puerto La Paz.

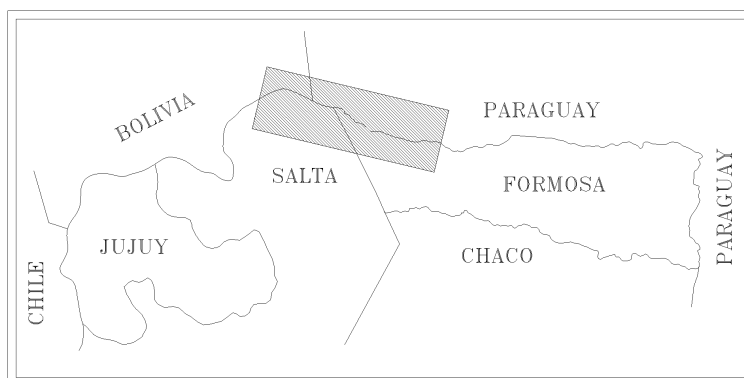
Los documentos disponibles abarcan pliegos para la licitación de la construcción de las obras, análisis de precios cómputos y presupuestos además de curva de inversión.

Las defensas en sí, consisten en terraplenes conformados con suelos del mismo lugar.

### **2.4 RELEVAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DEL RÍO PILCOMAYO EN LA ZONA DE DERIVACIÓN Y TAPONAMIENTO. FUENTE: MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA. AÑO 2001**

Mapa Topográfico del río Pilcomayo desde Hito 1 hasta la población El Quebracho. En el tramo medido se trazó una planimetría y perfiles transversales a cauces del río.

Además se dispone de la red geodésica de apoyo empleada, para el levantamiento.



**Figura 3 Sector involucrado**

### **2.5 PROYECTO EJECUTIVO RUTA PROVINCIAL Nº 28 - TRAMO: EMPALME R.N.Nº 81 (LAS LOMITAS) - EMPALME R.N.Nº 86 (POSTA CAMBIO ZALAZAR). FUENTE: AC&A INGENIEROS ECONOMISTAS PLANIFICADORES.**

El documento fue preparado para un posterior estudio del comportamiento de las obras hidráulicas y vial de la Ruta Provincial Nº 28.

Sus contenidos se concentran en un análisis estadístico de las siguientes variables:

- Caudales medios, máximos y mínimos mensuales, de la Estación La Paz que presenta registros de aforos sólidos y líquidos continuos desde el año 1960.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

- Valores extremos, para el período 1960-61 a 2006-07, con el objeto de determinar los caudales máximos que pueden producirse en la sección correspondiente a la Estación La Paz y con qué frecuencia lo harán.
- Precipitación media de la serie 1981-1990 en estación Las Lomitas
- Precipitación media máxima y mínima en Estación Misión La Paz para el periodo 1964-2008
- Alturas media diarias de la estación Misión La Paz en el período que va desde el 01/09/1964 hasta el 30/04/2008
- Análisis de la crecida 2005/2006 y la probabilidad de ocurrencia de un evento similar.
- Derrames mensuales y anuales ( $\text{Hm}^3$ ) – Río Pilcomayo – Estación Misión La Paz 1960 a 2007

## **2.6 MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO – MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO. FUENTE: ING. EMMANUEL DAVAL, MAYO 2004.**

Se trata de una misión que se desarrolló en toda la cuenca a los fines de profundizar los conocimientos sobre las características hidrológicas y ambientales de la cuenca, para proponer sitios y equipos de monitoreo. Además realiza los TDR para la generación de futuros modelos de simulación de la cuenca.

Se dispone tablas de síntesis de la información hidrometeorológica existente (anexo 3 del informe).

## **2.7 PROYECTO PILOTO DEMOSTRATIVO PILCOMAYO: CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN Y EROSIÓN. FUENTE: AQUILES ARCE LAURA, JULIO 2005**

Se expone la problemática de contaminación que sufre el Río Pilcomayo, a causa del vertido de efluentes de minas, en la cuenca alta, y la erosión en la cuenca baja, con el fin de proponer medidas de mitigación a estos fenómenos.

## **2.8 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO AGUAS ABAJO DE IBIBOBO/BOLIVIA. FUENTE: EVARSA, AÑO: 2006**

El objetivo general del estudio fue comprender el comportamiento hidrológico e hidráulico en la cuenca baja del Río Pilcomayo. Por otra parte se persiguieron como objetivos específicos analizar y evaluar los componentes del ciclo hidrológico y de su interacción y distribución en tiempo y espacio y mejorar la resolución temporal del balance hídrico regional.

Sintéticamente las tareas específicas realizadas y cuyos resultados se vuelcan en el informe, incluyeron:

- Inventario y sistematización de la información disponible

Se detectaron dificultades para conseguir datos confiables para los objetivos del estudio. La primera limitación es la escasez y deficiencia de estaciones, la segunda es la restricción en la extensión temporal

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

y la tercera es la escasa confiabilidad en los procesos de medición y registro. Por esa razón se propuso utilizar para el relleno de los datos medidos la información de la base a datos de Climate Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia. El análisis de consistencia de esta información comparada con las mediciones es aceptable y posee una cobertura areal homogénea y una extensión temporal que permite el estudio de tendencias de largo plazo.

- Análisis de la evolución hidrogeomorfológica de la región.

La cuenca Baja presenta un paisaje elaborado por un torrente desarrollado durante las fases secas de fines del Terciario y del Cuartario, que en las fases húmedas adquirió, por partes, el carácter fluvial. Se destaca la susceptibilidad a la acción antrópica, ya que la remoción de la vegetación acelera el retroceso de las redes dendríticas y la captura de antiguos cursos abandonados. Se identificaron zonas hidrológica y geomorfológicamente homogéneas a los fines del cálculo del balance hídrico.

- Análisis de la interrelación entre aguas superficiales y aguas subterráneas

Para la interrelación aguas superficiales – aguas subterráneas se plantea la distinción de dos tipos de flujos subterráneos con distinta influencia en el balance hídrico a través de manifestaciones de recarga y descarga: los locales y los regionales. El flujo subterráneo local está referido a las unidades más modernas (acuífero freático) y está afectado por las variaciones morfológicas de la llanura.

El área de influencia del Río Pilcomayo (hasta el punto de taponamiento) y los conos de deyección (Ibibobo), constituyen áreas de recarga a partir del agua superficial que incluyen tanto a los niveles acuíferos someros como profundos. En los sectores no influenciados por el río se localizan lagunas, arroyos temporarios y paleocauces que pueden generar una recarga local en el sistema subterráneo. En los sectores intermedios, los niveles freáticos se encuentran en una posición más somera, reconociéndose cuerpos de agua que representan a zonas de descarga local del escurrimiento subterráneo menos profundo. En el sistema de riachos y Río Pilcomayo se produce descarga local de agua subterránea.

El sistema de flujo regional se refiere a los acuíferos profundos (Terciario superior). La recarga fundamental ocurre a partir del lecho del Río Pilcomayo y de cauces que descienden en los conos de deyección. En los sectores intermedios puede existir una descarga localizada en las zonas deprimidas en que se desarrollan humedales de aguas salobres o saladas. En los sectores de riachos y en el Pilcomayo inferior se produce una descarga regional en forma difusa y o través del aporte de agua a los cuerpos de agua. Entre las áreas de recarga y descarga se puede definir un sector de conducción, en el cual pueden existir aportes verticales ascendentes o descendentes que pueden considerarse de una magnitud menor.

- Síntesis de usos consuntivos del agua y obras hidráulicas

Se hace referencia a obras de toma que llevan a la práctica la división de cupos entre Argentina y Paraguay. Además se citan canalizaciones varias que toman agua desde bañados para sumarlos a cauces de Ricachos como El Porteño y He He. Estos mismos ríos tienen previstas obras de regulación y almacenamiento.

También se mencionan obras de canalización y defensa en la cuenca del río Montelindo.

En base a dotaciones para cada tipo de uso e información censal u obtenida en campaña se aproximaron volúmenes de consumo para cada uso en Argentina.

- Estudio de escurrimientos superficiales

En cuanto a la cuantificación de los escurrimientos superficiales se cuenta con información suficiente y consistente para evaluar las entradas desde la cuenca alta. No ocurre lo mismo con los valores de salida hacia el Río Paraguay, por cuanto estos son dispersos y no existen registros continuos de la mayoría de los riachos, lo mismo se puede afirmar respecto a los desplazamientos de masas de agua en la parte interna de la cuenca.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Se presenta un estudio de caudales medios máximos y mínimos mensuales en las siguientes estaciones y en los periodos que se indican a continuación;

- Río Pilcomayo - Misión La Paz: 1960-2004.
- Río Pilcomayo - Fortín Nuevo Pilcomayo: 1950-1966.
- Río Caraparí en Puente Carretero: 1941-1961
- Construcción del Modelo de balance hídrico para el periodo 1961-2000

El modelo configura el sistema como un conjunto de áreas hidráulicamente interconectadas. A partir de esta concepción, la simulación se realizó en dos etapas: a) balance hídrico por zonas homogéneas y b) escurrimiento eventual entre dichas zonas. Se contemplaron además los derrames del Río Pilcomayo que han variado en el tiempo localizándose progresivamente entre la zona del Estero Patiño y María Cristina.

- Conclusiones
  - Análisis decádico: puede notarse los ciclos húmedos y secos interdecádicos. En este aspecto, si se considera el período 1901 – 2000 es dable destacar los períodos de gran déficit correspondientes a la década del 40 y de principio de los años 20 y los períodos de exceso coincidentes con mediados y fin de la década del 20. A su vez para el período real del balance se destacan los períodos de excesos que se produce a partir de la década del 80.
  - Estas cuestiones, son especialmente notables, en la cuenca alta y se ven algo amortiguadas en la cuenca media e inferior donde tienen influencia los derrames del río Pilcomayo.
- Análisis Mensual: para cada zona sobre la cual se calculó el balance se presenta la variación del almacenamiento superficial, almacenamiento subterráneo y escurrimiento.

## **2.9 ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA DE LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO. FUENTE: HALCROW – SERMAN & ASOCIADOS, AÑO: 2007**

Este estudio abarca la toda la superficie de la cuenca del Río Pilcomayo y consiste básicamente en una compilación de información y conclusiones presentadas gráficamente en mapas de la cuenca.

La documentación disponible consiste en sesenta (60) mapas temáticos y cinco (5) informes que sustentan o explican el proceso de elaboración y orden de los datos que se presenta en los mapas.

Los temas representados gráficamente en este antecedente son;

- TOPOGRAFÍA
  - Mapa de perfiles regionales del terreno
  - Mapa de curvas de nivel
  - Modelo digital del terreno, Elevaciones
  - Mapa Base Físico Político
- DEMOGRAFÍA

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

- Mapa de densidad de población indígena
- Mapa de densidad de población rural
- Mapa de población y localización de comunidades indígenas
- Mapa de densidad de población total
- CLIMA Y BALANCE HÍDRICO
  - Mapa de Balance Hídrico
  - Mapa de Isohietas medias anuales periodo 1970-2000
  - Mapa de caracterización climática
  - Mapa de Isotermas Medias Anuales Periodo 1970-2000
  - Mapa de Red Hidrográfica Jerarquizada
- HIDROGRAFIA
  - Mapa de subcuencas
  - Mapa de Isopiezas de agua subterránea en la cuenca baja
- SUELO
  - Mapa de Unidades de suelos
  - Mapa de Aptitud de Suelos
  - Mapa de cobertura de suelo
- CALIDAD DE LAS AGUAS
  - Mapa de conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea
  - Mapa de análisis comparativo de resultados de campañas varias de aguas superficiales
  - Mapa de Índices de calidad de agua superficial
  - Mapa de índices de calidad de agua superficial RAS y SATOPI
- PROBLEMÁTICAS
  - Mosaico de Problemáticas
  - Mapa de síntesis de problemáticas
  - Mapa de peligro de desertificación
  - Mapa de Afectación por inundación
  - Mapa de peligrosidad potencial de salinización
  - Mapa de retroceso del cauce del río Pilcomayo

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

- Mapa de Deforestación
- Mapa de peligro geológico, remoción en masa
- Mapa de peligro geológico, erosión fluvial, y acumulación fluvial
- MEDIO NATURAL
  - Mapa de Áreas Naturales Protegidas
  - Mapa de Biodiversidad
  - Mapa de riqueza de fauna
  - Mapa de Humedales
  - Mosaico de degradación del recurso pesquero
  - Mapa de tipo de humedales
  - Mapa de unidades de paisaje
  - Mapa de unidades de vegetación
  - Mapa riqueza taxonómica de peces
  - Mapa de situación de tierras aborígenes
- USOS DEL AGUA
  - Mapa de demanda de agua para uso agropecuario, industrial y consumo humano
- GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA
  - Figura de Provincias Geológicas
  - Mapa de unidades geológicas
  - Mapa de unidades Geomorfológicas
  - Mapa geomorfológico en zona de canales
  - Mapa de recarga y descarga. Ubicación de cortes regionales
  - Mapa de unidades hidrogeológicas
- ECONOMIA E INFRAESTRUCTURA
  - Mapa de índices de desarrollo humano
  - Mapa de infraestructura y equipamiento existente
  - Mapa de obras hidráulicas significativas
  - Mapa de producto bruto geográfico
  - Mapa de sistemas productivos y uso actual del suelo

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **2.10 SERIE DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS DE ESTACIÓN LA PAZ (0631) AÑO 1941-2001. FUENTE EVARSA**

Se dispone de la serie de caudales medios diarios para el periodo 1941-2001 en formato de digital

## **2.11 HIDROMETRÍA EN ESTACIÓN LA PAZ DESDE 01/09/1964 - HASTA 31/05/2002. FUENTE: EVARSA**

Se dispone de la serie de niveles diarios para el periodo 1964-2002 en formato de digital.

## **2.12 PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRADA Y PLAN MAESTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO-FUENTE: DR. JUAN PEDRO MARTÍN VIDE.**

El objetivo que se persigue, a través de tres informes que se exponen, es resolver el conflicto de repartición de caudales, del Río Pilcomayo, entre Argentina y Paraguay. Que se ve afectada por los fenómenos de entarquinamiento que se generan sobre el cauce de dicho río.

### **2.12.1 INFORME Nº 1. AGOSTO 2005**

Se describen las principales características de la cuenca baja asociadas a geomorfología, donde se detallan posibles puntos críticos por donde podría existir una rotura del cauce y consecuente desvío del río. También se describen aspectos de hidrología y transporte de sedimentos, incluyendo ecuaciones empíricas que describen el comportamiento de este último.

### **2.12.2 INFORME Nº 2. MARZO 2006**

Se explica la problemática del río Pilcomayo en la cuenca baja, describiendo su estado actual, con fotografías de vuelos que se realizaron sobre la misma, y esquemas de perfiles transversales.

Además, se analiza la obra El Pantalón y brinda ideas de posibles soluciones al conflicto de la equitativa división de caudales entre Paraguay y Argentina. Entre ellas se sugiere el mantenimiento del cauce único del río, división de caudales con un dique transversal y el corte de meandros.

### **2.12.3 INFORME Nº 3. DICIEMBRE 2006**

En este último informe el objetivo es avanzar en el esquema conceptual de la obra del dique distribuidor y en el análisis de su factibilidad. Que comprende temas tales como, tipo de obra y su cálculo hidráulico, implicaciones ambientales y remedios, gestión del sedimento, compatibilidad de una escala de peces, entre otros.

La obra consiste, en definitiva, en la división de aguas con un dique de muy poca altura (como el de la ruta 28 en la localidad de Las Lomitas, Formosa) cotas y longitudes predeterminadas a modo de dos vertederos de pared gruesa, en uno y otro país, y asegurando niveles parecidos por medio de un canal que comunique los dos bañados (a modo de vasos comunicantes).

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

**2.13 DELIMITACIÓN DEL BAÑADO LA ESTRELLA.  
FUENTE: INA (INSTITUTO NACIONAL DEL  
AGUA), NOVIEMBRE 2008.**

Este informe describe la metodología y los criterios utilizados en la elaboración de los productos que permitió realizar una demarcación cartográfica de una línea de inundación que formará parte de la definición de la línea de ribera. También se indican algunos comentarios sobre los problemas presentados en las aplicaciones de las técnicas empleadas, así como las limitaciones y alcances obtenidos.

Se analizaron las estaciones pluviométricas de Fortín Soledad, donde se graficaron los hietogramas de precipitación anual y media mensual de las series históricas, de 1979-2008, y las diarias de 2006/2008. Se realizó un balance seriado, por el método de Thornthwhite, para los años 2006 y 2007 en la estación pluviométrica Fortín Soledad ubicada dentro de la zona de estudio, con información de temperaturas medias mensuales de la estación Las Lomitas. Las curvas limnigráficas de las estaciones hidrométricas Misión La Paz, Fortín Soledad, Punta del Agua y ruta provincial N° 28 para la serie histórica común. Además se cuenta con un sistema completo de mapas de frecuencias de la zona de estudio.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 3 PLANTEO DE NECESIDADES Y PROBLEMAS

El propósito de esta sección es generar un panorama global de las problemáticas identificadas en la cuenca baja, las cuales permitirán decidir en etapas subsiguientes la dirección que tomará la identificación de sitios de intervención y medidas estructurales a proponer en ellas.

Algunas de las variables que dificultan la disponibilidad de agua merecen especial y particular atención, por lo tanto serán analizadas con la profundidad necesaria una vez identificados los sitios de intervención. Este es el caso de fenómenos de retroceso del cauce del Pilcomayo, y calidad de las aguas.

Los problemas de escasez y restricciones para el aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Pilcomayo son abordados en el Estudio de Base Ambiental y Socioeconómico (Halcrow-2007).

En el Estudio de Base Ambiental y Socioeconómico (Halcrow-2007) se identifica a la climatología y geología como los principales factores de stress o condicionantes del aprovechamiento del recurso.

Los recursos hídricos de la cuenca del Pilcomayo imponen en la actualidad una limitación en el desarrollo productivo de la región además de actuar negativamente en la calidad de vida de sus habitantes. Dicha limitación puede manifestarse ya sea a través de la escasez natural del recurso o bien por una restricción relacionada con la falta de infraestructura para acceder al mismo por parte de la población. La escasez natural, puede referirse tanto a una falta de cantidad suficiente de agua (para abastecer una demanda de agua en un momento dado del año) como así también a una calidad inadecuada de la misma con relación a la aptitud necesaria para los usos requeridos.

La cuenca del Río Pilcomayo se enmarca en un contexto regional dominado por el déficit hídrico con una muy marcada estacionalidad en los meses de verano. A esto debe sumarse el hecho del retroceso del curso del Pilcomayo que suma a la escasez del recurso una componente de aleatoriedad muy significativa que dificulta cualquier proceso de planificación territorial orientado a favorecer los sistemas productivos regionales.

En todos los estudios antecedentes se relaciona a la escasez de recursos hídricos como una limitación severa al desarrollo económico productivo de la región, tanto en la parte alta como baja de la cuenca.

Particularmente para la cuenca baja, uno de sus principales problemas identificados, es la aleatoriedad en la disponibilidad de agua entre Argentina y Paraguay (como consecuencia del taponamiento y retroceso del río Pilcomayo).

Las causales de la problemática detectada se pueden resumir en los siguientes ítems, que dificultan la accesibilidad al recurso por parte de las poblaciones rurales e indígenas, y productores regionales;

- Déficit hídrico regional
- Retroceso del río Pilcomayo
- Elevada tasa de sedimentos
- Variabilidad de caudales
- Escasez de agua subterránea
- Contaminación de fuentes de agua

En la actualidad, existe una incipiente infraestructura que complementa la red hídrica superficial a través de canalizaciones, almacenamientos y explotación del subsuelo, la cual es insuficiente para la satisfacción de las demandas.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 3.1 DÉFICIT HÍDRICO REGIONAL

Las conclusiones respecto del déficit hídrico regional surgen del análisis de los balances hídricos efectuados en los documentos citados como antecedentes. El periodo analizado y sobre el cual se extraen las mismas, corresponde al lapso 1970-2000.

Los resultados del balance hídrico que acusa sectores con déficit hídricos se logran luego del análisis de la climatología. Respecto de ésta se exponen a continuación las principales características.

Lluvias más que suficientes, resultando el balance hídrico positivo en las tierras bajas alrededor de Asunción y Formosa. Verano cálido, invierno templado. Lluvias repartidas durante todo el año, valores inferiores a 100mm por mes entre junio y septiembre y mayores el resto del año. Los máximos se producen en general en marzo.

Concentración estival de las lluvias a medida que se avanza hacia el Oeste con disminución de los valores absolutos. En Villamontes del total de 849mm de precipitación promedio anual, 100mm caen en el semestre Mayo-Octubre y 749 entre Noviembre - Abril.

La cuenca tiene un carácter "monzónico" debido a su comportamiento estacional, es decir existen presiones menores en verano que en invierno y diferencias marcadas entre la precipitación de verano (concentración > 90%) respecto al invierno.

La definición de un índice representativo de la deficiencia y excedencia climática de agua está relacionada con la precipitación y la evapotranspiración de referencia en la cuenca. Por ello se propone la utilización de la relación de UNEP (1997) para clasificar climáticamente la cuenca.

**Tabla 1 Índices de clasificación climática (UNEP)**

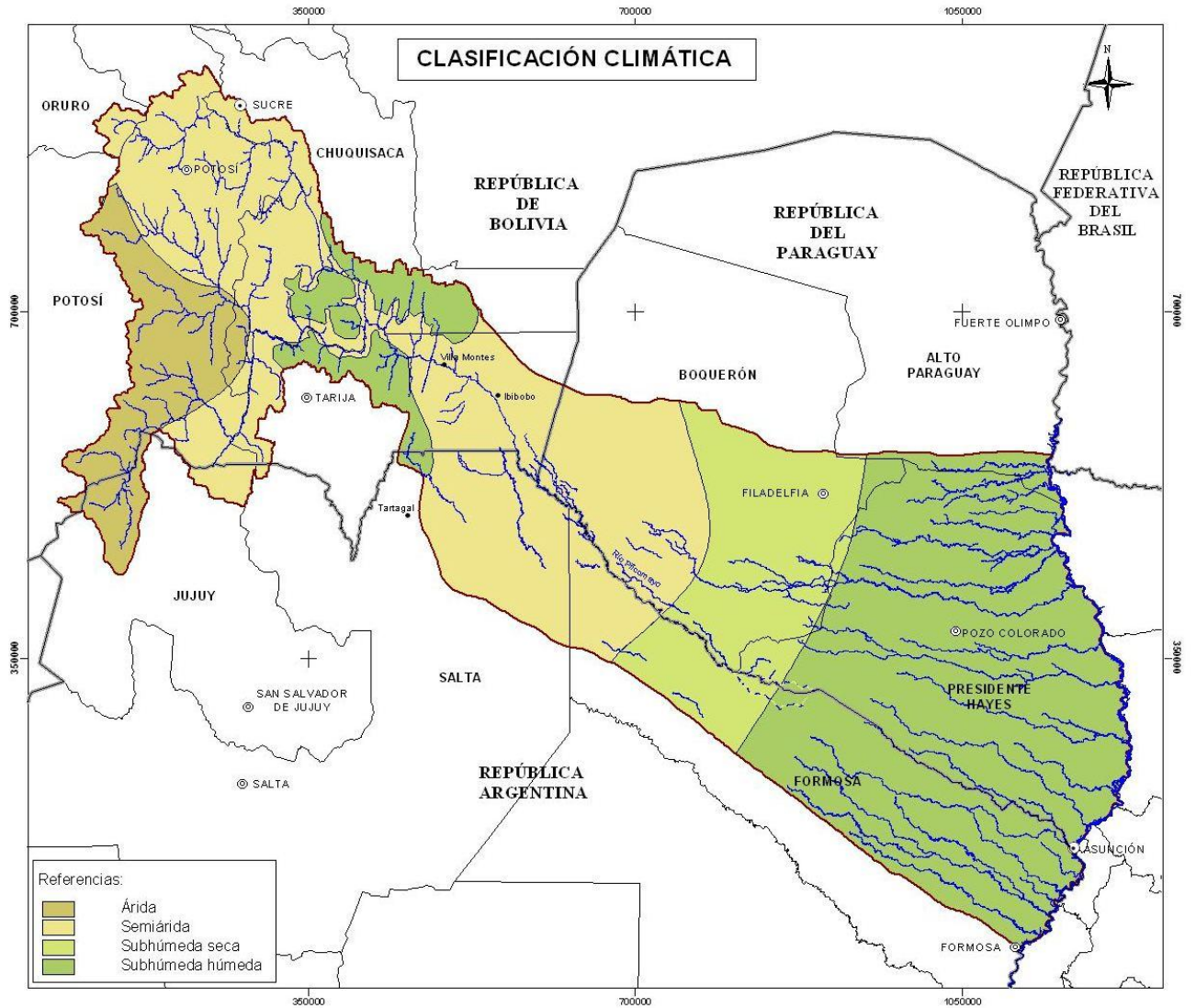
Zonas	Pm/ET0m
Hiperáridas	< 0,05
Áridas	0,05 a < 0,20
Semiáridas	0,20 a < 0,50
Subhúmedas secas	0,50 a < 0,65
Subhúmedas húmedas	0,65 a 1
Húmedas	> 1

Donde; Pm: precipitación media; ET0m: evapotranspiración de referencia media del período.

De acuerdo a esta tipificación la cuenca baja del río Pilcomayo resulta con índices decrecientes que parten de subhúmedo húmedo en Formosa, pasan por subhúmedo seco y llegan a semiárido en Misión La Paz.

Los análisis de tendencia realizados indican para la cuenca baja que el 97% de las estaciones analizadas da un crecimiento de las precipitaciones en los últimos 30 años (Periodo analizado 1970-2000). En el 54% de los casos el aumento es importante desde el punto de vista estadístico. Solo el 2% de las estaciones tiene tendencia con valores de precipitación decrecientes en el tiempo. Las características de las tendencias crecientes de la precipitación verificadas en las últimas décadas sugieren que la región se encuentra ante nuevas condiciones climáticas que necesitan ser tomadas en cuenta para el manejo y planificación de los recursos naturales.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 4 Mapa de clasificación climática. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007**

El déficit hídrico, también puede expresarse como la diferencia entre la evapotranspiración real y la potencial, el mapa de la Figura 5 siguiente representa la variación del índice de déficit para la cuenca.

En el área de estudio se tiene que la parte Occidental entre Misión la Paz y la Ruta provincial N° 28 sufre el mayor déficit hídrico, con una relación de 0.4 a 0.5 entre la evapotranspiración real y la potencial.

El mapa de déficit hídrico extremo indica curvas de permanencia de un déficit superior al 75%.

En el área de estudio el déficit mayor se da a la altura de Misión la Paz con un 45% de persistencia de un déficit mayor al 75%. En este sector la permeabilidad del suelo podría dar lugar a una mayor infiltración, pero en este caso las bajas precipitaciones son la consecuencia directa del déficit. El sector oriental de la cuenca baja, presenta déficit hídrico, aunque de mucha menor proporción.

# INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

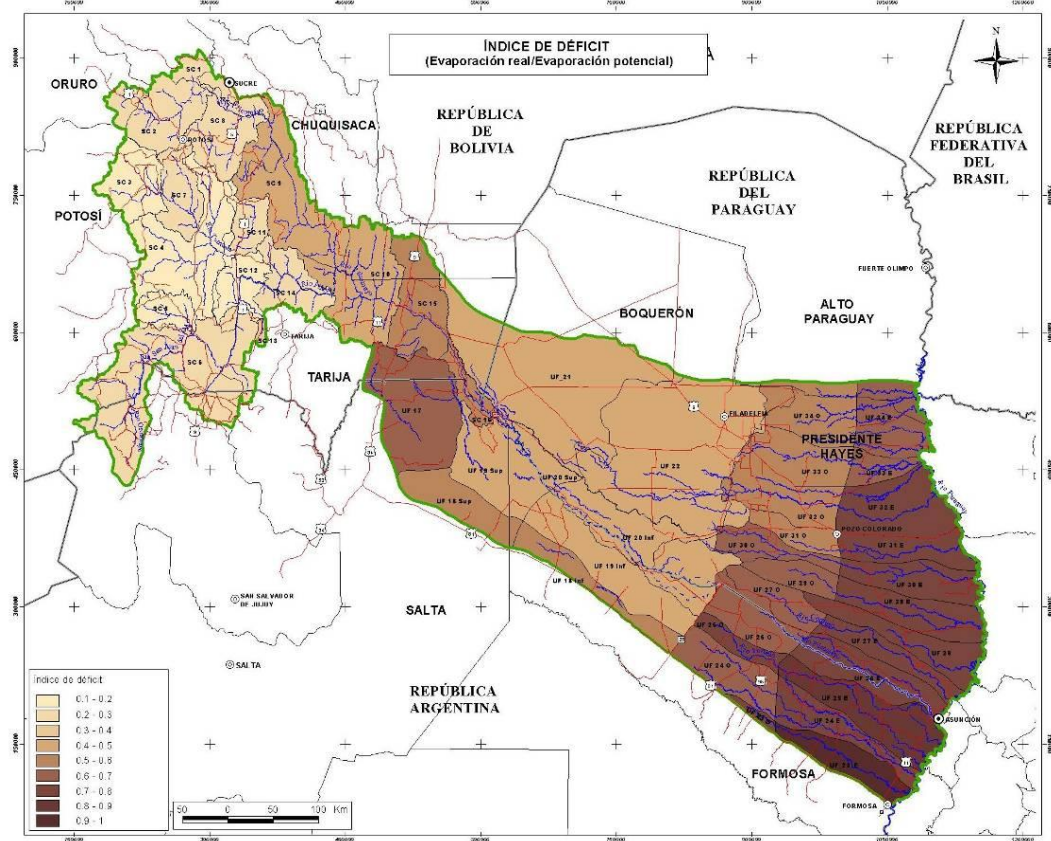


Figura 5 Mapa de déficit hídrico. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007

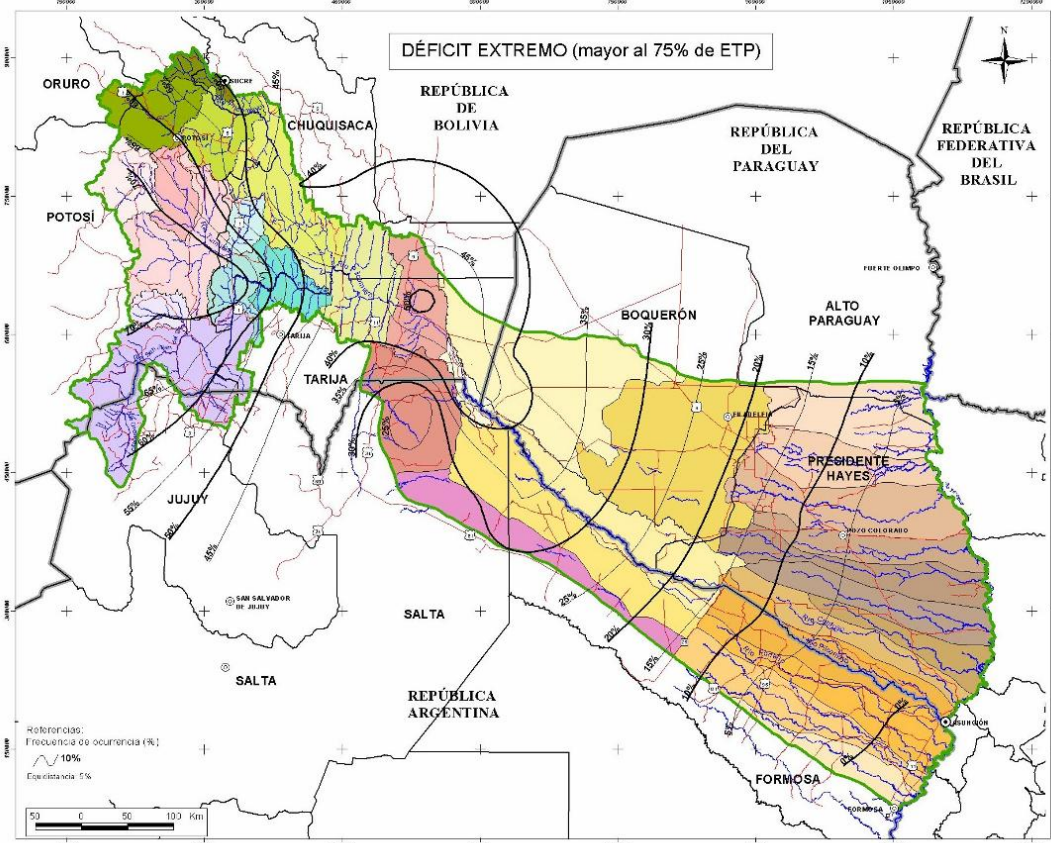


Figura 6 Mapa de déficit hídrico extremo. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 3.2 RETROCESO DEL RIO PILCOMAYO

En la cuenca baja, el problema de la escasez se pone de manifiesto fundamentalmente como consecuencia del retroceso del río Pilcomayo (literalmente la pérdida del curso del río en una longitud de aproximadamente 200km en lo que va desde comienzos del siglo pasado a la actualidad) que impone condiciones totalmente aleatorias a la disponibilidad del recurso hídrico en territorio paraguayo y argentino. El retroceso del río no sólo causa trastornos desde el punto de vista de la disponibilidad de una oferta de agua sino que además ocasiona serios perjuicios a los ecosistemas terrestres y acuáticos que necesitan de la pulsatilidad y dinámica hídrica para ver garantizada su sustentabilidad y nivel de biodiversidad.

### 3.3 ELEVADA TASA DE SEDIMENTOS

La elevada tasa de sedimento que arrastra el río Pilcomayo no constituye una limitación en sí misma a la disponibilidad del recurso en cantidad o calidad. No obstante es un factor a tener en cuenta en el diseño de obras de captación y en la cuantificación de sus costos y necesidades de operación y mantenimiento asociados.

En secciones posteriores se realiza un análisis en mayor profundidad de este tema y su vinculación con las propuestas que se derivan del presente perfil de proyecto.

### 3.4 VARIABILIDAD DE CAUDALES

La estacionalidad que presenta la variación anual de caudales en la cuenca baja es menos marcada que la que se da en la cuenca alta, sin embargo la diferencia de caudales entre los periodos de verano e invierno dificulta la disponibilidad uniforme en el tiempo del recurso.

La siguiente figura ilustra en forma cualitativa la distribución del ingreso de agua entre ambos países entre 1991 y 2001, donde puede observarse que en los últimos años Argentina se vio favorecido con el ingreso del Pilcomayo durante la mayor parte del tiempo.

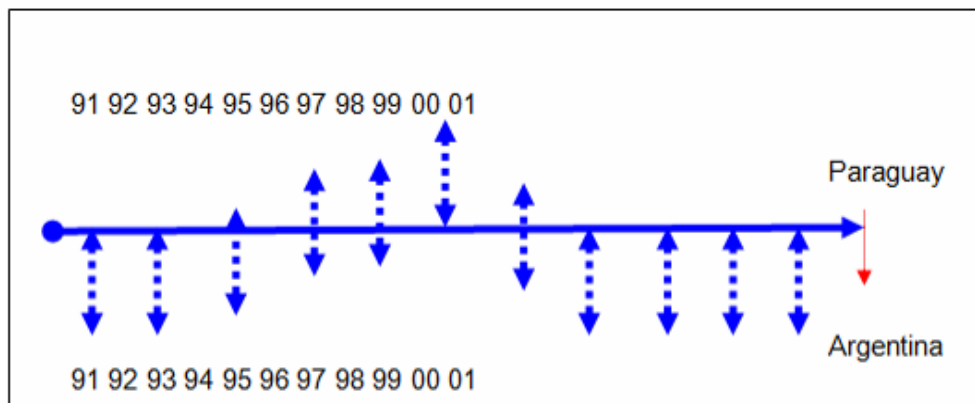


Figura 7 Variación temporal de la distribución de cupos de agua entre países. Fuente: Ingreso de aguas medias y bajas entre los años 1991 y 2001 (Fuente: Auditoría de Gestión a las instituciones públicas vinculadas con la problemática del río Pilcomayo, Dirección General de Control de la Gestión Ambiental, 2002)

### 3.5 ESCASEZ DE AGUA SUBTERRÁNEA

En la cuenca baja la disponibilidad de oferta hídrica subterránea es escasa aunque en este caso está condicionada por su elevado tenor salino, producto de la baja velocidad del escurrimiento y el elevado tiempo de contacto del agua con los minerales del subsuelo de la región chaqueña. La oferta hídrica más

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

importante está asociada con el acuífero Pilcomayo (asociado a la faja activa de este curso y recargado directamente de él), los acuíferos someros del Chaco Paraguayo montados sobre estratos más impermeables de los paleocauces y el acuífero terciario subandino, detectado en profundidad pero aún de desarrollo areal incierto. En todos los casos los rendimientos máximos esperados no superan los 10l/s.

### **3.6 CONTAMINACIÓN DE FUENTES DE AGUA**

A las limitaciones de cantidad también se suma una situación de calidad que amerita un cuidadoso análisis (contaminación del agua). En la cuenca alta existen numerosos focos de contaminación asociados con la actividad minera. En la cuenca baja se han detectado niveles de contaminación elevados de metales pesados en los cuerpos de agua receptores de las aguas del Pilcomayo, producto de la deposición de los contaminantes transportados desde la cuenca alta. No obstante será imprescindible contar con datos de un futuro monitoreo continuo de concentraciones de contaminantes y de caudales para realizar un adecuado balance de carga contaminante en distintos puntos de la cuenca.

La demanda para consumo humano es en general satisfecha mediante aportes externos a la cuenca.

### **3.7 RIESGO DE INUNDACIONES**

En el Mapa de Riesgo por inundaciones preparado por Halcrow y Serman & Asociados; se advierte la existencia de sectores bien definidos con riesgo de inundaciones frecuentes.

Entre ellos se destacan el tramo aguas arriba del comienzo del Bañado de La Estrella, y al Este las planicies de los arroyos y riachos Pilagá, Monte Lindo y Tatú Piré.

Por la Ruta 54 se accede al noroeste se accede a varias poblaciones afectadas por inundaciones entre las cuales se pueden mencionar Santa Victoria de Este e Hito 1. En estos lugares se han construido obras de defensas varias que consisten en espigones y terraplenes de contención. Sin embargo dada la elevada dinámica fluvial del río Pilcomayo, con importantes procesos de depositación, erosión y migración del cauce, se presentan constantes modificaciones en las áreas potencialmente inundables, siendo en muchos de los casos necesarias importantes inversiones en infraestructura de protección y mitigación contra inundaciones por desbordes del río.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

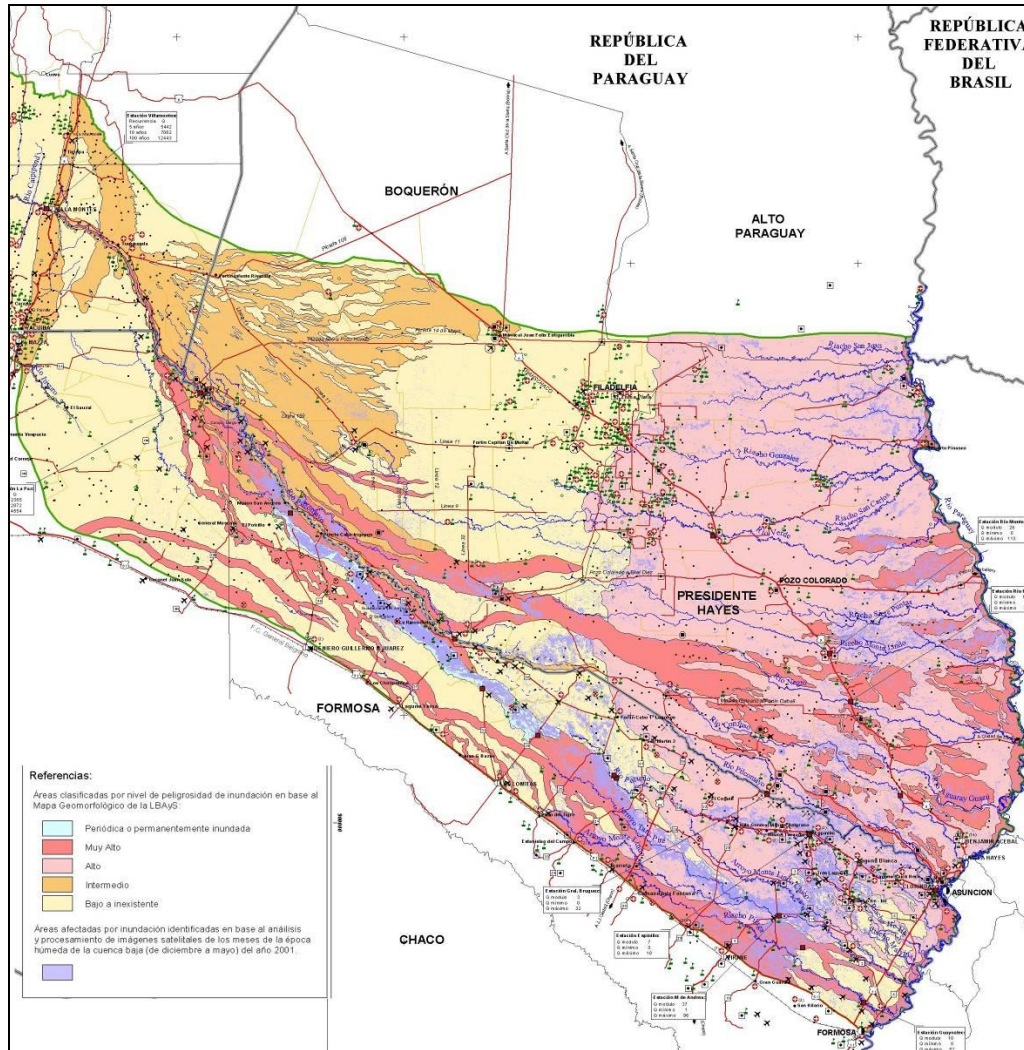


Figura 8 Afectaciones por Inundación en la Cuenca Baja

### 3.8 CONCLUSIONES

Hasta aquí se han identificado los fenómenos que interactúan en la cuenca definiendo la problemática de aprovechamiento del recurso hídrico. Dicha identificación, es de utilidad conforme a los objetivos y metas del presente perfil de proyecto, por cuanto permite delinear a nivel general la tipología de obras que deben considerarse como alternativas de solución.

De manera preliminar, se advierte que en adelante deben analizarse los siguientes tipos de obras;

- Obras de captación
- Obras de distribución
- Obras de almacenamiento
- Obras de defensa

Las obras de captación y almacenamiento son necesarias en los sectores donde se maximiza el déficit hídrico como consecuencia de la combinación de variables climáticas y meteorológicas. (Sector Occidental de la cuenca baja)

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Por las características de los acuíferos se requiere de extracciones de agua subterránea a grandes profundidades con los costos de bombeo que ello implica.

Las obras de distribución serán necesarias para complementar las de captación y/o almacenamiento, además de mejorar las condiciones a de aprovechamiento en sectores donde la disponibilidad del recurso es mayor y más uniforme temporalmente. (Sector más oriental)

La necesidad de obras de defensa queda explícita al interpretar el mapa de riesgos de inundación preparado en el Estudio de Base Ambiental y Socioeconómico (Halcrow-2007).

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 4 HIDROLOGIA, CARACTERIZACION DE LA OFERTA

### 4.1 INTRODUCCIÓN

En la presente sección se reúne la información disponible y de utilidad para la caracterización de la oferta hídrica en la cuenca baja del río Pilcomayo.

La información que se incluye es extraída de los documentos antecedentes citados anteriormente.

Luego, conforme al avance del perfil de proyecto, se realizará un análisis particular de la oferta correspondiente al área de influencia de las propuestas.

Se encontraron datos y análisis de precipitaciones correspondientes a estaciones en la cuenca baja en los siguientes antecedentes;

- Estudio De Base Ambiental Y Socioeconómica De La Cuenca Del río Pilcomayo. Fuente: Halcrow y Serman & asociados, año:2007
- Balance Hídrico De La Cuenca Del Río Pilcomayo Aguas Abajo De Ibibobo/Bolivia. Fuente: Evarsa, Año: 2006
- Proyecto Ejecutivo Ruta Provincial N° 28 – Tramo: Empalme R.N.N° 81 (Las Lomitas) – Empalme R.N.N° 86 (Posta Cambio Zalazar). Fuente: Ac&A Ingenieros Economistas Planificadores, Año: 2004

En los estudios antecedentes se advierten dificultades para conseguir datos confiables. La primera limitación es la escasez y deficiencia de estaciones, la segunda es la restricción en la extensión temporal, y la tercera es la escasa confiabilidad en los procesos de medición y registro. Por esa razón, en los documentos mencionados, se propuso utilizar para el relleno de los datos medidos la información de la base a datos de Climate Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia. El análisis de consistencia de esta información comparada con las mediciones es aceptable y posee una cobertura areal homogénea y una extensión temporal que permite el estudio de tendencias de largo plazo.

En cuanto a la cuantificación de los escurrimientos superficiales se cuenta con información suficiente y consistente para evaluar las entradas desde la cuenca alta. No ocurre lo mismo con los valores de salida hacia el Río Paraguay, por cuanto estos son dispersos y no existen registros continuos de la mayoría de los riachos, lo mismo se puede afirmar respecto a los desplazamientos de masas de agua en la parte interna de la cuenca.

A continuación se presenta la identificación de subcuencas y/o unidades funcionales según los antecedentes además de especificar para la zona de influencia del perfil del proyecto el orden de magnitud de escorrentías medias anuales en mm.

Luego se mencionan las estaciones pluviométricas instaladas en la cuenca baja y su situación actual, siendo escaso el número de estaciones activas. De los antecedentes se pueden extraer valores anuales o medias mensuales para las series con datos, pero no se dispone de los datos sin procesar o analizar hasta el momento.

Por último se recopilaron datos relativos a caudal y estaciones hidrométricas sobre el cauce del río Pilcomayo y otros cursos de menor jerarquía en la cuenca, presentándose también los análisis efectuados en los estudios antecedentes, respecto de variabilidad estacional y valores extremos.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 4.2 DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS Y ESCORRENTÍAS SUPERFICIALES MEDIAS ANUALES

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:

**Tabla 2 Superficies de subcuencas y unidades de funcionamiento**

Número	Código	Nombre Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>
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 Plicomayo	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

# INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

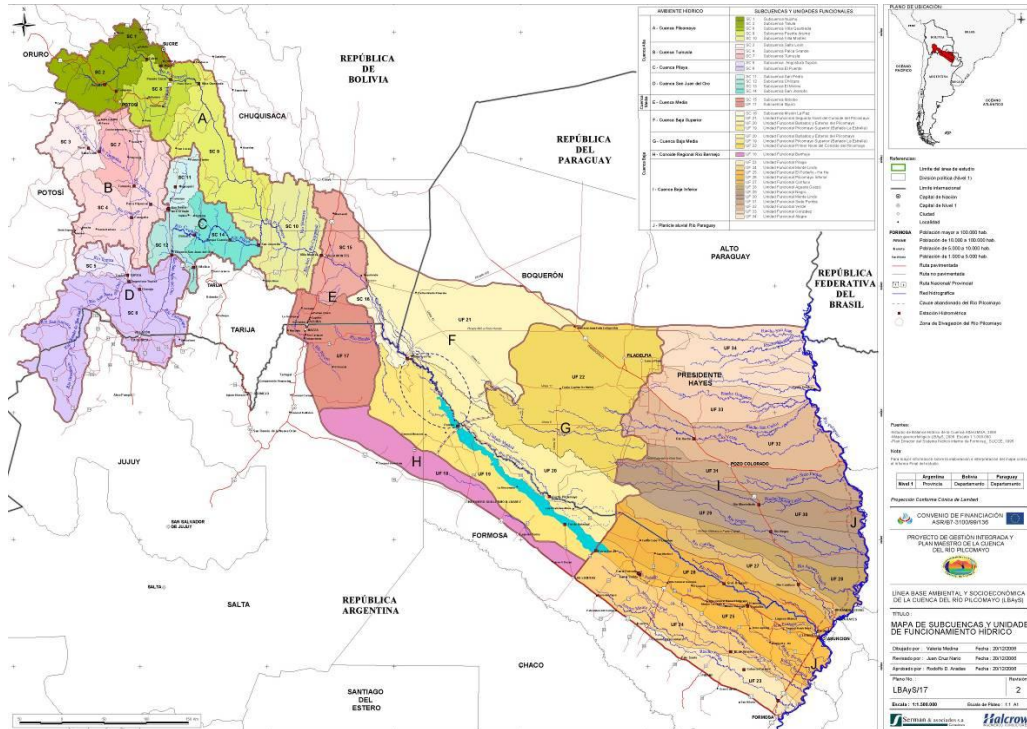


Figura 9 Mapa de subcuencas. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007

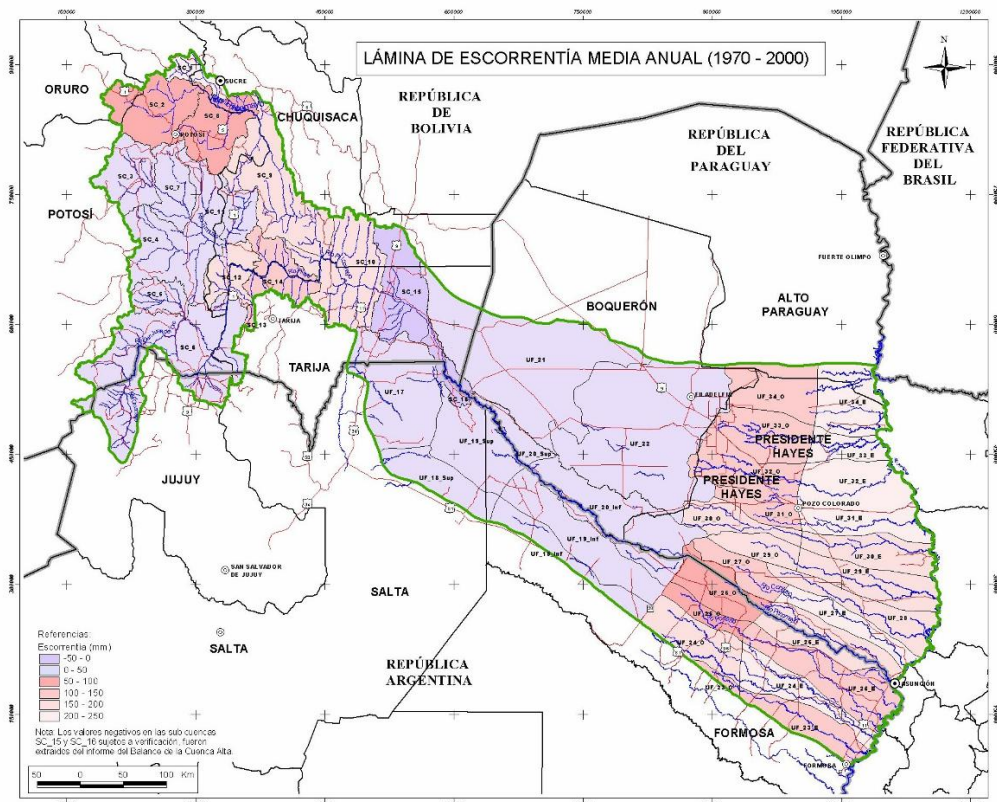


Figura 10 Mapa de escorrentías superficiales. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007

Como resultado del balance hídrico efectuado en el Estudio De Base Ambiental Y Socioeconómica De La Cuenca Del río Pilcomayo-Fuente: Halcrow y Serman & asociados, se presenta un mapa con el orden de magnitud de la escorrentía superficial para cada subcuenca o unidad funcional.

Aguas arriba desde las proximidades de Misión la Paz y al Oeste de la ruta provincial N° 28 se tiene una escorrentía media anual de hasta 50mm.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 4.3 PRECIPITACIONES

Se presenta la información existente a través de la cual se muestra la distribución espacial de las estaciones, a la cobertura temporal de las mismas y finalmente a su consistencia según los análisis efectuados en los antecedentes.

La longitud de las series es muy variable, existiendo numerosas estaciones con pocos años de registro y otras con numerosas interrupciones.

En la Tabla 3 se muestra la longitud de los registros de las distintas estaciones pluviométricas disponibles según EVARSA.

**Tabla 3 Estaciones en el área de estudio. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo aguas abajo de Ibibobo/Bolivia. EVARSA**

Nº	Estación	País	Provincia	Latitud			Longitud			Registros
				Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	Serie
1	Aparerey	A	Formosa	24	59	13	58	20	44	81-04
2	Buena Vista	A	Formosa	25	2	25	58	25	12	67-90 92-04
3	Clorinda	A	Formosa	25	16	45	57	42	45	
4	Colonia Aborígen	A	Formosa	25	20	42	59	37	27	
5	Colonia Pastoril	A	Formosa	25	41	21	58	34	15	67-03
6	El Chorro	A	Formosa	23	10	0	62	10	0	79-03
7	El Quebranto	A	Formosa	25	38	33	58	44	51	79-03
8	El Recreo	A	Formosa	25	2	7	59	17	49	79-04
9	Espinillo	A	Formosa	24	59	29	58	15	18	67-04
10	Fortín La Soledad	A	Formosa	24	8	29	60	41	53	79-03
11	Fortín Lugones	A	Formosa	24	17	32	59	49	1	67-04
12	General Belgrano	A	Formosa	24	57	37	59	4	9	67-03
13	General Güemes	A	Formosa	24	45	8	59	26	43	67-04
14	General Urquiza	A	Formosa	24	40	38	60	18	42	67-04
15	General Bruguez	P	Hayes	24	45	0	58	50	0	
16	Ingeniero Juárez	A	Formosa	23	53	0	61	52	0	67-03
17	Laguna Blanca	A	Formosa	25	7	34	58	15	36	67-04
18	Laguna Gallo	A	Formosa	25	18	35	58	45	45	79-00
19	Laguna Naick Neck	A	Formosa	25	13	14	58	6	54	67-03
20	Loma del Monte Lindo	A	Formosa	26	38	19	58	39	25	67-03
21	Loma Tacos	A	Formosa	25	30	15	59	27	34	
22	Mcal. Estigarribia	P	Boquerón	22	2	0	60	37	0	40-46 48-65 69-70 72-94
23	Misión La Paz	A	Formosa	22	25	0	62	20	0	65-01
24	Misión Tacaagle	A	Formosa	24	59	13	58	50	19	67-04
25	Mojón de Fierro	A	Formosa	26	2	2	58	3	0	79-03

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Nº	Estación	País	Provincia	Latitud			Longitud			Registros
				Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	Serie
26	Maestra Blanca Gómez	A	Formosa	25	5	34	59	44	30	79-88 90-03
27	Palma Sola	A	Formosa	25	14	11	57	59	24	67-04
28	Pilagás III	A	Formosa	25	29	26	59	1	4	79-03
29	Posta Cambio Salazar	A	Formosa	24	13	0	60	11	0	79 / 8503 71-75 77
30	Pozo Colorado	P	Pte. Hayes	23	27	0	58	52	0	80-90
31	Prats Gill	P	Boquerón	22	42	0	61	30	0	72-75 95-00
32	Riacho He-He	A	Formosa	25	22	17	58	16	48	67-03
33	Salvación	A	Formosa	25	14	20	58	57	35	
34	San Juan	A	Formosa	25	10	2	57	57	45	
35	San Martín I	A	Formosa	24	30	48	59	54	33	67-04
36	San Martín II	A	Formosa	24	27	5	59	39	49	68-04
37	Siete Palmas	A	Formosa	25	12	9	58	20	24	79-03
38	Suipacha	A	Formosa	24	58	0	58	27	0	67-03
39	Tres Lagunas	A	Formosa	25	15	8	58	27	0	67-04
40	Unión Escuela	A	Formosa	24	46	40	59	42	49	79-04
41	Newland	P	Boquerón							
42	Loma Plata	P	Boquerón							
43	Villa 213	A	Formosa							67-03
44	El Colorado	A	Formosa	26	18	36	59	22	12	67-04
45	Ibarreta	A	Formosa	25	12	36	59	51	36	67-04
46	Las Lomitas	A	Formosa	24	42	36	60	36	0	67-04
47	Estanislao del Campo	A	Formosa	25	3	0	60	5	24	67-04 37-39 41-46
48	Concepción	P	Concepción	23	25	0	57	18	0	55-58 60-70 72-98 00-01
50	Filadelfia	P	Boquerón	22	21	36	59	58	48	31-93
51	Ibibobo	B		21	32	17	62	59	39	76-77 / 92-95
52	Crevaux	B		21	49	10	62	54	59	94-97
53	Estancia El Azúcar	B		21	42	12	62	47	28	91-97
54	La Esperanza	B		21	40	31	62	41	20	94 / 9697
55	Pozo del Tigre	B		21	39	21	62	30	59	93-97
56	Carossi	B		21	52	48	62	35	32	95-97
57	Tuscal	B		22	12	33	62	40	9	93-94 / 96-97
58	Esmeralda	B		22	14	10	62	39	20	77-81
59	Las Palmas	P	Boquerón	21	43		59	33		98-05
60	Laguna Capitán	P	Boquerón	22	32		59	41		98-05
61	Campo León	P	Boquerón	22	33		59	32		98-05
62	Lolita	P	Boquerón	23	1		59	38		98-05
63	Paratodo	P	Boquerón	23	13		59	36		98-05
64	Blumengart	P	Boquerón	22	23		59	54		33-81

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

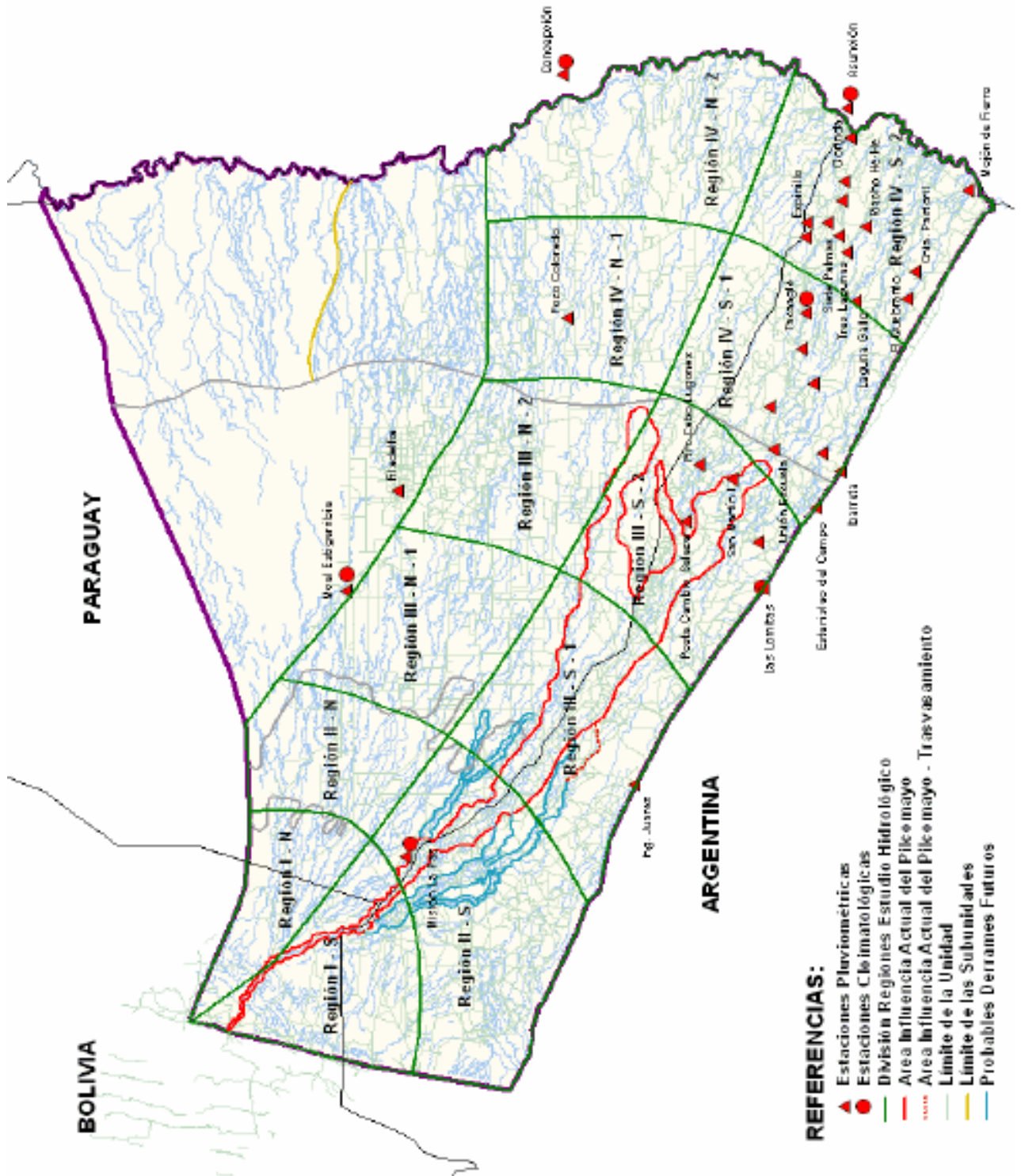


Figura 11 Ubicación de Estaciones Pluviométricas. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo aguas abajo de Ibibobo/Bolivia. EVARSA

#### 4.3.1 RELLENO DE SERIES

Como la información pluviométrica no es uniforme para la cuenca baja ni en espacio ni en tiempo, para calcular su Balance Hídrico, EVARSA plantea aplicar al estudio información proveniente de la base a datos de Climate Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia. La base de

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

datos dispone de información meteorológica incluyendo pluviometría, del periodo 1901 – 2000 en una grilla de 0,5 grados de longitud x 0,5 grados de latitud y es generada por un modelo desarrollado en esa Universidad.

Para realizar el análisis de consistencia de la información se utilizó básicamente el método de doble acumulación o doble masa, como una medida de la confiabilidad y representatividad de las mediciones, en el entendimiento que este método al menos detecta errores de tipo sistemático y de representatividad de cada estación respecto al área en que se encuentra ubicada.

Complementariamente se utilizaron otro tipo de descriptivos como parámetros estadísticos numéricos y, representación en diagrama de barras de las precipitaciones anuales y la comparación en diagramas de barras las precipitaciones medias mensuales, como indicadores de otros tipos de propiedades importantes a la hora de realizar un balance hídrico.

Se analizaron los siguientes estadísticos:

- Precipitación media anual en la estación (Pme) y Precipitación media anual en la Grilla de EAST ANGLIA (PmEA).
- Desvío estándar de la serie en la estación (Dse) y en la Grilla de EAST ANGLIA (DsEA).
- La diferencia entre la masa acumulada de ambas series, expresada en % (DMA).
- Porcentaje medio de diferencia en valor absoluto entre las series comparadas (IPAVA). Desvío estándar de esta diferencia (IDSAVA).

Además de comparaciones entre puestos pluviométricos se han realizado comparaciones entre las estaciones y los valores provenientes de la base de datos de EAST ANGLIA.

Los estadísticos analizados demuestran diferencias aceptables entre los datos observados y la Grilla de EAST ANGLIA, con una diferencia entre las masas acumuladas que no supera el 25%.

- Existe una marcada deficiencia en la cantidad de estaciones pluviométricas. Esto hace que un gran porcentaje de la cuenca carezca de información.
- Aun cuando se dispuso de información proveniente de estaciones pluviométricas, la extensión temporal de las series no resultó ser la adecuada para los objetivos de este estudio.
- Los datos disponibles de dichas estaciones pluviométricas poseen incertidumbres debidas a los procesos de medición y registro. Dichas incertidumbres son difíciles de cuantificar.
- Se demostró, mediante análisis estadísticos y a través del trazado de isohietas, que existen similitudes entre los datos de pluviómetros y los datos de la Grilla de EAST ANGLIA.
- La Grilla de EAST ANGLIA permite una cobertura areal homogénea y una extensión temporal adecuadas para analizar tendencias a largo plazo.

La Tabla 4 presenta las estaciones utilizadas para el trazado de isohietas, de las cuales se tomó el período comprendido entre 1961 y 2004.

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

**Tabla 4 Precipitaciones Medias Anuales de las Estaciones Disponibles consideradas**

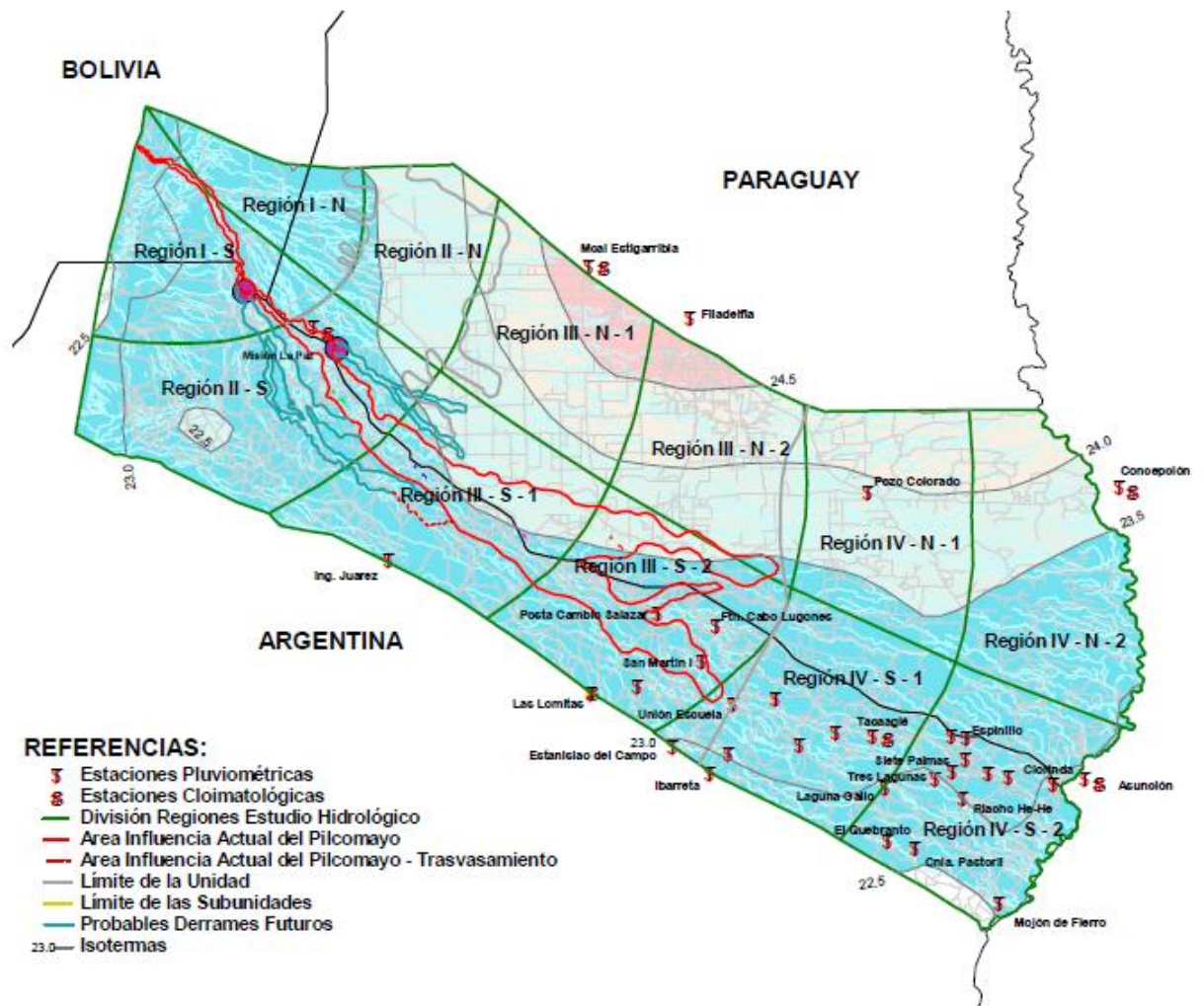
Estación	País	Provincia	Latitud			Longitud			Precipitación Media Anual (mm)			
			Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	Período	Precipitación media anual (mm)	Período con series rellenas por correlación con EAST ANGLIA	Precipitación media anual (mm)
Aparerey	A	Formosa	24	59	13	58	20	44	1981-2004	1160	1901-2005	1180
Clorinda	A	Formosa	25	16	45	57	42	45	1967-2004	1367	1901-2005	1322
Colonia Pastoril	A	Formosa	25	41	21	58	34	15	1967-2003	1335	1901-2005	1228
El Quebranto	A	Formosa	25	38	33	58	44	51	1979-2004	1140	1901-2005	1165
El Recreo	A	Formosa	25	2	7	59	17	49	1979-2004	1150	1901-2005	999
Espinillo	A	Formosa	24	59	29	58	15	18	1967-2000	1239	1901-2005	1203
Fortín Lugones	A	Formosa	24	17	32	59	49	1	1967-2004	822	1901-2005	828
General Belgrano	A	Formosa	24	57	37	59	4	9	1967-2003	1147	1901-2005	1021
General Güemes	A	Formosa	24	45	8	59	26	43	1967-2004	1057	1901-2005	989
General Urquiza	A	Formosa	24	40	38	60	18	42	1967-2004	683	1901-2005	756
Ingeniero Juárez	A	Formosa	23	53	0	61	52	0	1967-2003	632	1901-2005	574
Laguna Blanca	A	Formosa	25	7	34	58	15	36	1967-2004	1243	1901-2005	1205
Laguna Gallo	A	Formosa	25	18	35	58	45	45	1979-2004	1223	1901-2005	1111
Laguna Naick Neck	A	Formosa	25	13	14	58	6	54	1967-2003	1234	1901-2005	1202
Mcal. Estigarribia	P	Boquerón	22	2	0	60	37	0	1940-1994	770	1901-2005	717
Misión La Paz	A	Formosa	22	25	0	62	20	0	1955-2001	673	1901-2005	554
Misión Tacaagle	A	Formosa	24	59	13	58	50	19	1967-2003	1051	1901-2005	1065
Mojón de Fierro	A	Formosa	26	2	2	58	3	0	1979-2003	1398	1901-2005	1361
Maestra Blanca Gómez	A	Formosa	25	5	34	59	44	30	1979-2003	978	1901-2005	936
Palma Sola	A	Formosa	25	14	11	57	59	24	1967-2004	1204	1901-2005	1191
Posta Cambio Salazar	A	Formosa	24	13	0	60	11	0	1979-2003	577	1901-2005	729

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Estación	País	Provincia	Latitud			Longitud			Precipitación Media Anual (mm)			
			Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	Período	Precipitación media anual (mm)	Período con series rellenas por correlación con EAST ANGLIA	Precipitación media anual (mm)
Pozo Colorado	P	Pte. Hayes	23	27	0	58	52	0	1975-1994	884	1901-2005	1008
Riacho He-He	A	Formosa	25	22	17	58	16	48	1967-2003	1231	1901-2005	1201
San Martín I	A	Formosa	24	30	48	59	54	33	1967-2004	741	1901-2005	840
San Martín II	A	Formosa	24	27	5	59	39	49	1967-2004	854	1901-2005	844
Siete Palmas	A	Formosa	25	12	9	58	20	24	1979-2004	1170	1901-2005	1180
Tres Lagunas	A	Formosa	25	15	8	58	27	0	1967-2003	1041	1901-2005	1132
Unión Escuela	A	Formosa	24	46	40	59	42	49	1979-2004	1002	1901-2005	902
Loma Plata	P	Boquerón	22	23		59	54		1933-2005	609	1901-2005	730
Ibarreta	A	Formosa	25	12	36	59	51	36	1967-2004	989	1901-2005	943
Las Lomitas	A	Formosa	24	42	36	60	36	0	1967-2004	751	1901-2005	742
Estanislao del Campo	A	Formosa	25	3	0	60	5	24	1967-2004	868	1901-2005	824
Concepción	P	Concepción	23	25	0	57	18	0	1937-2002	1120	1901-2005	1327
Asunción Aero	P	Central	25	15	0	57	31	0	1929-1993	1338	1901-2005	1353
Filadelfia	P	Boquerón	22	21	36	59	58	48	1901-1930	725	1901-2005	662

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 12 Zonificación efectuada para el Balance Hídrico de EVARSA**

En el documento de Balance Hídrico de EVARSA se encuentran disponibles gráficos de barras correspondientes a precipitaciones anuales y medias mensuales para la serie 1901-2000 para las zonas según la Figura 12 con series de relleno.

#### 4.4 CAUDALES

Las precipitaciones se concentran en los meses de Octubre a Marzo prácticamente en toda la cuenca, aspecto que genera una oferta hídrica estacional, no regulada que se refleja en las serie de caudal existentes según los análisis antecedentes.

Solo en Estación La Paz se dispone de la serie de caudales medios diarios y niveles hidrométricos, (Periodo 1941-2001). Respecto de las demás estaciones que se incluyen en adelante solo se dispone de análisis estadísticos y/o resultados de proceso de datos.

Se dispone del estudio de caudales medios máximos y mínimos mensuales en las siguientes estaciones y en los periodos que se indican a continuación;

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

**Tabla 5 Estaciones hidrométricas analizadas**

Estación Hidrométrica	Ubicación aproximada		río	Serie		Observaciones, información disponible
	Latitud	Longitud				
Misión La Paz	22°23'55"	62°31'4"	Pilcomayo	1960	2004	Caudales medios mensuales y anuales. Comparación con los registros en Villamontes. Comparación con el régimen de precipitaciones medias mensuales en La Paz y Las Lomitas. Análisis de niveles. Estudio de recurrencias de crecida 2005-06
Fortín Nuevo Pilcomayo	23°52'27"	60°52'31"	Pilcomayo	1949	1968	Caudales máximos mínimos y medios mensuales
La Paz	22°27'00"	62°22'00"	Pilcomayo	1941	2001	Caudales medios diarios y niveles hidrométricos. Caudales medios máximos y mínimos mensuales. Permanencia de caudales medios mensuales. Estudio de frecuencias de caudales máximos medios diarios. Aporte sólido medio mensual
Puente carretero			Caraparí	1942	1961	Caudales medios mensuales
El Espinillo	24°58'15"	58°33'32"	Riacho El Porteño	1977	1991	Relación Altura caudal y gráfico de caudales medios diarios
M. de Andrea			Riacho Monte Lindo Grande	1977	1983	Relación altura caudal. No se tiene el registro de alturas
Ea. Guaycolec			Riacho Pilagá	S/D	S/D	Relación altura caudal. No se tiene el registro de alturas
Gral. Bruguez	24°44'57"	58°50'11"	Brazo Sur Pilcomayo	1977	1983	Estimación de la relación altura caudal. No se tiene el registro de alturas

A continuación se incluye la compilación de información relativa a la hidrológica de la cuenca baja. La presente compilación será la base o punto de partida para especificar las

#### 4.4.1 ESTACIÓN MISIÓN LA PAZ

En la tabla y figuras siguientes se muestran las principales características de esta estación. En este punto el río tiene para la serie 1960 - 61 a 2004 - 05 un módulo de 206 m<sup>3</sup>/s, con un máximo de 453 m<sup>3</sup>/s y un mínimo de 93 m<sup>3</sup>/s, con un desvío estándar de 81 m<sup>3</sup>/s, lo que indica una importante irregularidad en el régimen.

Si bien esta serie es relativamente corta, muestra al igual que las precipitaciones de la región una importante elevación de los promedios a fines de la década de los setenta y principios de los ochenta que llevó a un incremento de este promedio que superó el 50%.

Las diferencias entre los caudales medios anuales y el módulo muestran que desde el inicio de la serie hasta fines de los setenta existieron varios períodos por debajo de la media, esta tendencia se revierte

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

hasta fines de los ochenta donde se valores por arriba de la media y a partir de esa fecha hay alternancia e los valores.

Tabla 6 Caudales medios mensuales y anuales en m3/s Estación Misión La Paz

	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	ANUAL
Promedio	23	31	82	201	470	614	537	262	98	61	41	31	206
Desvío	10	17	78	106	260	369	346	150	35	24	16	13	81
Máximo	47	83	391	512	1364	1685	1908	763	200	126	80	61	453
Mínimo	8	9	11	58	155	192	131	73	49	32	18	12	93

Río Pilcomayo  
Caudales Medios Anuales- Estación Misión La Paz

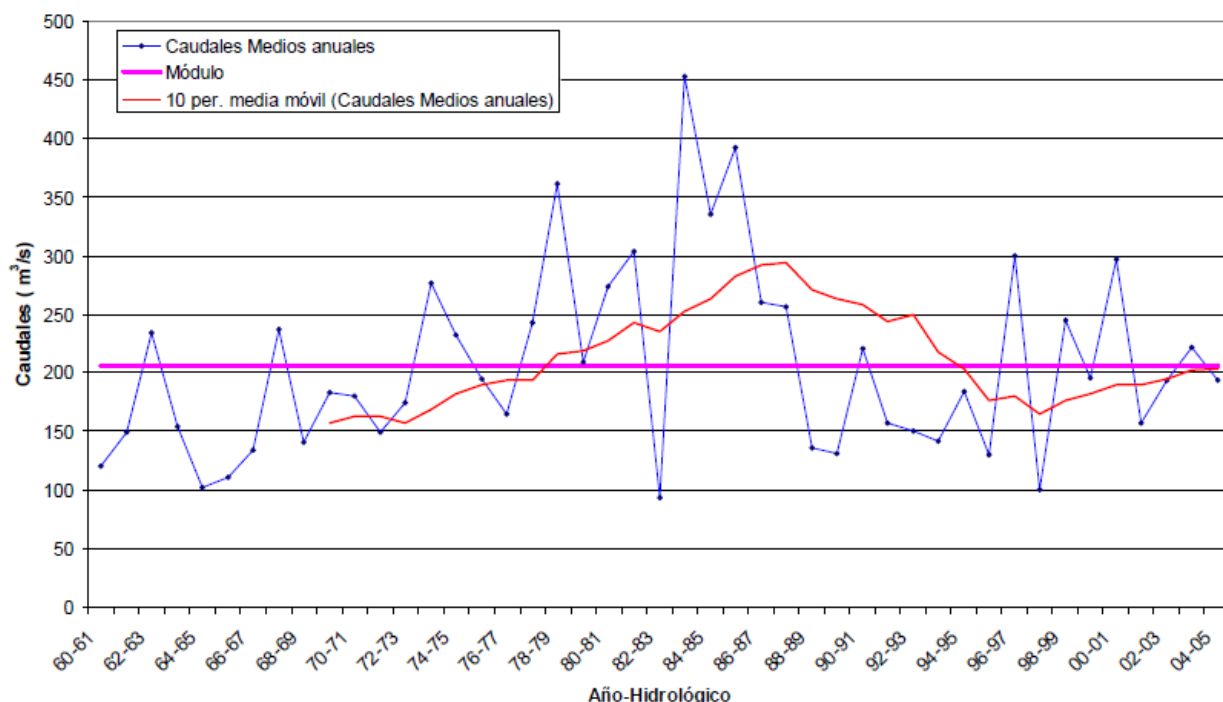
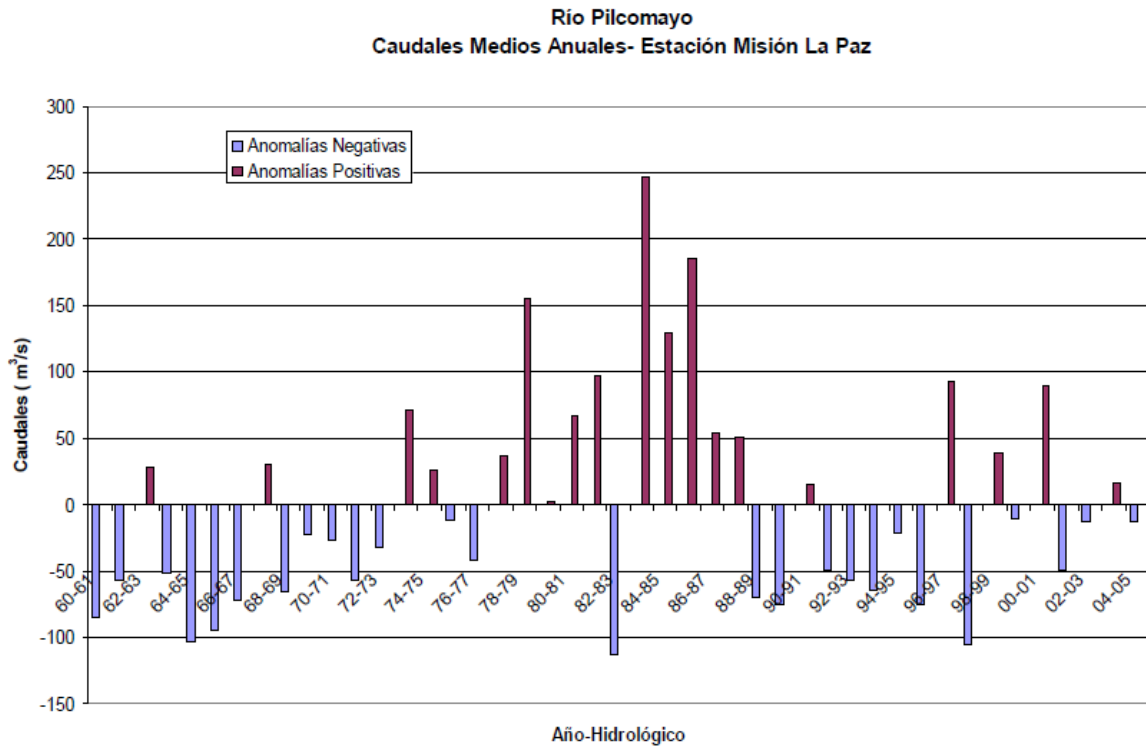
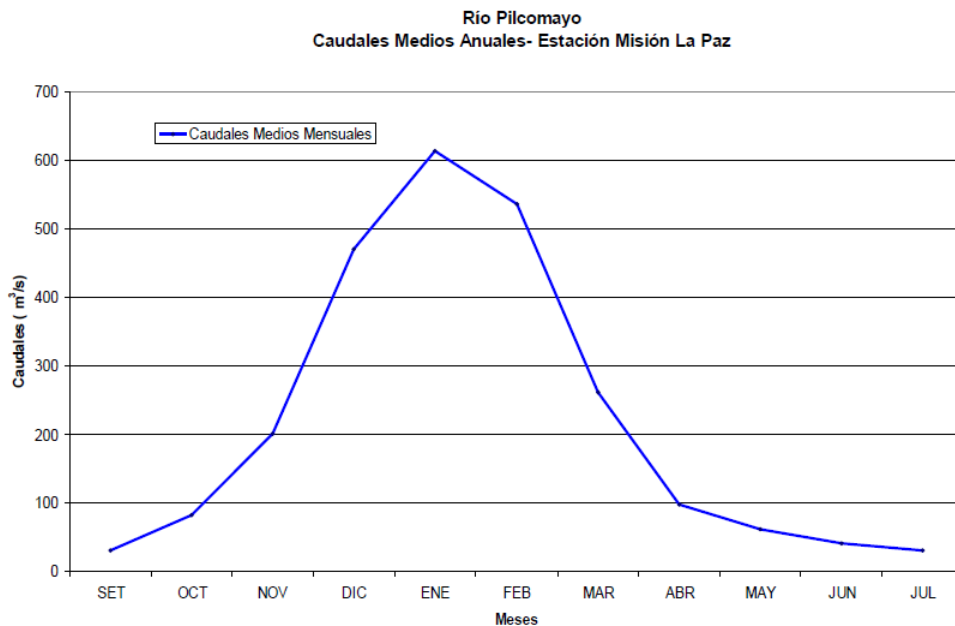


Figura 13 Caudales Medios Anuales Estación Misión La Paz río Pilcomayo Serie 1960-61 a 2004-05. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo aguas abajo de Ibibobo/Bolivia. EVARSA

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 14 Anomalia respecto del módulo de Caudales Medios Anuales Estación Misión La Paz río Pilcomayo Serie 1960-61 a 2004-05. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo aguas abaja de Ibibobo/Bolivia. EVARSA**



**Figura 15 Distribución en el año de caudales medios mensuales en Estación Misión La Paz río Pilcomayo Serie 1960-61 a 2004-05. Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo aguas abaja de Ibibobo/Bolivia. EVARSA**

Los caudales medios diarios del Río Pilcomayo en Misión La Paz han sido publicados por SSRH (Argentina). Dadas las características fluviales del cauce, la relación altura caudal es, por lo cual la relación altura caudal es actualizada repetidamente en cada año para obtener un registro de caudales diarios confiable.

En la **Figura 16** se presenta en forma gráfica la serie temporal de caudales diarios de Misión La Paz comparados con los valores correspondientes a Villa Montes (aguas arriba) para el período 1974 a 1995.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

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; 1977-78, 1978-79 y 1986-84.

- Comparación Misión la Paz y Villamontes año 1977-78: Se observa una marcada coherencia entre los caudales medios diarios de Villa Montes (SENAMHI) y Misión 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. (Figura 17)
- Comparación Misión la Paz y Villamontes 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  $9000\text{m}^3/\text{s}$  en Villa Montes a  $3800\text{m}^3/\text{s}$  en La Paz. (Figura 18)
- Comparación Misión La Paz y Villamontes año 1983-84: 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  $11800\text{m}^3/\text{s}$  en Villa Montes a  $4600\text{m}^3/\text{s}$  en La Paz. (Figura 19)
- Comparación Misión La Paz y Villamontes año 1984-85: Se observa una falta de coherencia en algunos sectores del registro de este año. (Figura 20)
- Comparación Misión La Paz y Villamontes año 1986-87: Se observa una coherencia del registro de este año. (Figura 21)
- Comparación Misión La Paz y Villamontes año 1990-91: Se observa una coherencia del registro de este año. (Figura 22)
- Comparación Misión La Paz y Villamontes año 1991-92: Se observa una coherencia del registro de este año. (Figura 23)

# INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

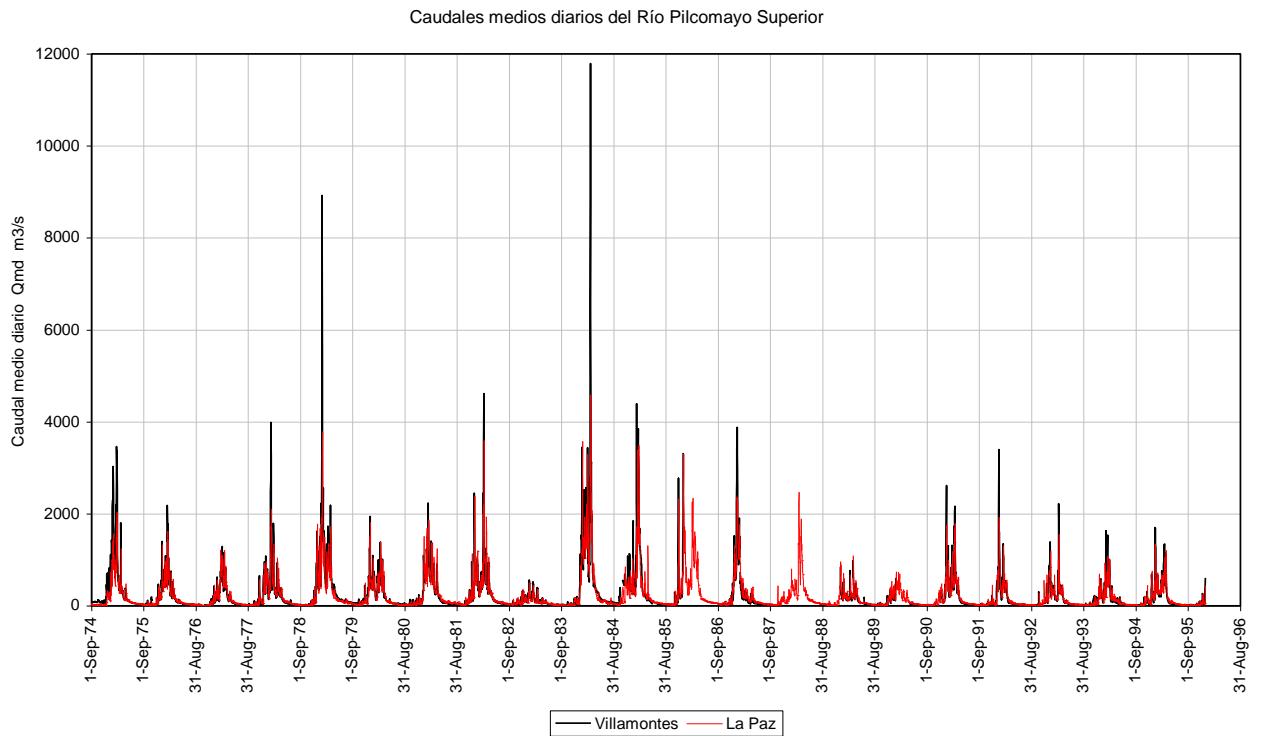


Figura 16 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el periodo 1974-1995.

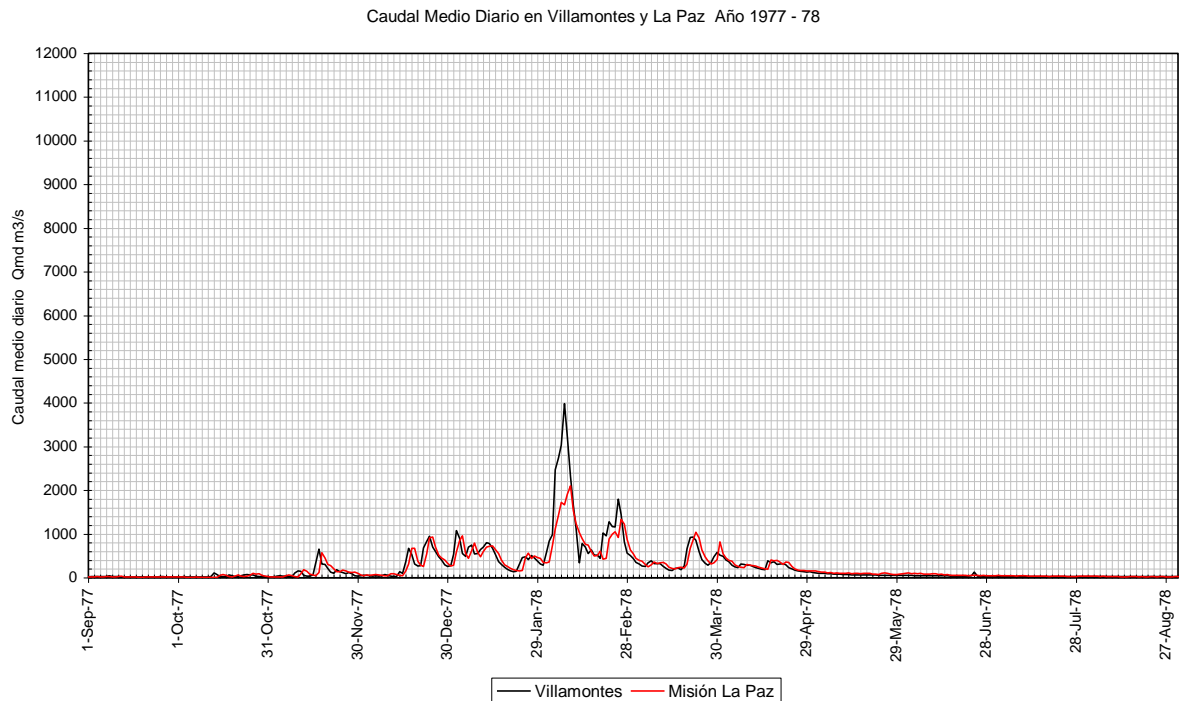


Figura 17 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1977-78.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

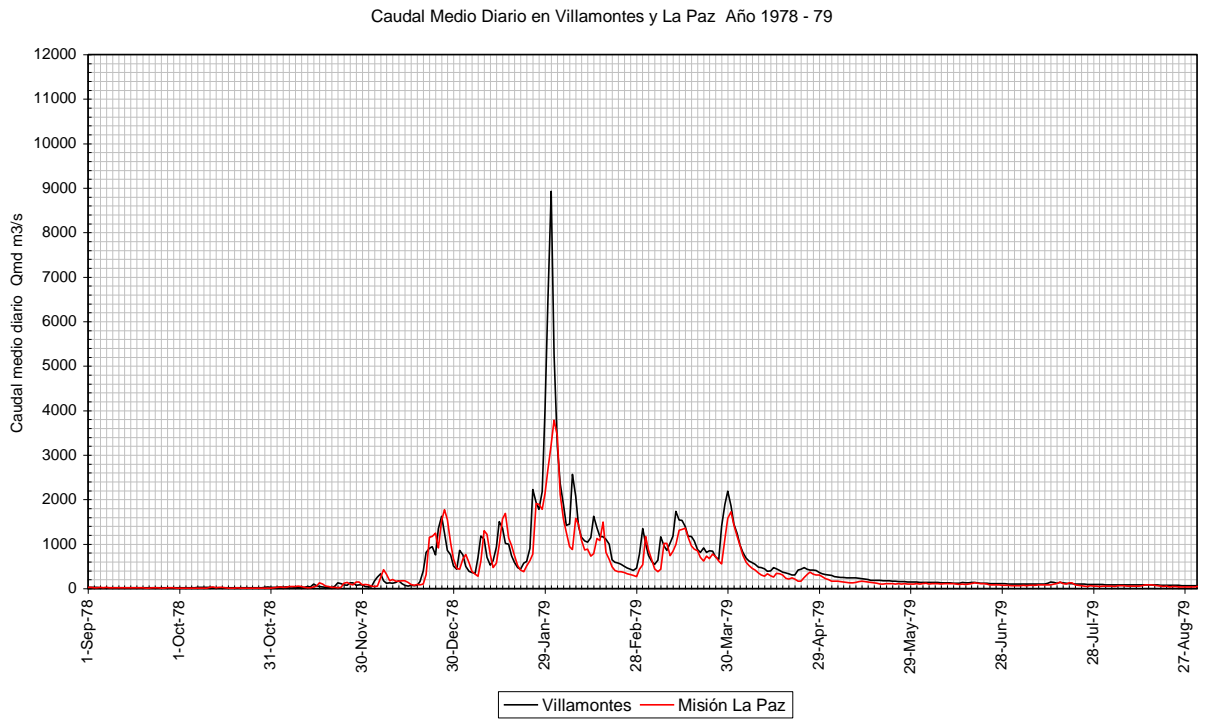


Figura 18 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1978-79.

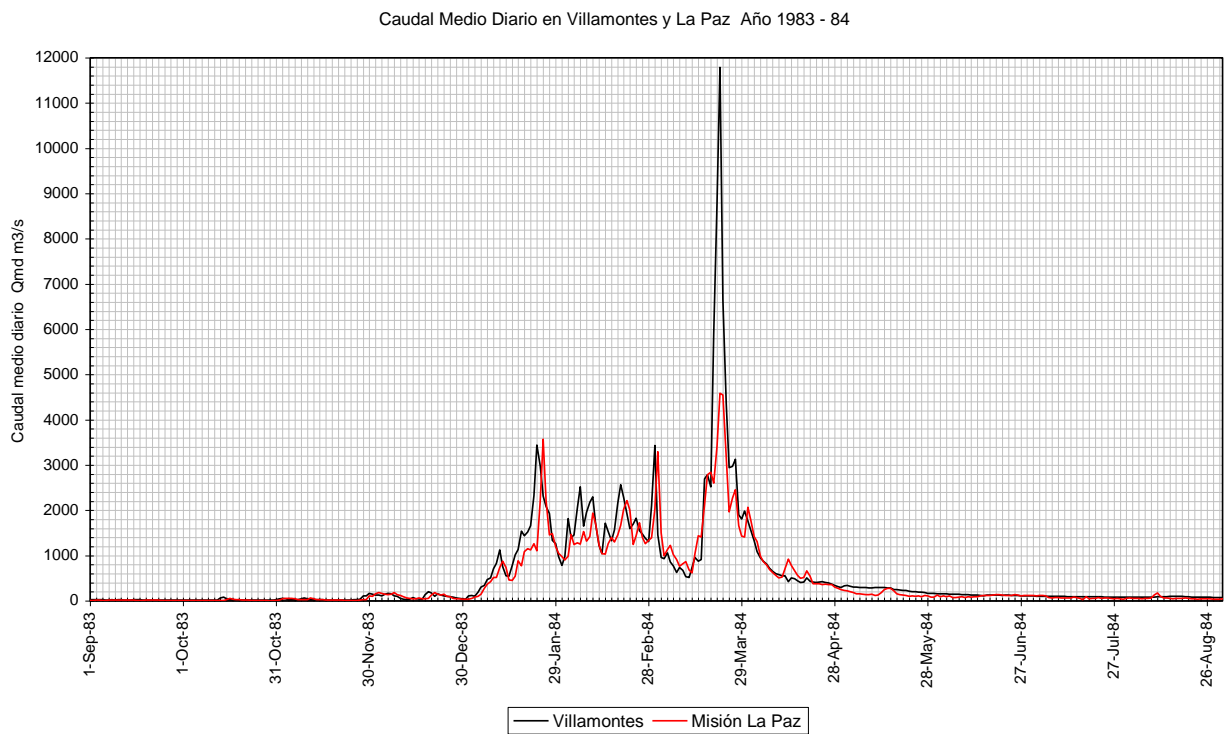


Figura 19 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1983-84.

# INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

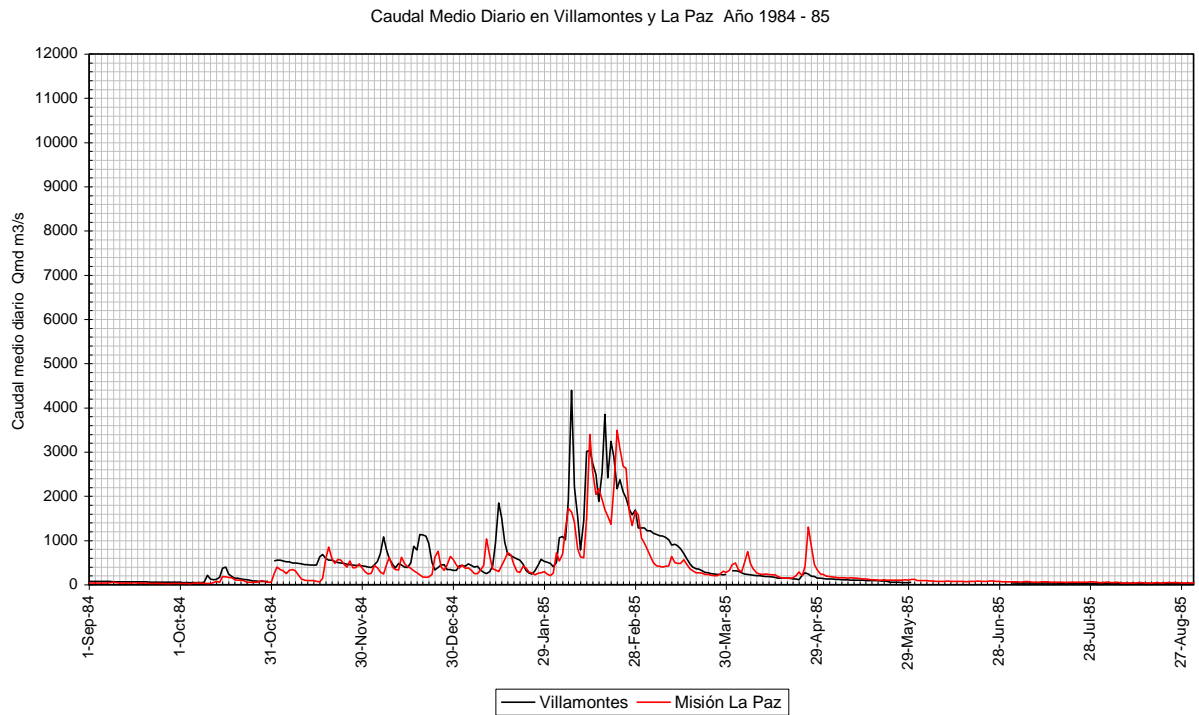


Figura 20 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1984-85.

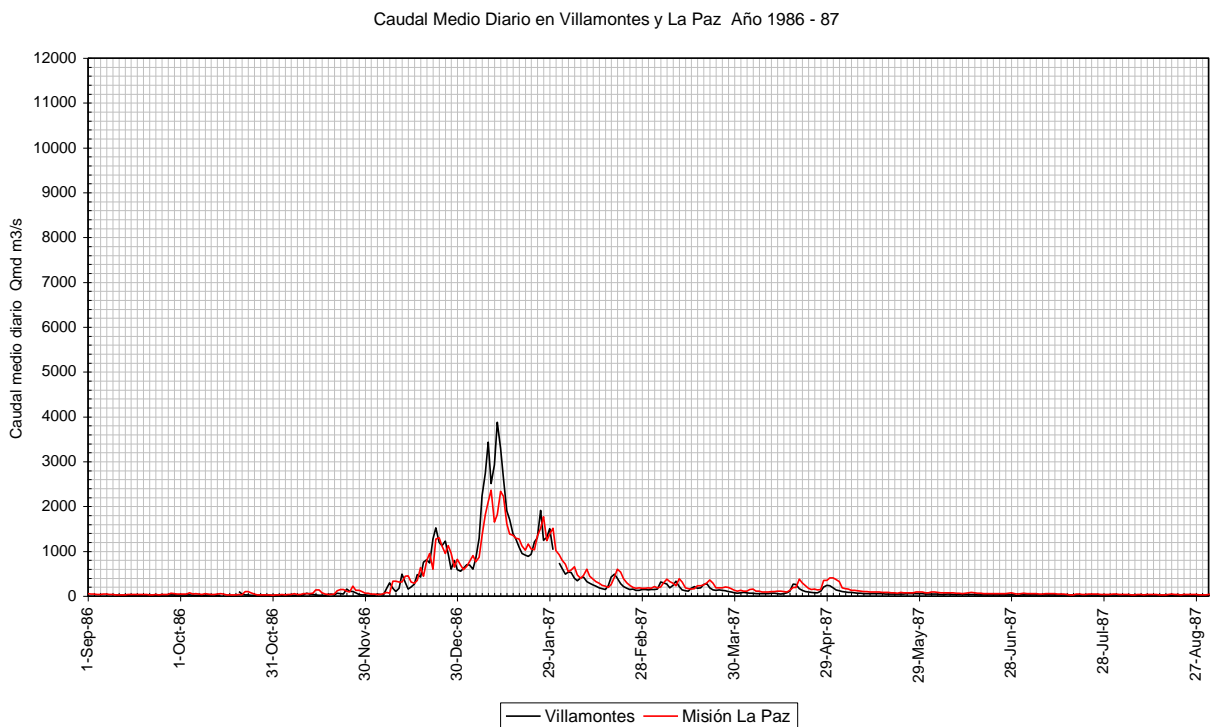


Figura 21 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1986-87.

# INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

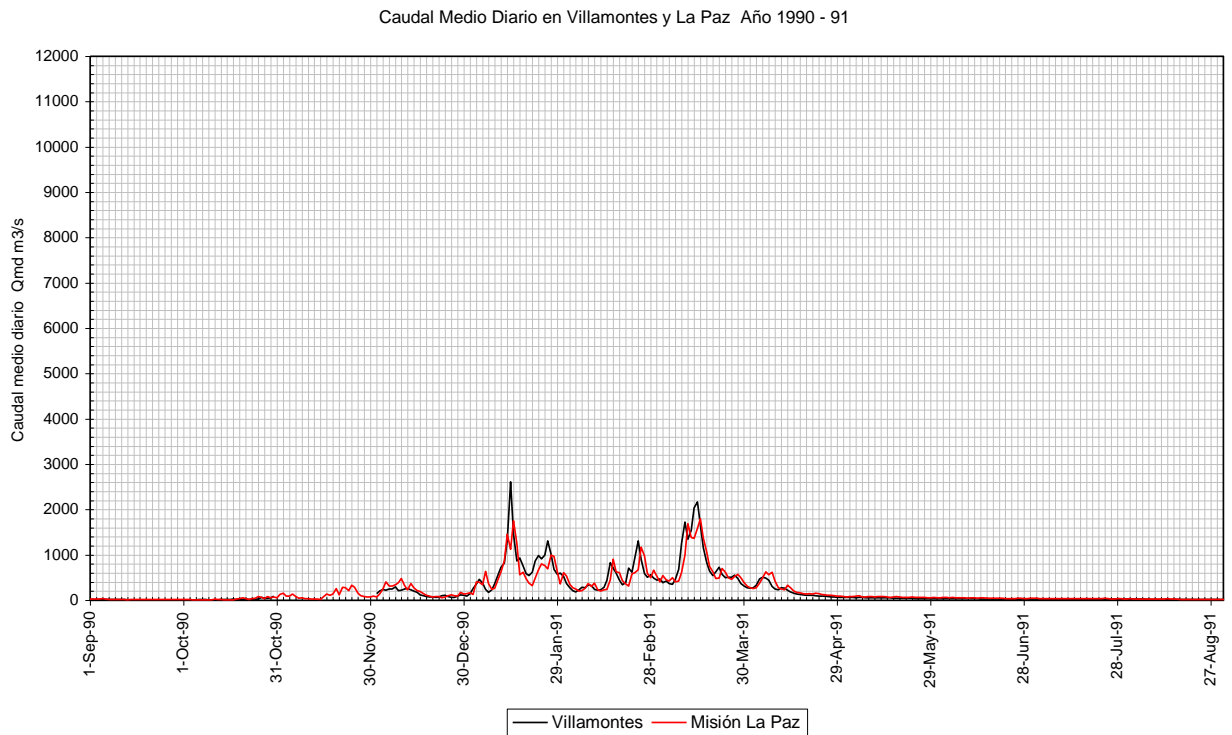


Figura 22 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1990-91.

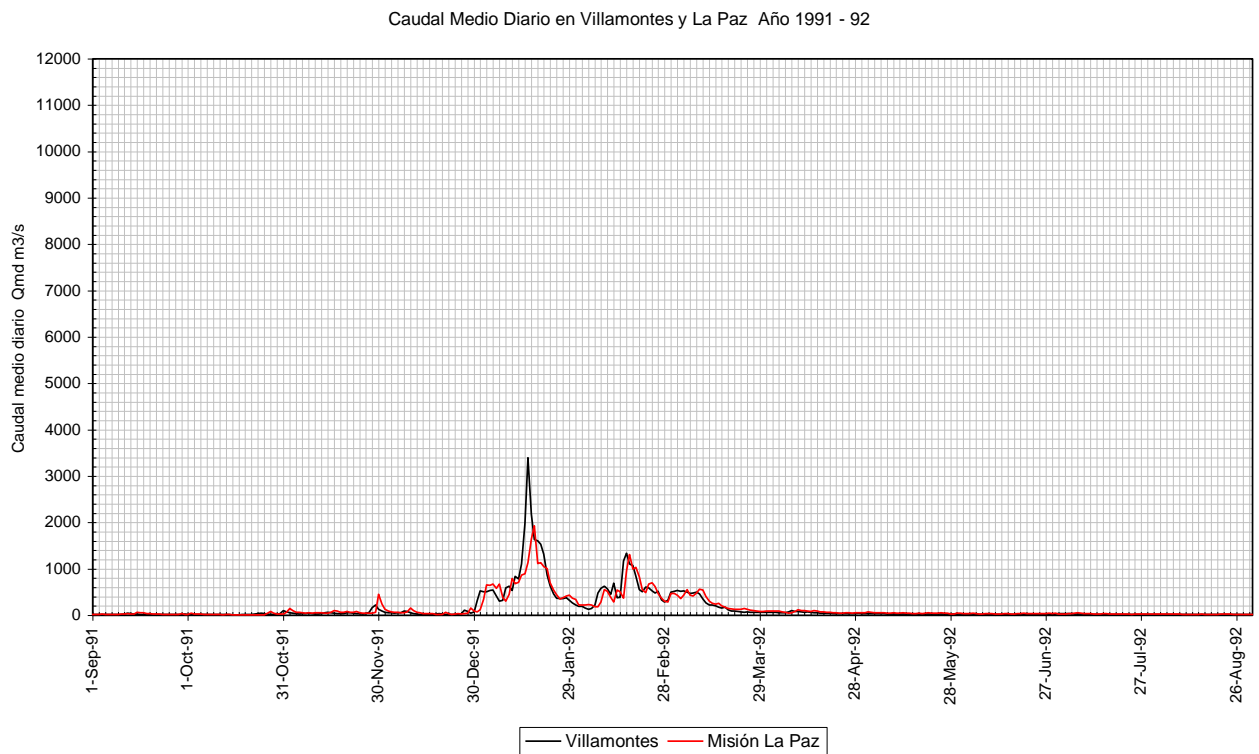
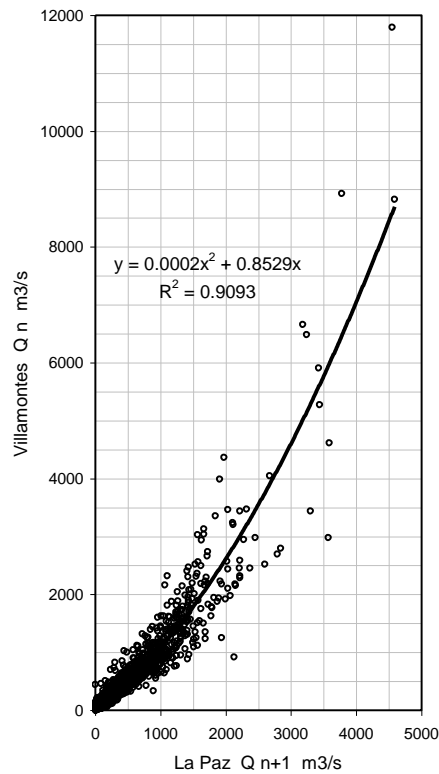


Figura 23 Comparación de serie en Misión La Paz y en Villamontes para el año hidrológico 1991-92

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Correlación Caudales medios diarios Río Pilcomayo

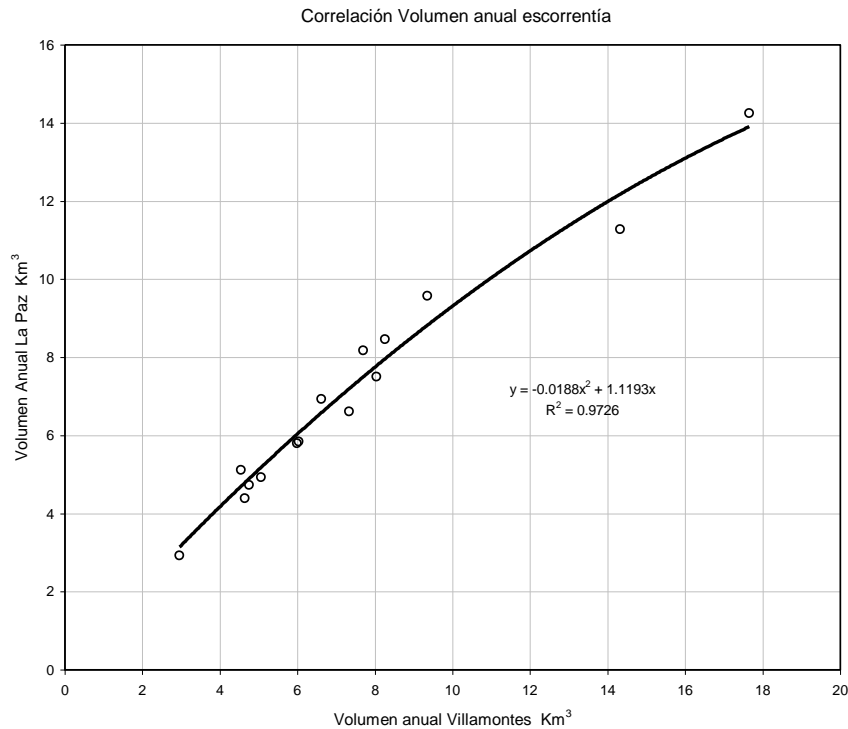


**Figura 24 Correlación de caudales medios diarios entre la Estación Villamontes y la Estación Misión La Paz**

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<sup>3</sup> 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.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 25 Correlación de volúmenes anuales de escorrentía entre la Estación Villamontes y la Estación Misión La Paz**

**4.4.1.1 Comparación del régimen hídrico en Misión La Paz con precipitaciones en Las Lomitas y La Paz**

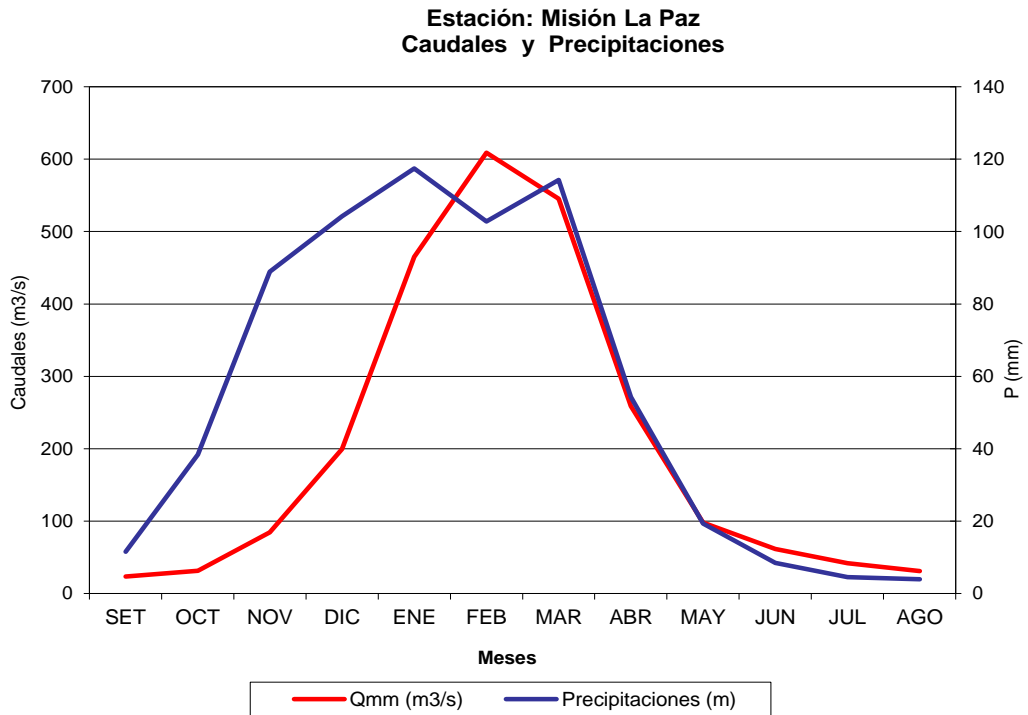
Los estudios hidrológicos desarrollados con motivo del proyecto de almacenamiento y regulación en la Ruta Provincial Nº 28, se analizaron esta misma estación hidrométrica el comportamiento de las lluvias medias mensuales comparado con el comportamiento de los caudales medios mensuales, encontrando similitud entre ambas variables.

Según la estadística del Servicio Meteorológico Nacional para los años 1981-1990, para la Estación Las Lomitas, de allí surge que la precipitación media para el período es de 942 mm con un máximo de 1148 mm en 1986 y un mínimo de 662 mm en 1990.

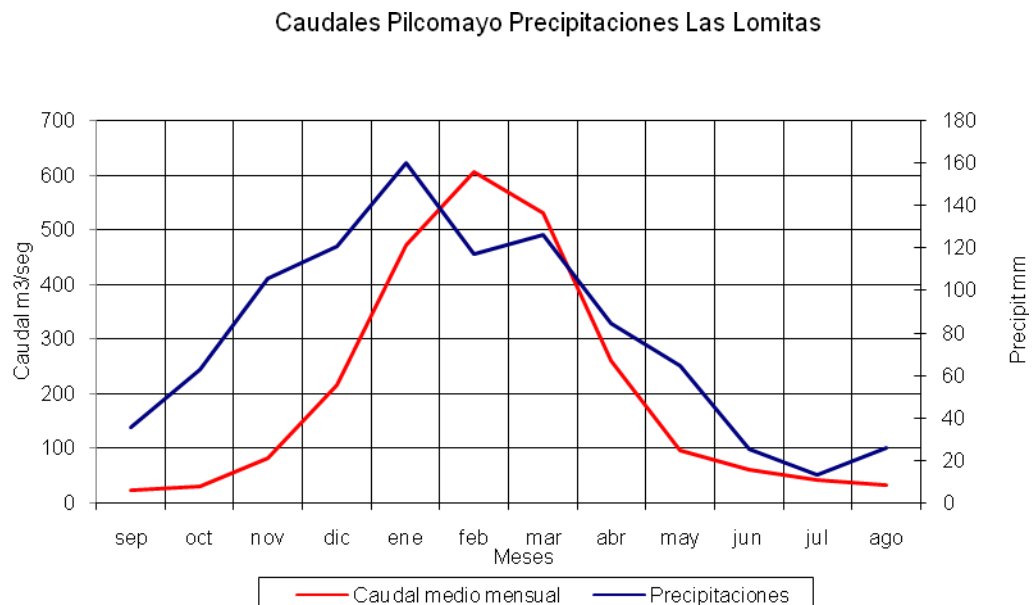
De acuerdo o de los registros históricos de las precipitaciones de la Estación Misión La Paz desde 1964 hasta 2008, surge que la precipitación media anual es de 668 mm con un máximo de 1002 mm en 1979 y un mínimo de 387 en 1966. En la Figura 26 se muestra el hietograma de las precipitaciones medias mensuales y los caudales medios mensuales en la estación Misión La Paz.

Las precipitaciones en el área se producen en general entre los meses de octubre a mayo, y entre los meses de noviembre a marzo supera los 100 mm mensuales de promedio, esto es coincidente con el régimen hídrico del río Pilcomayo, en la Figura 27 se muestra el comportamiento de caudales medios mensuales en Misión La Paz sobre el Río Pilcomayo y las lluvias medias mensuales en Las Lomitas.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 26 Comparación de comportamiento de precipitaciones y caudales en Misión La Paz**



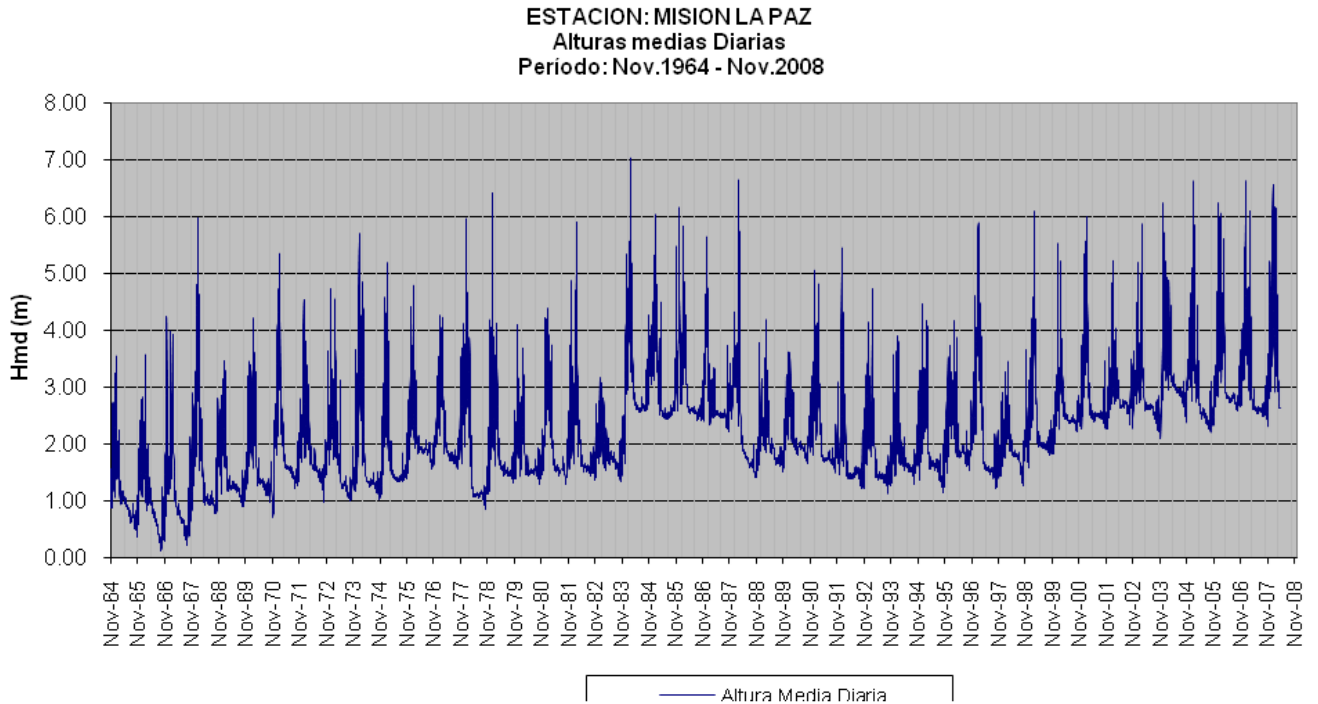
**Figura 27 Comparación de comportamiento de precipitaciones y caudales entre Las Lomitas y Misión La Paz**

En Figura 27 se observa la casi total coincidencia entre las precipitaciones locales con los derrames del río, esto resalta la necesidad de efectuar el análisis conjunto de los derrames en el bañado considerando además la influencia de las precipitaciones locales.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

**4.4.1.2 Análisis de los niveles hidrométricos**

El objetivo de este análisis es evaluar el comportamiento histórico de los niveles hidrométricos en el río Pilcomayo, para ello se utilizan las alturas media diarias de la estación Misión La Paz en el período que va desde el 01/09/1964 hasta el 30/04/2008.

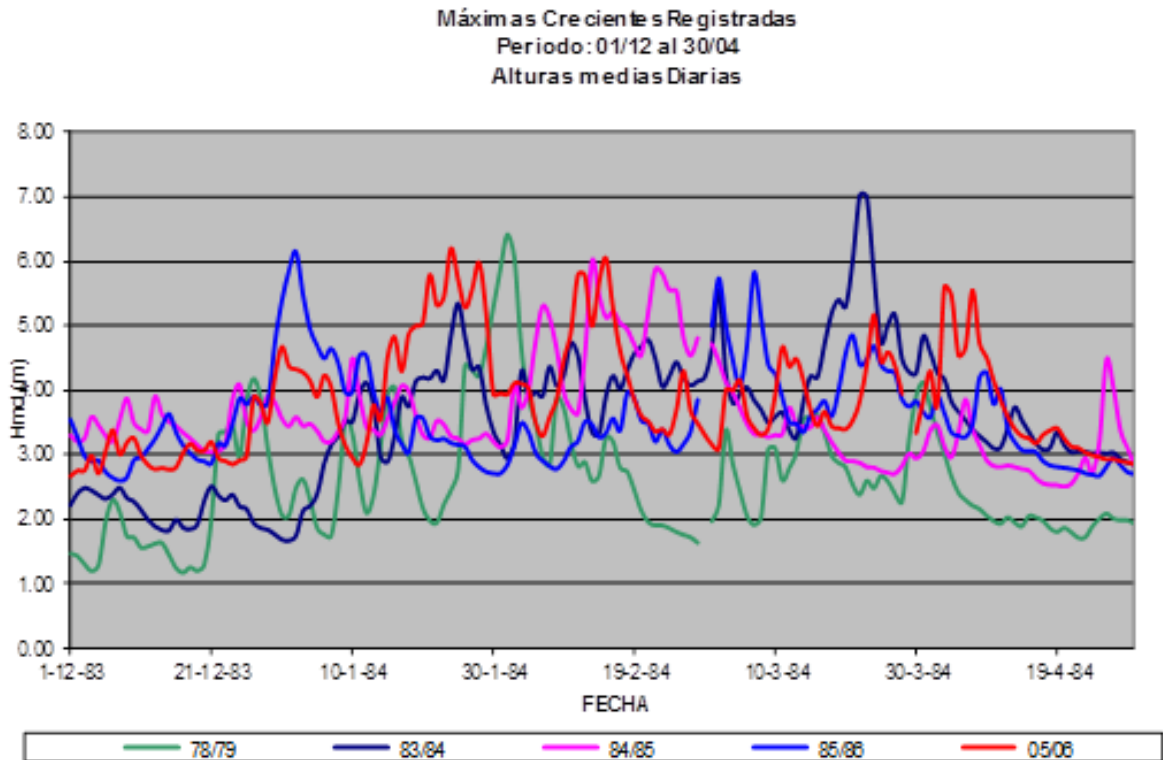


**Figura 28 Niveles hidrométricos en Misión La Paz**

En el gráfico anterior se ve claramente como desde Nov/1964 hasta Nov/1983 hubo un paulatino ascenso de los niveles mínimos, posteriormente se produce un abrupto aumento de los niveles mínimos entre Nov/1983 y Nov/1988 lo cual puede obedecer a un cambio de los niveles mínimos, o bien a un cambio en el cero de la escala, luego entre Nov/1988 y Nov/1998 los niveles mínimos se mantienen y finalmente se observa una leve tendencia al alza de los niveles hasta el Abr./2008.

A partir de los valores de Derrame Anual (Hm<sup>3</sup>) consignados en la Tabla 7 en los años hidrológicos 78/79, 83/84, 84/85, 85/86 y 05/06 se produjeron las mayores crecidas. Para poder comparar la evolución temporal de las mismas se realizó un gráfico que muestra la variación de la altura media diaria durante el período diciembre abril.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 29 Alturas medias diarias año 1983-84 (diciembre – abril) en Misión la Paz**

Del análisis de los dos gráficos anteriores surge que si bien la crecida histórica en volumen fue la del período 1983/84, la que tuvo mayor permanencia durante el período de crecidas (diciembre-abril) fue la del año hidrológico 2005/06.

#### **4.4.1.3 Análisis de la crecida 2005-2006**

El objetivo se centra en la valoración de la frecuencia y el tiempo de recurrencia asociado al volumen de agua observado en la estación Misión La Paz sobre el Río Pilcomayo para el año hidrológico 2005/2006, teniendo como datos los derrames anuales para los registros de la serie de 47 años que lleva adelante la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y EVARSA S.A, los cuales pueden ser observados en la Tabla 7.

Puede apreciarse asimismo en la Tabla 7, la magnitud del derrame para el año 2005/2006 (9963 Hm<sup>3</sup>), superior en un 52% al promedio anual.

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

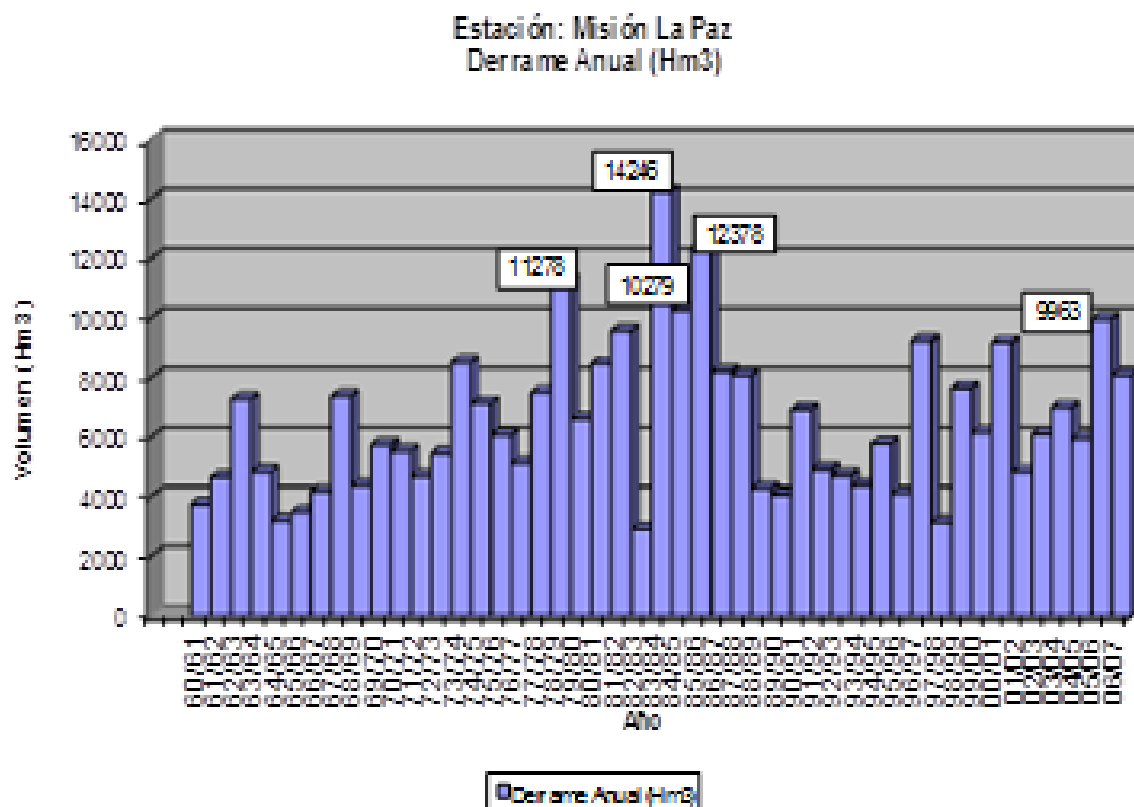


Figura 30 Derrames Anuales en Misión La Paz 1960-61 a 2006-07

Tabla 7 Derrames mensuales y anuales (Hm<sup>3</sup>) – Río Pilcomayo – Estación Misión La Paz. FUENTE: Sistema Nacional de Información Hidrológica - SSRH - EVARSA S.A.

AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m <sup>3</sup> /s)												Derrame Anual (Hm <sup>3</sup> )
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
60-61	37	59	90	167	173	372	181	225	58	32	23	30	3746
61-62	24	51	110	231	321	367	341	145	70	38	48	43	4669
62-63	14	9	18	268	468	799	628	308	104	98	58	37	7281
63-64	28	22	34	204	270	354	449	192	132	84	46	31	4854
64-65	23	14	48	152	265	317	179	92	68	32	24	17	3197
65-66	17	9	23	191	318	277	226	129	79	32	20	12	3485
66-67	8	23	27	276	165	388	497	109	49	35	18	12	4185
67-68	8	39	70	229	337	1121	460	318	87	70	54	49	7382
68-69	30	51	248	233	328	459	131	77	51	37	28	20	4381
69-70	10	16	39	182	423	466	536	293	108	64	40	26	5741
70-71	16	15	18	123	323	796	513	196	67	49	24	18	5546
71-72	14	19	88	207	440	356	320	175	62	53	32	20	4698
72-73	17	13	49	220	399	394	457	251	100	126	38	27	5464
73-74	14	15	37	109	389	1193	693	597	112	73	50	38	8520
74-75	21	24	15	132	534	1084	487	211	128	64	47	35	7147
75-76	29	36	50	183	547	822	345	132	83	48	34	25	6085
76-77	23	9	11	68	250	484	698	226	103	49	30	21	5131
77-78	20	34	131	282	489	999	435	288	105	70	38	27	7509
78-79	18	13	60	477	1044	1063	877	414	134	101	80	53	11278

INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m <sup>3</sup> /s)												Derrame Anual (Hm <sup>3</sup> )
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
79-80	33	36	105	341	595	325	613	267	84	49	33	24	6613
80-81	21	23	54	81	655	986	701	400	145	87	66	61	8483
81-82	43	37	103	307	750	441	1220	391	146	84	67	46	9572
82-83	42	61	84	160	184	200	134	85	73	45	29	23	2926
83-84	14	14	29	102	901	1432	1908	645	155	110	68	59	14246
84-85	35	69	339	383	390	1685	464	352	133	77	59	42	10279
85-86	38	30	391	496	1071	467	1306	532	144	96	73	56	12378
86-87	39	45	77	512	1364	418	227	168	126	67	45	33	8223
87-88	25	51	99	129	283	384	912	763	200	111	72	47	8085
88-89	35	34	24	129	378	192	251	346	107	65	45	26	4284
89-90	21	27	37	194	329	453	215	145	58	39	29	20	4059
90-91	19	31	124	194	641	460	747	249	74	49	37	26	6938
91-92	27	21	78	66	703	500	275	73	49	36	31	23	4932
92-93	17	35	90	187	477	237	439	163	63	36	30	25	4728
93-94	22	25	58	240	279	553	255	136	55	38	24	17	4393
94-95	9	35	142	199	486	380	621	183	72	38	28	21	5797
95-96	17	10	38	106	308	332	305	184	164	49	32	18	4099
96-97	20	18	76	216	485	1360	827	347	97	64	49	35	9232
97-98	47	38	72	69	155	214	263	190	69	36	28	24	3144
98-99	9	18	194	152	322	544	997	389	133	81	51	44	7660
99-00	27	45	43	69	446	532	744	218	96	57	37	28	6152
00-01	18	27	50	170	755	1206	779	267	115	74	57	39	9179
01-feb	32	48	83	135	182	643	361	210	84	45	37	20	4835
02-mar	10	83	93	143	618	319	696	198	68	40	28	23	6100
03-abr	9	15	15	242	820	599	383	326	118	69	37	31	6995
04-may	12	15	44	221	353	846	320	324	87	50	30	18	5956
05-jun	18	33	45	169	1082	977	608	600	141	74	63	29	9963
06-jul	16	39	117	268	911	533	659	312	100	68	39	24	8082
PROM	22	31	82	205	498	624	546	273	99	62	42	30	6545

**Tabla 8 Distribución Pearson Tipo III para derrames anuales en Misión La Paz**

Tr (Años)	Derrame Anual (hm3)
200	15625.95
100	14635.02
50	13078.28
25	11755.28
10	9920.02
5	8420.46
3	7203.69
2	6099.43

Nótese que el valor correspondiente al derrame 2005/2006 (9963 Hm<sup>3</sup>), se ubica claramente en esta distribución en el rango de entre 10 y 25 años de tiempo de recurrencia, más cerca del valor de 10 años (9920.02 Hm<sup>3</sup>). Es decir que es esperable que un ciclo hidrológico similar al año hidrológico 2005/2006 (o uno superior), se dé en promedio una vez cada 10 a 25 años.

**Tabla 9 Distribución LogPearson Tipo III para derrames anuales en Misión La Paz**

Tr (Años)	Derrame Anual (hm3)
200	17078.89
100	15388.27

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

50	13745.12
25	12137.84
10	10036.86
5	8420.83
3	7167.01
2	6064.61

Según esta distribución (Log Pearson Tipo III), se puede afirmar que un derrame como el del año hidrológico 2005/2006 o uno superior, es esperable que ocurra una vez cada 5 a 10 años (más cerca de 10 años), ya que el valor correspondiente al año 2005/2006 (9963 Hm<sup>3</sup>) se encuentra muy próximo al valor de 10 años de tiempo de recurrencia (10036.86 Hm<sup>3</sup>).

**Tabla 10 Distribuciones Gumbel Tipo I para derrames anuales en Misión La Paz**

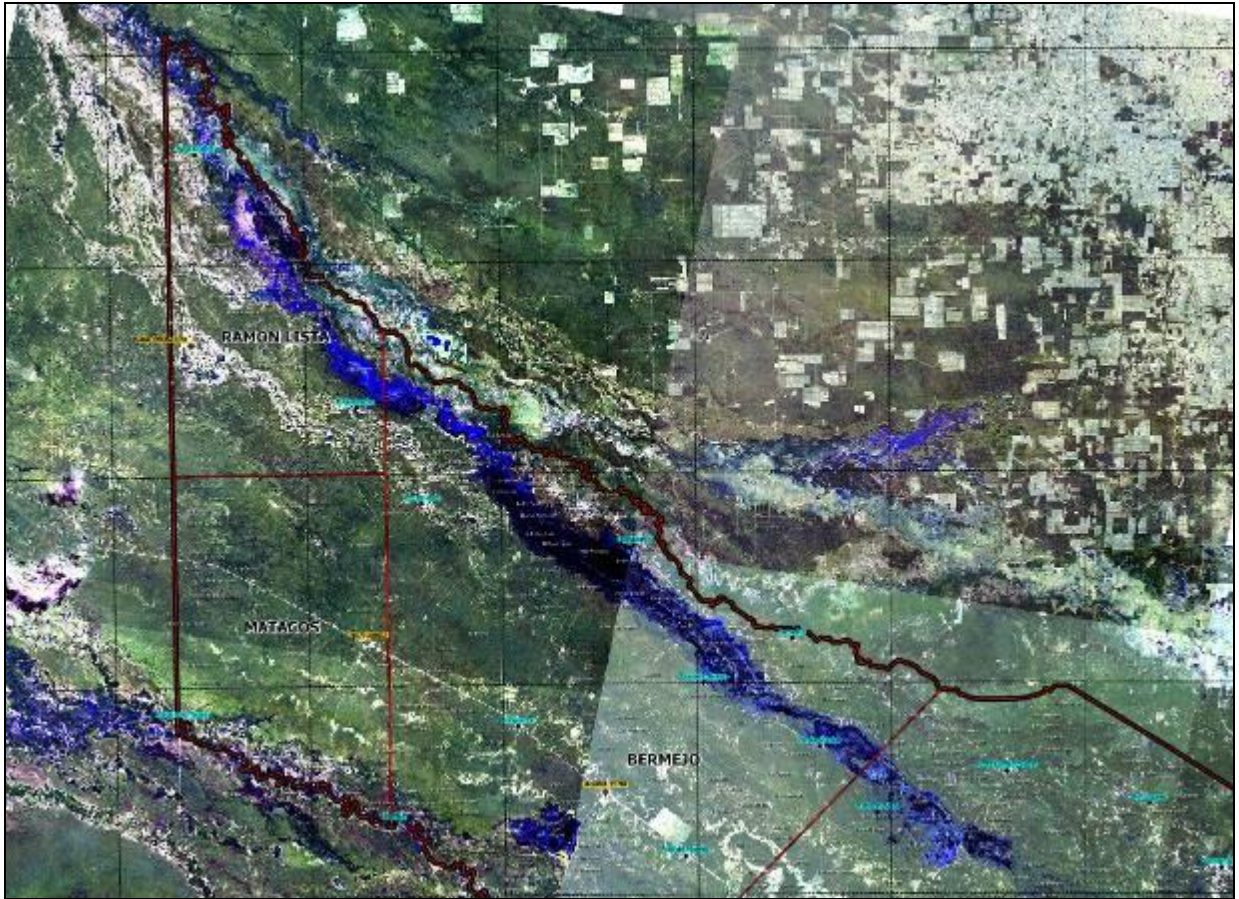
Tr (Años)	Derrame Anual (hm3)
200	15538.12
100	14220.68
50	12898.42
25	11566.33
10	9770.71
5	8349.56
3	7220.89
2	6203.10

En este caso los resultados obtenidos son idénticos a los de la Distribución Pearson Tipo III.

#### **4.4.1.4 Estimación del tiempo de recurrencia en virtud de la distribución de caudales NO igualitaria sucedida.**

El siguiente análisis estadístico - probabilístico complementario el punto anterior, es el de considerar que para el año hidrológico 2005/2006, la división de volúmenes para Argentina y Paraguay no ha sido igualitaria por motivos antrópicos (tapón del canal paraguayo). Con esta particularidad, la mayor parte de los volúmenes registrados en Misión La Paz ha ingresado a territorio argentino en este año, según se puede apreciar en la siguiente Figura 31.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 31 Imágenes satelitales en mosaico de la mancha de inundación de los derrames del Río Pilcomayo, sobre Argentina (Formosa) y Paraguay, para el año hidrológico 2005/2006**

Se puede apreciar asimismo en la Figura 31, que del 100% de los volúmenes registrados en Misión La Paz y a pesar del tapón en el canal paraguayo, no es la totalidad de ese 100% la masa líquida que ingresa a la Provincia de Formosa sino que una parte ingresa a los bañados en territorio paraguayo. Sin embargo, puede estimarse que el mayor derrame ha ingresado a la Argentina.

Con esta suposición, se ha recalculado la estadística para los volúmenes de Misión La Paz, asumiendo en forma ficticia que para el año 2005/2006 se ha registrado un volumen de  $14.491 \text{ hm}^3$  (un 45% superior a lo observado [ $9963 \text{ Hm}^3$ ]), con el objeto de considerar el efecto de esta inundación en la zona del Bañado La Estrella y la probabilidad de ocurrencia de una situación similar.

Con estas consideraciones, los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 11 Distribución Log-Pearson Tipo III, para asignar recurrencia a un derrame anual de  $14.491 \text{ hm}^3$  en Misión La Paz**

Tr (Años)	Derrame Anual ( $\text{hm}^3$ )
200	19243.15
100	16977.98
50	14852.82
25	12849.25
10	10346.71
5	8515.45
3	7153.17
2	5999.26

Nótese que el valor correspondiente al derrame ficticio 2005/2006 ( $14.491 \text{ Hm}^3$ ), se ubica claramente en esta distribución muy cerca de un tiempo de recurrencia del orden de los 50 años, lo cual demuestra la notable incidencia de lo sucedido este año en la Provincia de Formosa. Sin embargo, no debe dejar de

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

tenerse en cuenta que esta estimación es sólo de carácter aproximado, a los fines únicos de valorar a modo expeditivo, el efecto sobre el bañado La Estrella de la situación ocurrida en 2005/2006.

#### 4.4.2 ESTACIÓN LA PAZ

Esta estación se halla en la provincia de Salta en la coordenada 22°27' Lat.Sur y 62°22' Long. Oeste, la altitud de la misma es de 230 msnm, presenta registros de aforos sólidos y líquidos continuos desde el año 1960 hasta 1993-94.

Las serie de registros de caudales medios mensuales se ha volcado en la Figura 32, puede observarse la evolución anual de los caudales medios, máximo y mínimos, se evidencia la gran variación que presentan los mismos a lo largo del año, llegando inclusive hasta valores casi nulos.

Se dispone de los caudales medios diarios para el periodo 1961-2001 con casos de datos faltantes.

Tabla 12 Estación la Paz. Caudales líquidos medios máximos y mínimos (m3/s). Volumen Sólido

	Medio	Máx.	Min	Vol. Sol.gr/l
Septiembre	23.5	43	7	91.1
Octubre	29.5	67	9	381.4
Noviembre	81.5	391	13	3445.1
Diciembre	217	512	58	11998.6
Enero	474	1364	165	33800.1
Febrero	607	1672	192	40748
Marzo	531	1908	131	32585.9
Abril	261	762	73.3	9912.4
Mayo	97.3	200	48.6	1238.9
Junio	62.2	126	32	673.6
Julio	42.6	80	18	245.3
Agosto	32	61	12	153.4

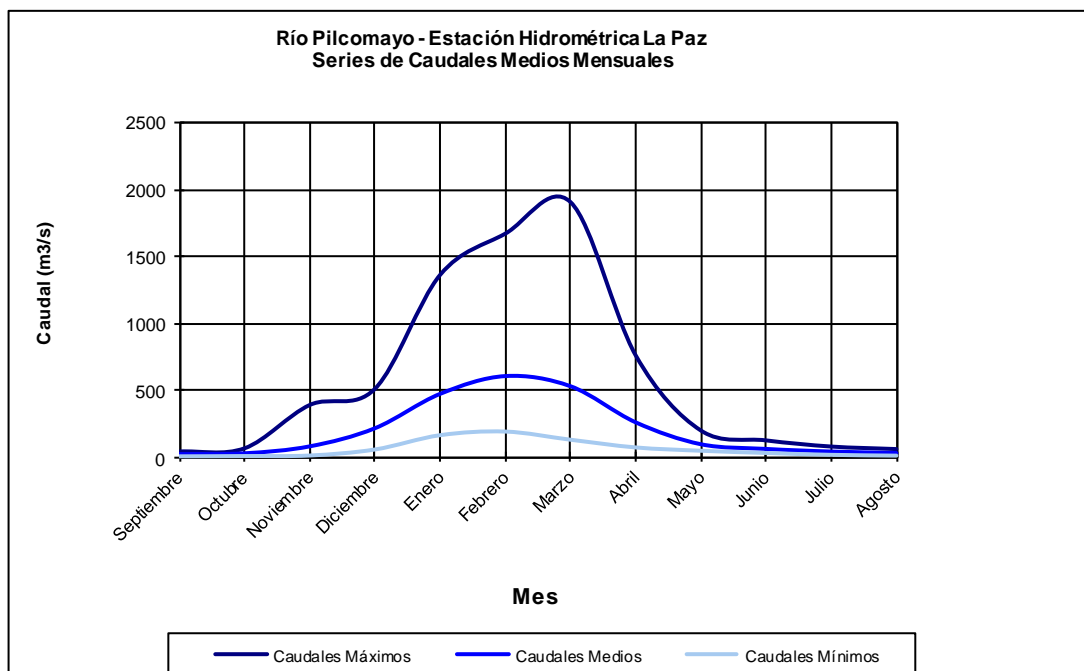
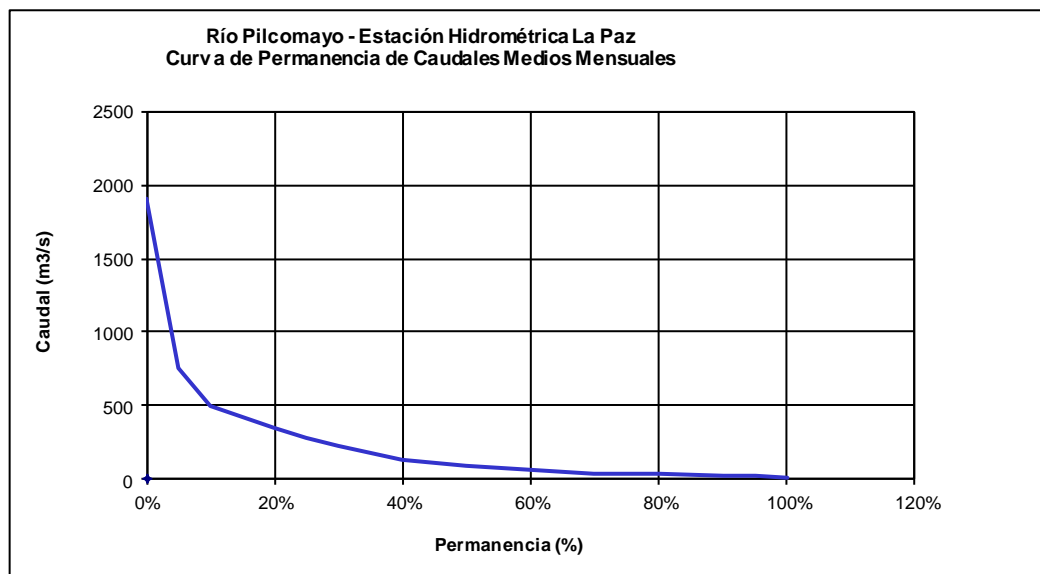


Figura 32 Serie de caudales medios, máximos y mínimos mensuales en Estación la Paz, extraídos de la serie 1960-61 1993-94

En la Figura 33 se ha construido la curva de permanencia de los caudales medios mensuales, la misma permite evaluar qué porcentaje del tiempo es de esperar que se presente cada uno de los caudales.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 33 Curva de permanencia de caudales medios mensuales en Estación La Paz**

Por último se realizó un estudio de valores extremos, para el período 1960-61 a 2006-07, con el objeto de determinar los caudales máximos que pueden producirse en la sección correspondiente a la Estación La Paz y con qué frecuencia lo harán. Este estudio que es de tipo estadístico consiste en el ajuste de una función de distribución, distribución de Gumbel, a la serie de caudales máximos medios diarios y a la serie de derrames anuales. En la Tabla 13 se resumen los resultados obtenidos.

**Tabla 13 Ajuste de distribución Gumbel para derrame anual y caudal máximo medio diario en Estación La Paz**

Tr. (años)	Derrame Anual hm3	Caudal (m3/s)
2	6150	1715
3	7323	2138
5	8630	2609
10	10272	3201
25	12348	3948
50	13887	4503
100	15415	5054
200	16.937	5604

Para los últimos 30 años de la serie se han calculado los caudales máximos medios diarios con la función de extremos tipo I de Gumbel los caudales para distintos periodos de recurrencia, se muestran los resultados en la tabla siguiente.

**Tabla 14 Ajuste de distribución Gumbel Tipo I para caudal máximo medio diario en Estación La Paz**

Tr (años)	Caudal (m3/s)
2	1956
3	2428
5	2955
10	3616
25	4452
50	5072
100	5687
200	6300

Es importante destacar que para la serie más moderna se incrementan los caudales más del 13% para la misma recurrencia que para la serie completa.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Se han estudiado también los aportes sólidos aforados en la estación, de los mismos se desprende que en promedio el contenido de material sólido es de 21 gr/l, lo que constituye un valor de considerable magnitud y que se corresponde con las características de sedimentación del Río Pilcomayo, el aporte anual es de 90.000.000 de toneladas por año provenientes de la cuenca alta Boliviana, que se depositan en la cuenca baja.

Si consideramos los valores consignados en la estadística hidrológica para el año hidrológico 83-84 el derrame anual es 14246 hm<sup>3</sup> y el caudal máximo medio diario 4585 m<sup>3</sup>/s, lo que implica que cruzando estos valores con los resultados anteriores, se le asigna a este año hidrológico una recurrencia de 100 años en cuanto a derrames y una recurrencia de entre 50 y 100 años en relación a los caudales máximos.

**4.4.3 ESTACIÓN FORTÍN NUEVO PILCOMAYO**

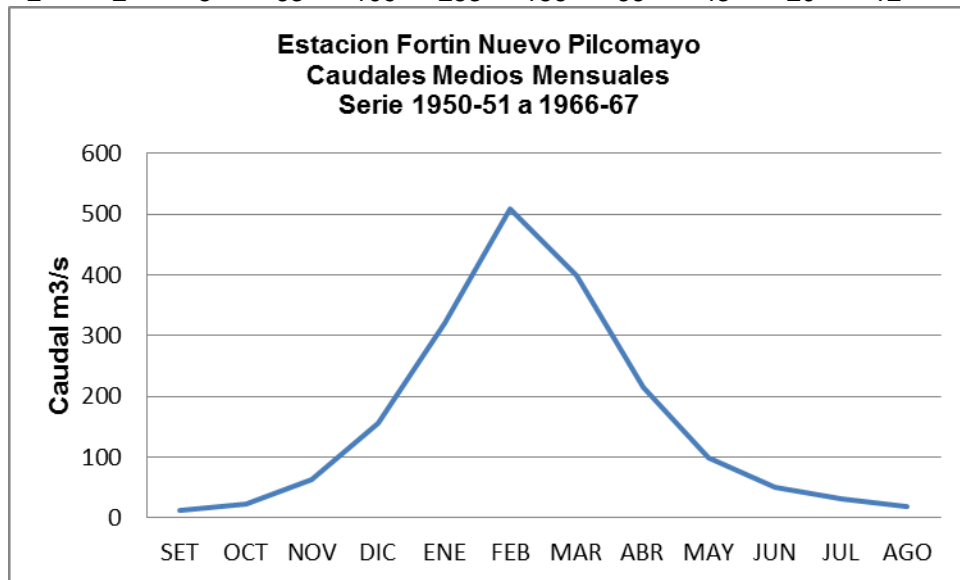
Las observaciones fueron realizadas entre enero 1949 hasta abril 1968. En esta última fecha se suspendieron las mediciones debido al taponamiento del cauce.

En el período de operación el derrame medio anual fue de 4829hm<sup>3</sup>, que equivale a un caudal medio de 153m<sup>3</sup>/s.

A los efectos de la caracterización, se han tabulado los valores medios, mínimos y máximos. En comparación con la estación de Misión La Paz el módulo es inferior, sin embargo si se tiene en cuenta que este período ha sido más seco en la cuenca alta es lógico que así suceda.

**Tabla 15 Caudales medios mensuales y anuales en m<sup>3</sup>/s. Estación Fortín Nuevo Pilcomayo**

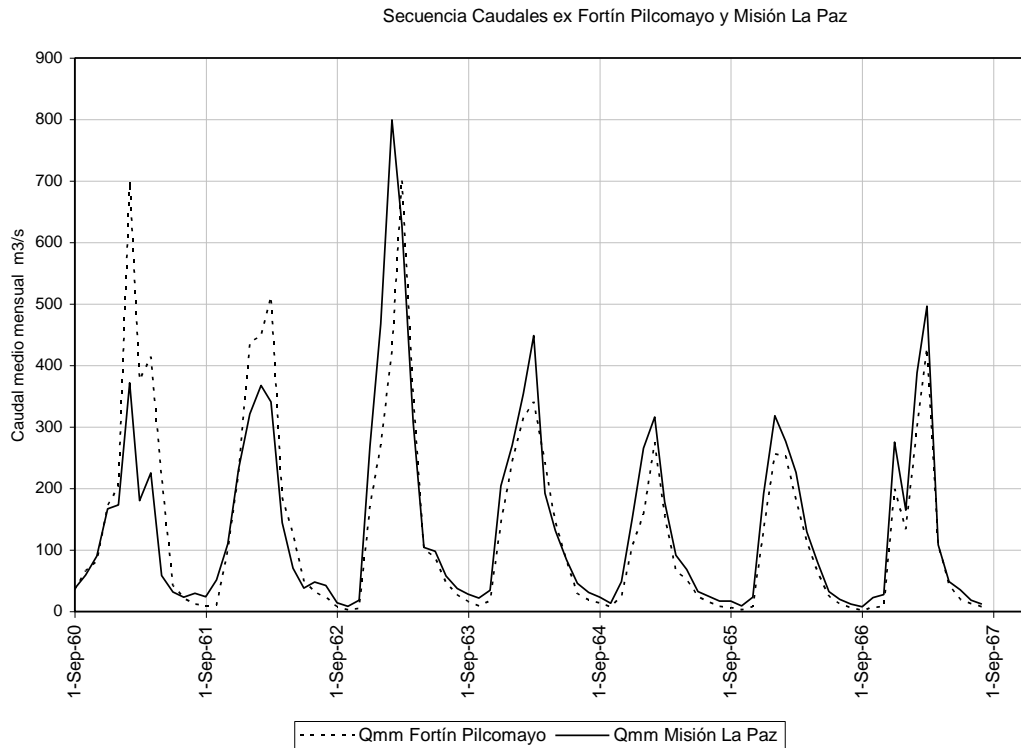
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	ANUAL
Promedio	13	23	63	156	321	509	399	215	99	51	31	19	153
Máximo	36	116	256	258	612	862	720	489	218	117	60	42	242
Mínimo	2	2	5	63	109	253	156	66	43	20	12	4	74



**Figura 34 Distribución en el año de caudales medios mensuales en Estación Fortín Nuevo Pilcomayo Serie 1950-51 a 2066-67.**

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

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 35 Caudales medios mensuales Fortín Pilcomayo y Misión la Paz Serie 1960 a 1967.**

En las series comparadas, 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 más frecuente con una pérdida de masa entre; Misión La Paz y Fortín Pilcomayo se obtiene la siguiente relación que se ilustra en la **Figura 36**.

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

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

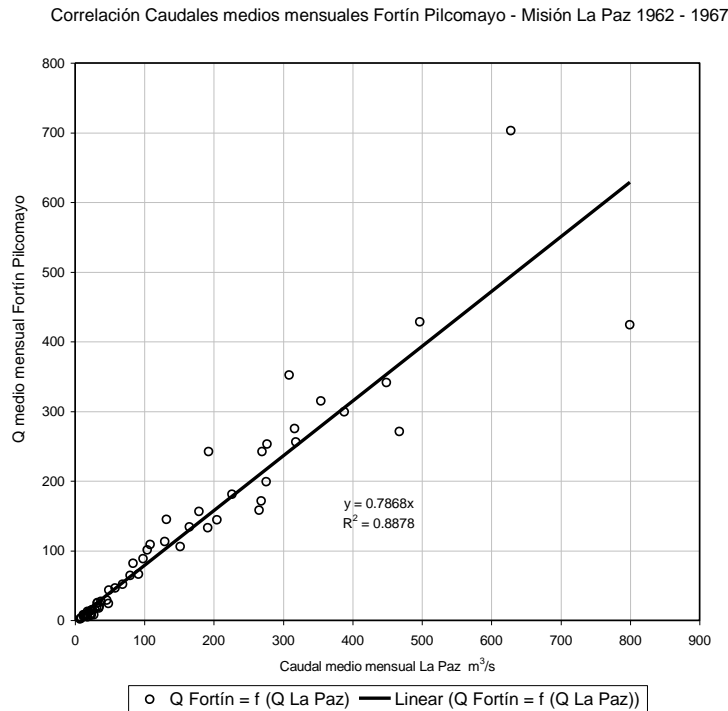


Figura 36 Correlación Caudales medios mensuales en Fortín Pilcomayo y Misión la Paz Serie 1960 a 1967.

**4.4.4 RÍO CARAPARÍ EN PUENTE CARRETERO**

Esta cuenca está ubicada en el oeste de la cuenca baja y tiene un área de 850 km<sup>2</sup>, la serie se extiende entre 1942-43 y 1960-61 y se han volcado en la tabla a efectos de esta caracterización los valores medios, máximos y mínimos.

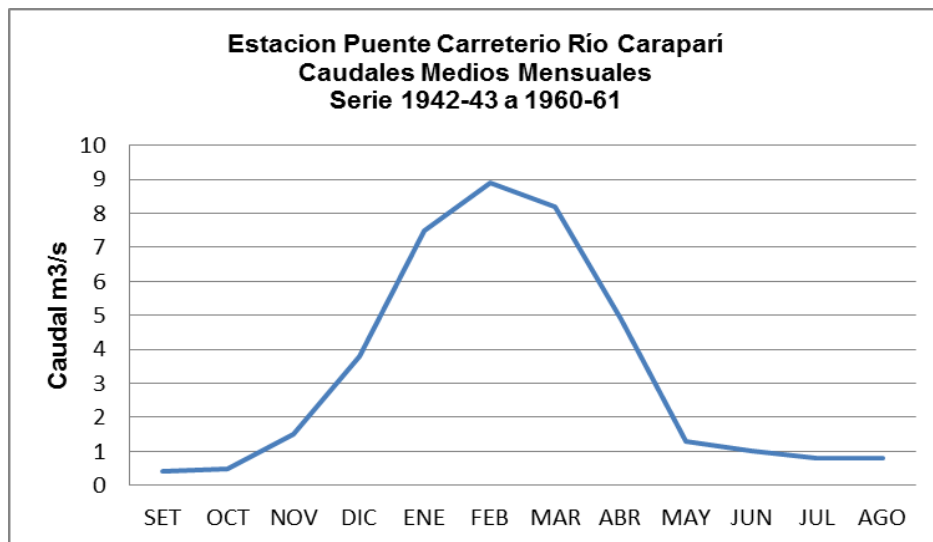


Figura 37 Distribución en el año de caudales medios mensuales en Estación Puente Carretero río Caraparí Serie 1942-43 a 2060-61

**4.4.5 CAUDALES DEL RIACHO PORTEÑO EN LA ESTACIÓN EL ESPINILLO**

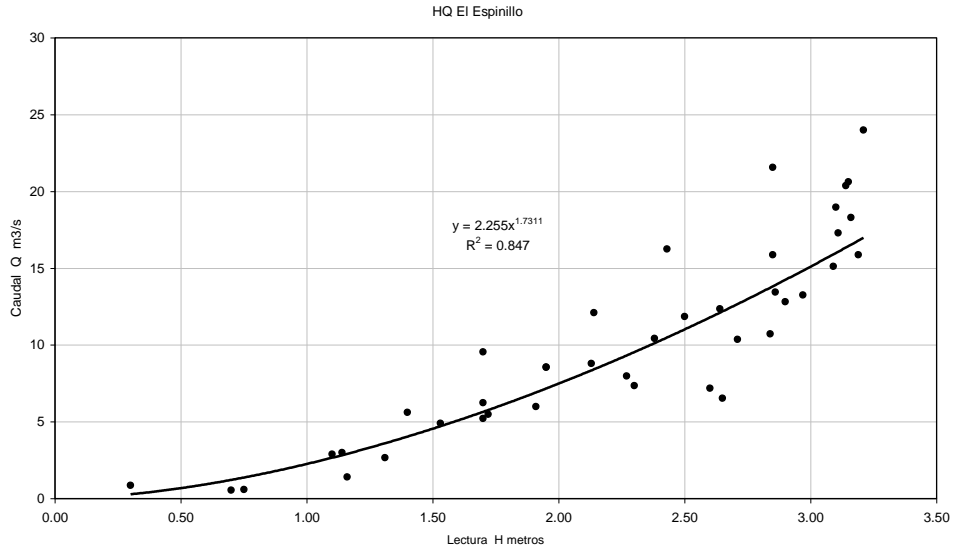
A partir de información de aforos provista por la Dirección de Agua y Suelos de la Provincia de Formosa se determina la relación altura caudal del Riacho Porteño en El Espinillo.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

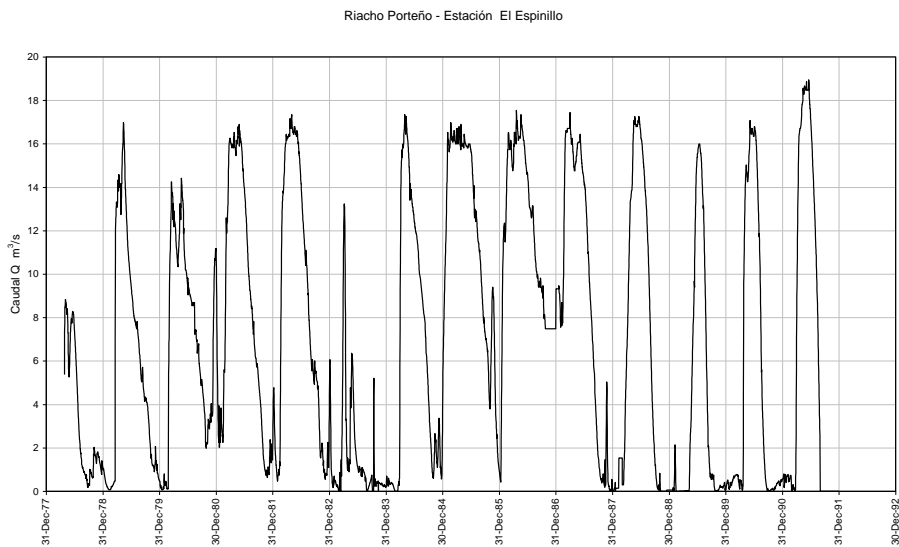
Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

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  $17\text{m}^3/\text{s}$  y el caudal medio es del orden de  $8\text{m}^3/\text{s}$ .



**Figura 38 Relación Altura Caudal en Estación El Espinillo de Riacho El Porteño**



**Figura 39 Serie de caudales obtenida a partir de la Relación Altura Caudal en Estación El Espinillo de Riacho El Porteño entre los años 1977 y 1991**

### 4.4.6 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.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

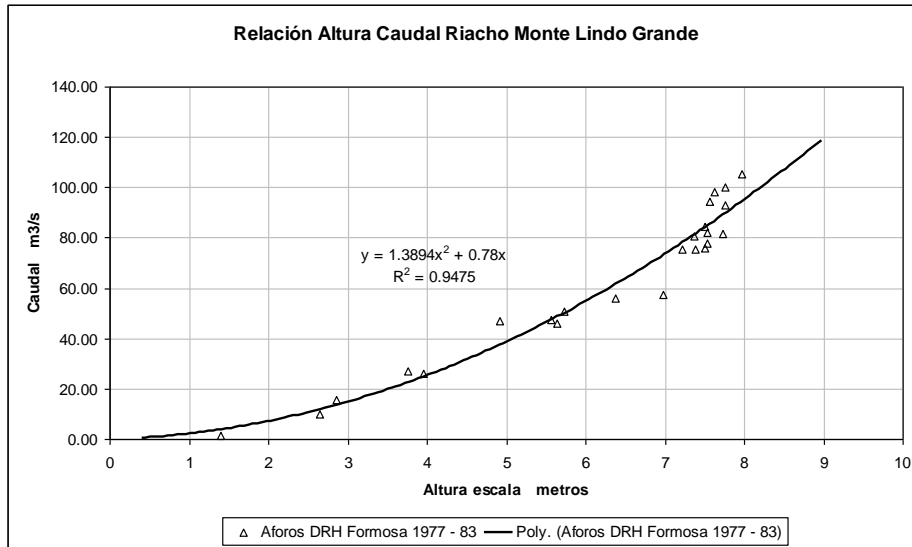


Figura 40 Relación Altura Caudal Riacho Monte Lindo Grande

#### 4.4.7 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.

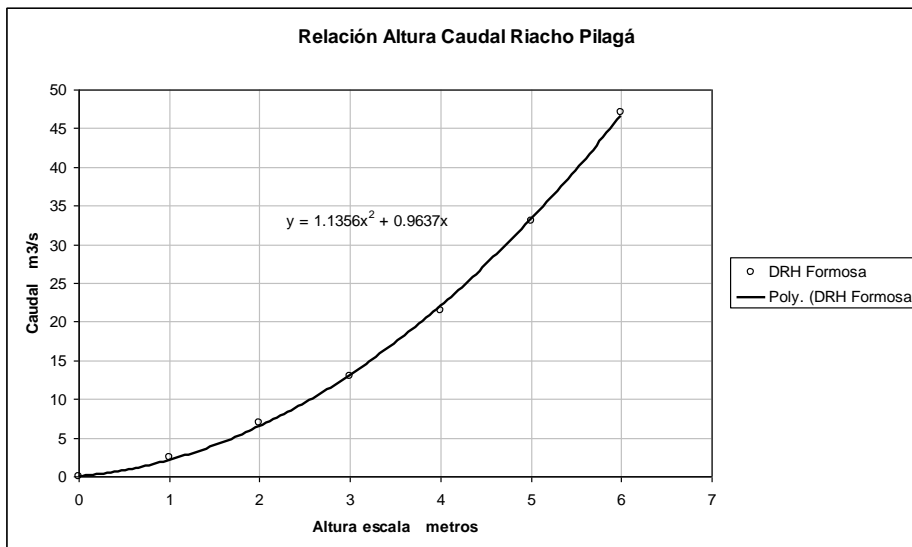


Figura 41 Relación Altura Caudal Riacho Pilagá

#### 4.4.8 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.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

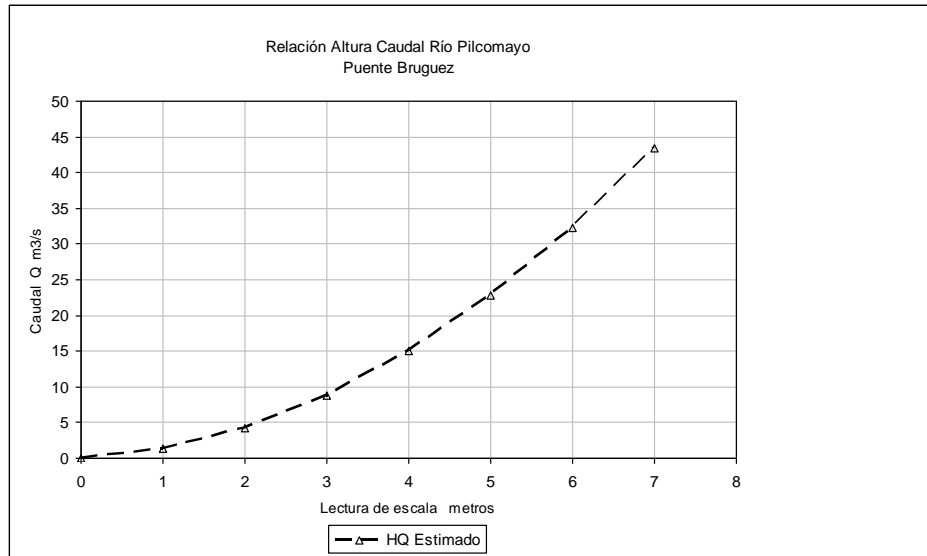


Figura 42 Relación Altura Caudal en estación Gral. Bruguez

#### 4.4.9 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS DE CAUDAL EN ESTACIÓN MISIÓN LA PAZ Y VILLAMONTES

En el informe final sobre recursos hídricos, preparado por Halcrow y Serman & Asociados se procedió al análisis de valores extremos obteniendo recurrencias para valores de caudales máximos y mínimos.

##### 4.4.9.1 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  $\mu$  el valor medio de la serie y  $s$  el desvío estándar.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

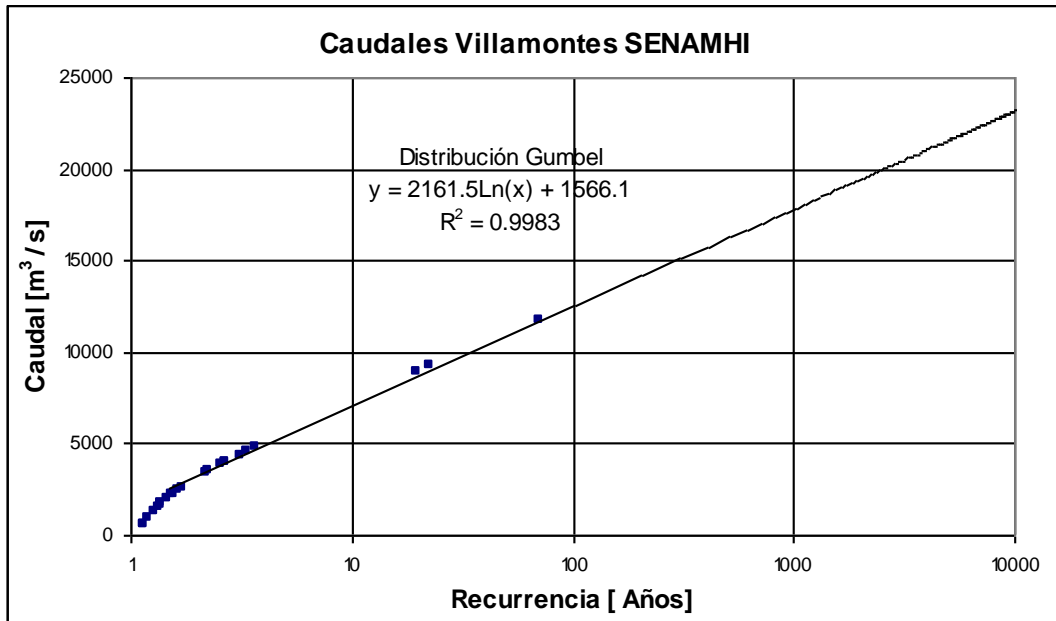


Figura 43 Ajuste de serie de caudales de Estación Villamontes a serie de Gumbel

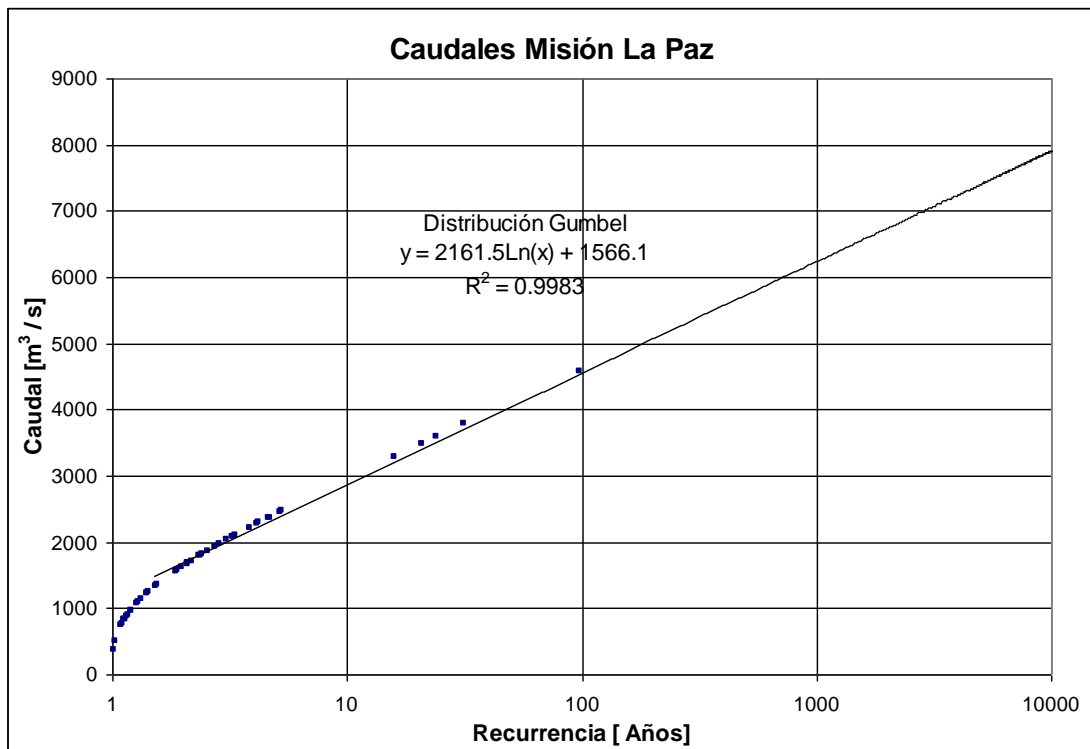


Figura 44 Ajuste de serie de caudales de Estación Misión La Paz a la serie de Gumbel

#### 4.4.9.2 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:

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

Dónde:

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

**P** ( $Q_{\text{mín}} < Q_o$ ), 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:

**Tabla 16 Recurrencia de caudales mínimos en Misión La Paz y Villamontes**

RESUMEN DEL AJUSTE ESTADÍSTICO			
Estación	Constantes de ajuste		R2
	a	b	
Misión La Paz	16.9250	-0.7804	0.8622
Villa Montes datos Proyecto Pilcomayo	56.4620	-1.5775	0.9185
Villa Montes datos SENAMHI	35.3600	-0.7270	0.8477

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 5 USOS DEL AGUA, ESTUDIO DE LA DEMANDA

### 5.1 ANÁLISIS REGIONAL DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA

En los antecedentes se exponen datos de cuantificación de la oferta y demanda de agua en la cuenca baja del río Pilcomayo, la cual se resume a continuación.

La Tabla 17 discrimina la demanda de Argentina y Paraguay abarcando todos los usos instalados en la región ( consumo humano, agrícola y ganadero).

**Tabla 17 Demanda regional aproximada. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007**

	Demanda (Hm <sup>3</sup> /año)	Población (Habitantes)		Demanda (m <sup>3</sup> /persona/año)
Cuenca Baja (Argentina)	34	209000	(1)	163
Cuenca Baja (Paraguay)	97	121000		802
Total	131	330000		964

(1) No incluye a la ciudad de Formosa.

Las demandas según la tabla anterior resultan bajas si se las compara con los requerimientos de agua internacionalmente aceptados como necesarios para producir el alimento básico de una dieta alimenticia que son del orden de los 1300m<sup>3</sup>/persona/año (Rockstrom, 2002). Este valor estándar surge de calcular el requerimiento total de agua en un suelo para producir el desarrollo de los cultivos independientemente del origen del agua, ya sea por infiltración directa del agua de lluvia o aporte por riego.

La oferta de agua, también en forma regional y aproximada, se sintetiza en el siguiente cuadro.

**Tabla 18 Oferta regional en la cuenca baja. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007**

		Oferta (Hm <sup>3</sup> /año)		Población (Hab)	Oferta (m <sup>3</sup> /persona/año)
Cuenca Baja (Argentina)	Agua subterránea	0.16	(2)	209000	26.35
	Escorrentía del Este formoseño	5100	(3)		
	Escorrentía Oeste formoseño	406	(3)		
Total		5506.16			
Cuenca Baja (Paraguay)	Agua subterránea	0.16	(2)	121000	102.38
	Escorrentía del Este Paraguayo	12100	(3)		
	Escorrentía Chaco central	288	(3)		
Total		12388.16			

(2) En Paraguay se asumió una disponibilidad de agua subterránea promedio de 5l/s a excepción de la porción más oriental que carece de este recurso.

En Argentina, en comparación con el territorio paraguayo de la cuenca baja, presenta una menor disponibilidad hídrica subterránea a excepción del sector extremo oeste donde ha comenzado a

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

explotarse el acuífero terciario subandino. A los fines de este trabajo se asumió también un rendimiento medio de 5l/s

(3) Los valores de escorrentía fueron obtenidos del balance hídrico de la LBAyS. Los valores correspondientes al Este formoseño fueron parcialmente contrastados con los únicos aforos que estuvieron disponibles: en el Riacho El Porteño en Espinillo. **Ninguno de estos valores incluye el posible aporte proveniente del río Pilcomayo.**

### 5.1.1 CONCLUSIONES

Para la cuenca baja argentina se contrastan una oferta de  $23.6\text{m}^3/\text{persona/año}$  con una demanda de  $162\text{m}^3/\text{persona/año}$ . La oferta representa el 15% de la demanda, por lo tanto existe demanda insatisfecha

Se advierte una diferencia notable entre la demanda anual por persona en la cuenca baja argentina respecto de la paraguaya. Los fundamentos de dicha diferencia deberían analizarse con mayor profundidad

Suponiendo un ingreso eficiente del río Pilcomayo que permitiese captar la totalidad del caudal medio anual en Misión La Paz ( $206\text{m}^3/\text{s}$ ), el volumen disponible a distribuir entre ambos países sería de aproximadamente  $6300\text{Hm}^3/\text{año}$ , sin tener en cuenta pérdidas por eficiencia en la obra de distribución y en el sistema de conducción dentro de cada país. Este ingreso potencial superaría holgadamente los requerimientos de demanda.

No obstante, si se realiza un análisis desde el punto de vista del volumen de agua requerido para mitigar el déficit hídrico de la cuenca baja, es decir, a partir de un escenario potencial de demanda la situación es ligeramente diferente. El déficit medio anual, calculado sobre  $43000\text{km}^2$  de superficie estimada como el área de influencia del río Pilcomayo tanto en territorio paraguayo como argentino, es de 367mm. La escorrentía media anual en esa misma región es de 126mm y la lámina que el río Pilcomayo podría aportar sería de 147mm (también a partir de un módulo de  $200\text{m}^3/\text{s}$ ). De estos valores aún surge un déficit de 94mm, lo cual permite concluir que es vital lograr captar en forma racional y predecible las aguas del Pilcomayo ya que representan una lámina de igual orden de magnitud que la escorrentía actual.

## 5.2 DEMANDA SEGÚN USOS CONSUNTIVOS

En la cuenca baja predominan los usos; ganadero y doméstico.

En los antecedentes analizados, se indican valores referenciales de consumo medios diarios y dotaciones para cada variable analizada. Se incluyen a continuación las dotaciones discriminadas por usos;

- Consumo humano:
- Dotación promedio área de proyecto: 140 l/hab.día
- Consumo ganadero:
- Bovinos 25 l/día
- Porcinos 10 l/día
- Equinos 20 l/día
- Ovinos 3 l/día
- Consumo agrícola:

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

- Gravedad: 7000 m<sup>3</sup>/ha año
- Aspersión: 5700 m<sup>3</sup>/ha año
- Microaspersión: 4700 m<sup>3</sup>/ha año
- Goteo: 1500 m<sup>3</sup>/ha año

La discriminación por usos y cuantificación de la demanda será de utilidad en etapas posteriores propuesta de alternativas de obras para mitigar los problemas de disponibilidad de agua. En la sección 10.7 se presentan los cálculos específicos de la zona de influencia de las propuestas.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 6 TOPOGRAFIA

Se dispone de una imagen SRTM en formato DEM (Modelo Digital de Terreno), la cual abarca una superficie de 2869074km<sup>2</sup>, sobrepasando los límites del área de influencia del perfil de proyecto.

El Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtuvo datos de elevación en una escala casi global para generar la más completa base de datos de alta resolución digital topográfica de la Tierra. SRTM es un proyecto internacional liderado por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

La Figura 45 corresponde a la imagen y datos altimétricos disponibles cargados en un software específico para la lectura de este tipo de modelos. El modo de visualización presenta en una escala cromática la variación altimétrica en toda la zona de cobertura.

La resolución del SRTM es de tres segundos lo cual equivale a unos 90metros. Además la imagen corresponde a una proyección geográfica Latitud Longitud, Datum WGS84, y fue tomada en 1999.

En la etapa posterior se incluirá una descripción general de elevaciones particularizando las características en el sector de la o las obras propuestas.

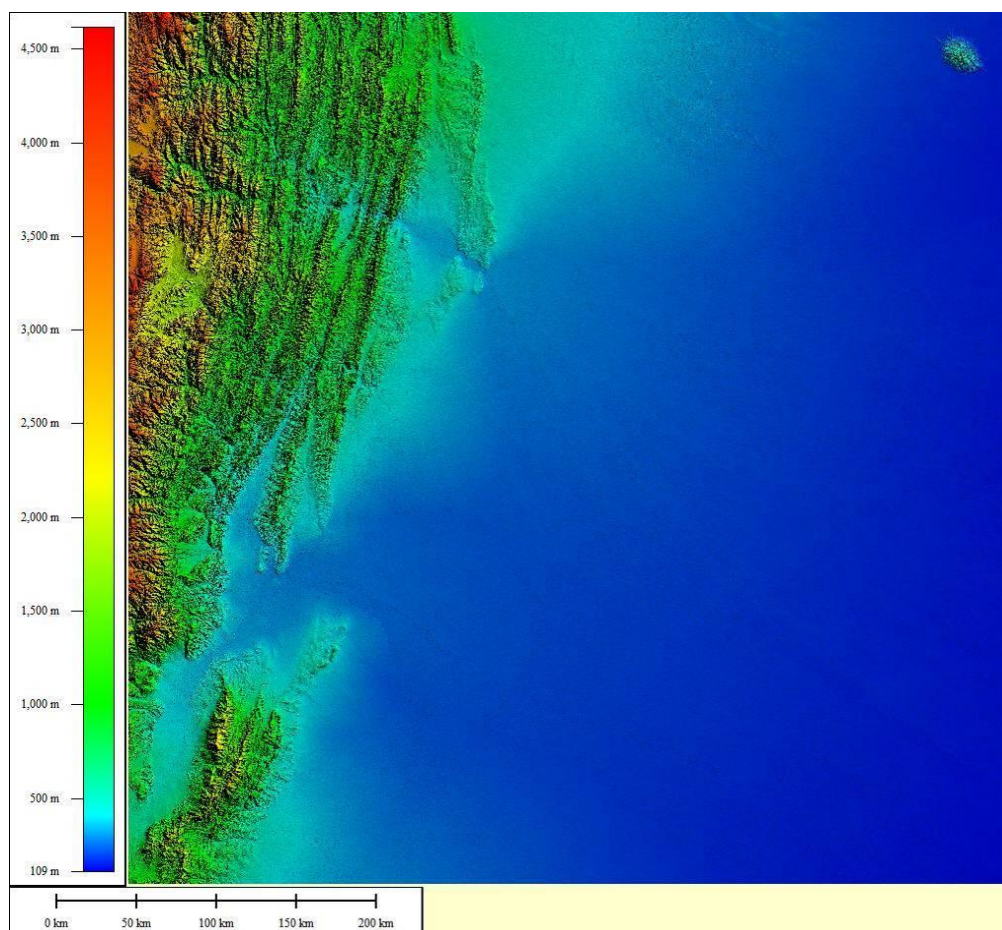


Figura 45 Imagen SRTM que cubre el área de estudio. Mapa de Elevaciones

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **7 APORTE DE SEDIMENTOS**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

En esta instancia se resumen la información y antecedentes disponibles para la caracterización del fenómeno de transporte de sedimentos en la cuneca baja del río Pilcomayo.

Luego una vez definida la zona de intervención y según la obra que se proponga se puntualizar el análisis de aporte de sedimentos acotándolo a dicho sector.

La lectura de los estudios previos analizados lleva a advertir que este es uno de los ítems más controvertidos y fundamentales a tener en cuenta en el lineamiento de las obras que integren la propuesta final del presente perfil de proyecto. El buen manejo de esta variable como condicionante de la o las obras que surjan es un factor decisivo para su éxito o fracaso, según se ha analizado en otras oportunidades para otras obras o proyectos de obras en la cuenca baja.

### **7.2 VOLUMEN Y TIPO DE TRANSPORTE**

El transporte sólido del río Pilcomayo es extraordinariamente elevado. Los datos que se tienen son, en su mayoría del transporte en suspensión (tarquines) y corresponden a las estaciones de Villamontes, Misión La Paz y Fortín Nuevo Pilcomayo.

### **7.3 ESTACIÓN MISIÓN LA PAZ**

Según el análisis más reciente realizado con los datos en Misión La Paz, el volumen anual varía entre los 27 millones de toneladas (1982-1983) y los 288 millones de toneladas (1983-1984, crecida excepcional). El volumen medio es de 125 millones de toneladas por año, lo cual es poco confiable si se toman solo esos dos datos. Sin embargo un análisis más reciente realizado con los datos de 30 años arroja la cifra media de 140 millones de Tn/año con un máximo anual de 300 millones Tn/año. El 80 % del volumen anual pasa por Misión La Paz durante la crecida (Diciembre - Marzo).

En el siguiente gráfico se puede analizar en detalle el comportamiento que ha tenido el sedimento en el transcurso del tiempo. Observándose que en el periodo 1983-2004, ha aumentado significativamente, en proporción al periodo 1963-1983, inclusive en los épocas de crecidas, cuando circula mayor caudal líquido.

Después del volumen total, el segundo aspecto que hay que destacar respecto al transporte sólido es que los datos más modernos en Misión La Paz han permitido separar el transporte en suspensión de la fase fina y gruesa. Resulta que un 89% del volumen total de 140 millones Tn/año es de grano menor a  $62\mu$ , es decir limos y arcillas, mientras que el 11% restante es mayor que  $62\mu$ , es decir arenas.

Otro trabajo con medidas de una campaña en Villamontes indica que un 92.5% era fino (75.4% de limo + 17.1% de arcilla) y un 7.5% era grueso (arena). El primer volumen (fino) es la carga de lavado del río, cuyo origen no puede ser sino la pérdida de suelo en la cuenca por acción de la precipitación, es decir es un material de procedencia remota y difusa en la cuenca andina, cuyo destino sería llegar al mar. El segundo volumen (grueso), en cambio, tiene origen en el cauce o cauces aguas arriba de Misión La Paz y su destino sería un lugar más abajo del cauce.

En el siguiente gráfico se puede observar el contenido de limos y arenas que lleva el transporte en suspensión y el comportamiento que ha tenido en el tiempo.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

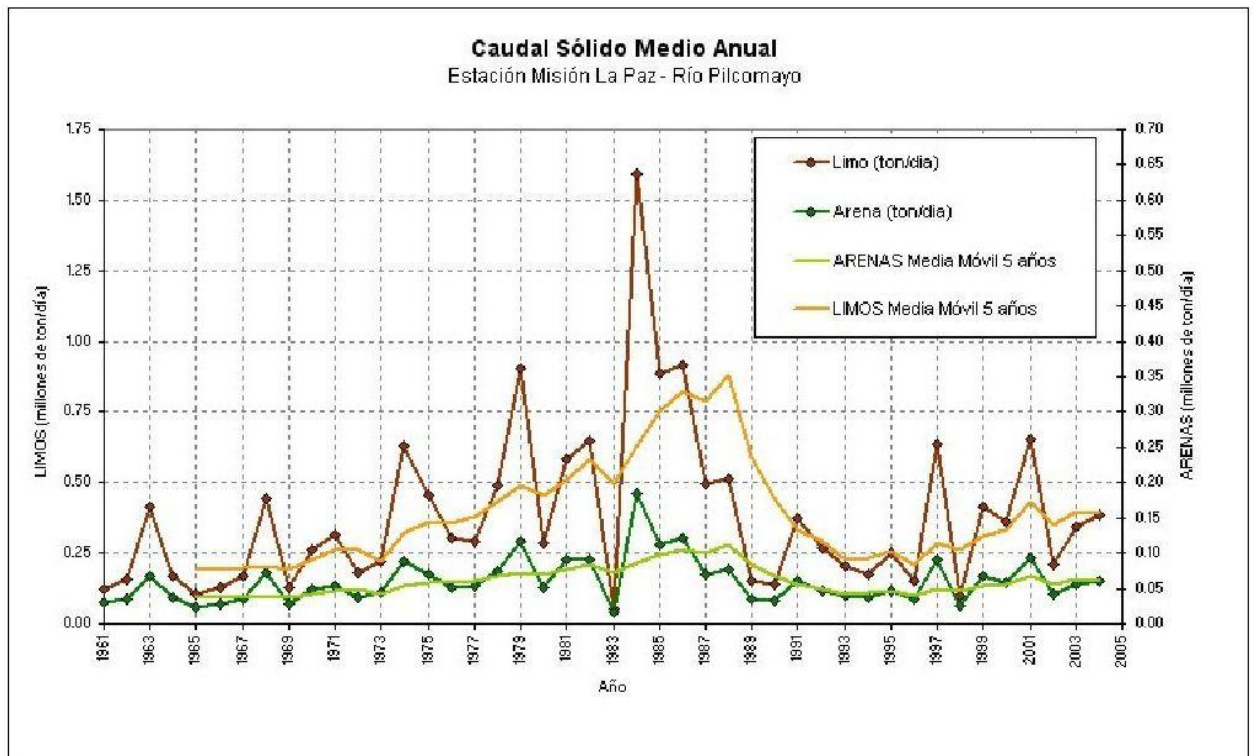


Figura 46 Caudal sólido medio anual en Misión la Paz discriminado según tamaño de partículas

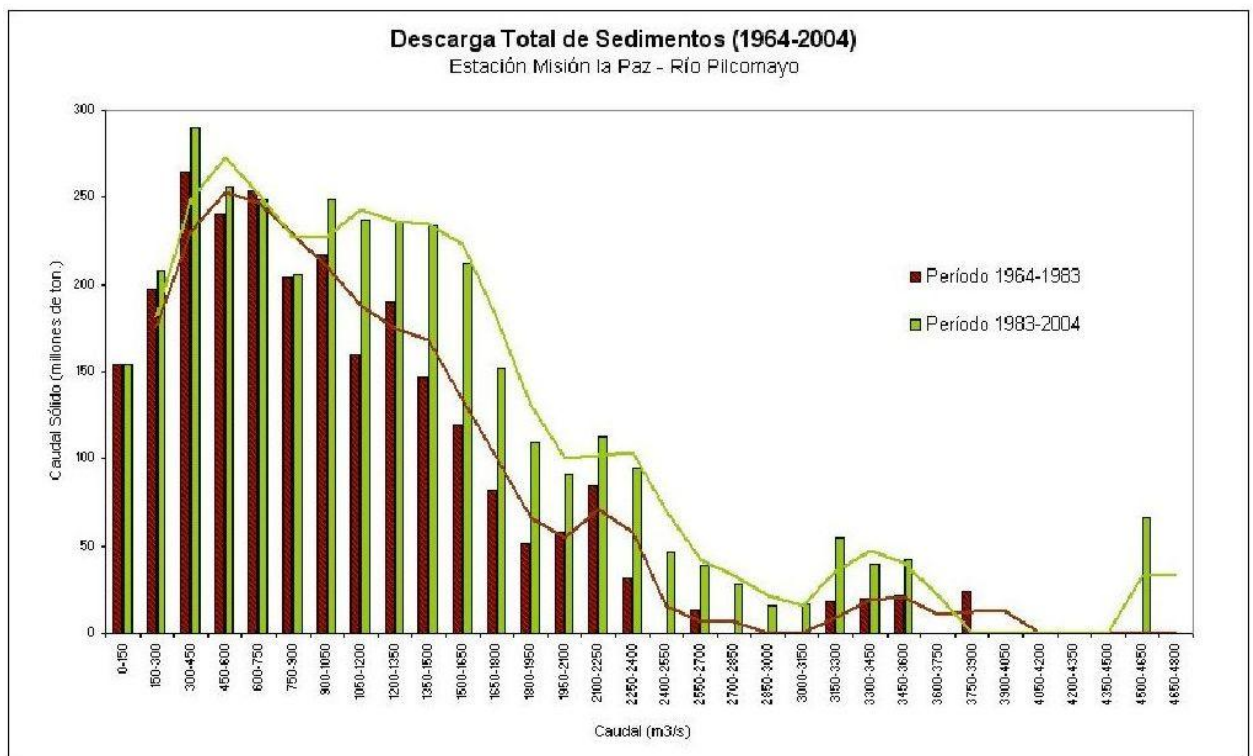


Figura 47 Variación de descarga de sedimentos periodo 1964 - 2004

### 7.4 ESTACIÓN VILLAMONTES

En Villamontes, el Río Pilcomayo transporta un volumen medio de 80-100 millones de toneladas de sedimento cada año (según Guyot y otros, 1990 y Boulloc, 1991). En varios periodos distintos (desde un

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

año, 1962-63, a una campaña en 1988-89) se señala que el transporte sólido ha aumentado con el paso de los años.

### 7.5 ESTACIÓN FORTÍN PILCOMAYO

En Fortín Pilcomayo el volumen medio era de 69 millones de toneladas por año, o sea un 55% del de Misión La Paz (aproximadamente un 60% en años idénticos). El volumen anual varía entre los 19 millones de toneladas (1964/65) y los 142 millones de toneladas.

### 7.6 FUENTES DE SEDIMENTOS

Un análisis del Dr. Martín Vide elaborado en el año 2005, describe que en un 20% de la superficie total de la cuenca, que corresponde a la cuenca alta, representa una producción de sedimento fino del 90% del total.

Una valoración de las áreas productoras de sedimento procede del análisis del transporte sólido en 8 estaciones hidrométricas del río Pilcomayo. Una estación como Talula (cuenca alta), que abraza áreas de erosionabilidad alta en la cartografía, y otra como Ñucchu (cuenca alta), que por el contrario abraza áreas de menos erosionabilidad, dan respectivamente tasas anuales de 1,900 Tn/km<sup>2</sup>·año y de 660 Tn/km<sup>2</sup>·año.

### 7.7 PARTICULARIDADES DEL TRANSPORTE SÓLIDO EN SUSPENSIÓN

Un tercer aspecto de interés del transporte sólido en suspensión es la no linealidad y la histéresis del caudal sólido en suspensión ( $Q_s$ ) en su relación con el caudal líquido ( $Q$ ).

La no linealidad significa que  $c=Q_s/Q$  no es constante, sino que la concentración es elevada en aguas altas y crecidas mientras que es reducida en aguas bajas.

Por su parte, la histéresis significa que las funciones anteriores no son unívocas sino diferentes para la fase de ascenso del caudal de Octubre a Enero y para la fase de descenso del caudal de Marzo a Junio. Un mismo caudal implica mayor caudal sólido en el ascenso que en el descenso.

Las funciones de la concentración deberían ser en rigor  $c=f(Q, t)$ , donde  $t$  simboliza el momento del año. La histéresis puede explicarse como efecto del "lavado" que las primeras lluvias realizan de la cuenca después de un largo tiempo sin precipitaciones.

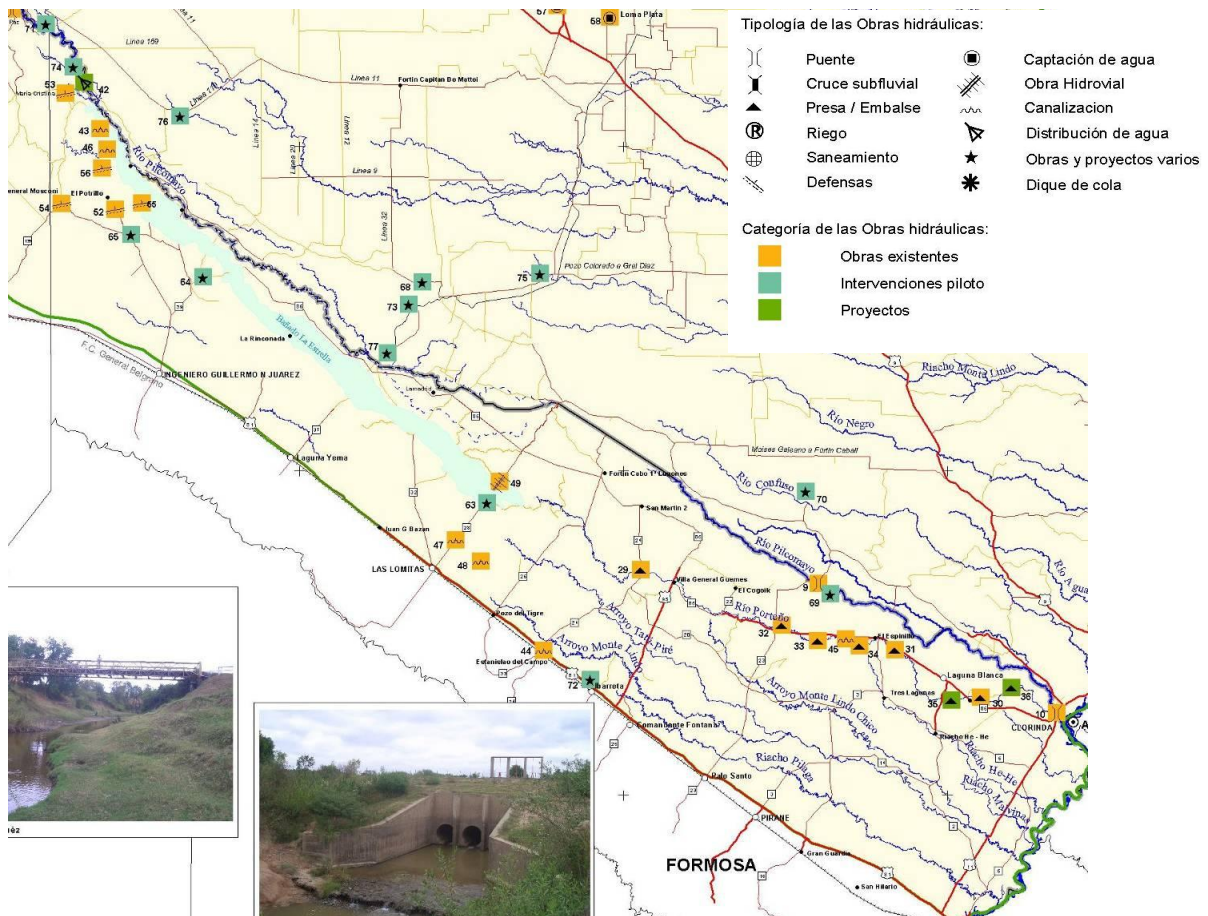
La no linealidad y la histéresis tienen un sentido más: los tamaños de partícula transportados (representados por los tamaños medio  $D_m$  o mediano  $D_{50}$  de las muestras) son menores en ascenso (Octubre a Enero) que en descenso (Marzo a Junio) pero sobretodo son menores en época húmeda que en seca. Es decir hay mayor transporte de finos. Por ejemplo se obtuvo  $D_{50} = 0.004$  mm en una crecida cuando  $c=40$ g/l y en cambio  $D_{50} = 0.006$ mm en la estación seca cuando  $c=1$ g/l [1]. Este hecho es paradójico porque sabemos que una crecida es capaz de transportar tamaños mayores y esperamos que así sea en la realidad. El hecho puede explicarse del siguiente modo: la fracción del transporte con origen en el cauce (arenas) tendría una relación unívoca (sin histéresis) con el caudal ya que el transporte viene determinado completamente por la geometría del flujo y la granulometría del lecho (y en efecto podría llevar en suspensión partículas mayores en crecida). Esta fracción sin embargo es muy pequeña en volumen ( $\approx 11\%$ ). Por el contrario, el transporte con origen en la cuenca aporta un volumen muy grande, mayor en periodo húmedo (y en ascenso) que en periodo seco (y en descenso), de partículas de una granulometría constante producto de la pérdida de suelo. Es la variación de la contribución de esta última fracción (cuya media, indicada antes, es  $\approx 89\%$ ) la que causa la histéresis en las cantidades ( $Q_s$ ) y en los tamaños de partícula medios ( $D_m$ ).

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 8 OBRAS EXISTENTES, EN CONSTRUCCION O PROYECTADAS

### 8.1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE OBRAS

En la cuenca del Pilcomayo existe una variada tipología de obras, las cuales no se caracterizan por su gran envergadura, sino más bien porque son obras de mediano porte que tienden a aprovechar el recurso en las medidas de las posibilidades. La Figura 48 es un resumen de; obras que existen y funcionan en la actualidad, intervenciones y proyectos futuros.



**Figura 48: Mapa de Obras Hidráulicas. Significativas. Fuente: Estudio de base ambiental y socioeconómica de la cuenca del río Pilcomayo. Fuente: Halcrow – Serman & Asociados, Año: 2007**

La siguiente tabla, presenta referencia de las obras que se encuentran en la cuenca baja del Río Pilcomayo del lado argentino.

Denominación	Obra
29	Regulación Riacho Porteño en proximidades Ruta N° 24
30	Laguna Naick Neck
31	Presa País Curuzu
32	Presa San Isidro
33	Presa Misión Tacaglé
34	Presa Apayarey
35	Presa Cedro 13

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Denominación	Obra
36	Presa San Juan
43	Canal Farías
45	Riacho El Porteño y HEHE
46	Zona Correderas Fluviales
47	Canal Ruta N° 28. Las Lomitas
48	Canal Ruta N° 28.Monte Lindo
49	Obra Hidrovial N° 28
52	Defensa Localidad Palmar Largo
53	Defensa Localidad María Cristina
55	Defensa Localidad El Potrerillo
56	Defensa Ramón Lista

Como se observa en la tabla y figura anterior las obras que se pueden encontrar en su mayoría son presas, defensas y canales.

Las presas, tienen como función principal cubrir la necesidad de almacenamiento que existe durante las épocas de estiaje y son de varios tipos.

Son comunes las presas de pequeña altura, con compuertas, y que conforman un sistema encadenado como es el caso por el sistema del riacho el Porteño en la zona de Formosa, cercano a la ruta 24 (Figura 48). El uso que poseen, en la mayoría de los casos, es para suministrar agua para riego o provisión de agua potable.

Presas de mayor envergadura se encuentran en la provincia de Salta, como es el caso de la presa de Itiyuro. Esta presa, por las características del lugar en donde está emplazada, se encuentra totalmente colmatada. Su función era la generación de energía eléctrica y agua para riego; como consecuencia de la colmatación del embalse, en la actualidad, su único uso es el de provisión de agua para consumo humano.

Las defensas, son básicamente protecciones contra las inundaciones, que se encuentran en la cuenca baja, sobre todo en la zona de Formosa, aguas abajo de la zona de emplazamiento del proyecto del Pantalón. Por lo general, son terraplenes de tierra que permiten proteger a las localidades y encauzar las aguas de los desbordes del río Pilcomayo como así también utilizarlas como áreas de circulación vial.

Los canales o correderas son la obra típica de estas zonas. Se destaca el Sistema Norte que nace en un punto de toma principal en el río Pilcomayo, correspondiente al Proyecto Pantalón y en el que el río ingresa en territorio argentino a través del canal Farías. Siguiendo por el sistema Cañada del Hacha, dividiéndose en dos canales principales, el canal Aguará y la cañada Campo del Hacha- para luego continuar por el canal Tucumancito. Ver Figura 49.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 49: Ubicación de Sistema Norte de Canales.**

En el sur, desde el bañado La Estrella, nacen tres puntos de toma principales:

- 1- La toma del Río del Norte aproximadamente a la altura de la Comunidad Aborigen El Descanso.
- 2- La toma por el Cauce del Río Salado, que al llegar a la laguna La Salada abastece hacia el norte a los riachos El Porteño y He He. Y hacia el sur a los cauces Pavao, TatuPire y Monte Lindo Grande (cuyos cauces se quedaban sin agua durante los meses de septiembre, octubre y noviembre).
- 3- Canalización que alimenta por una parte al río Monte Lindo y por otra a pequeños productores ganaderos (sin estructura).

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

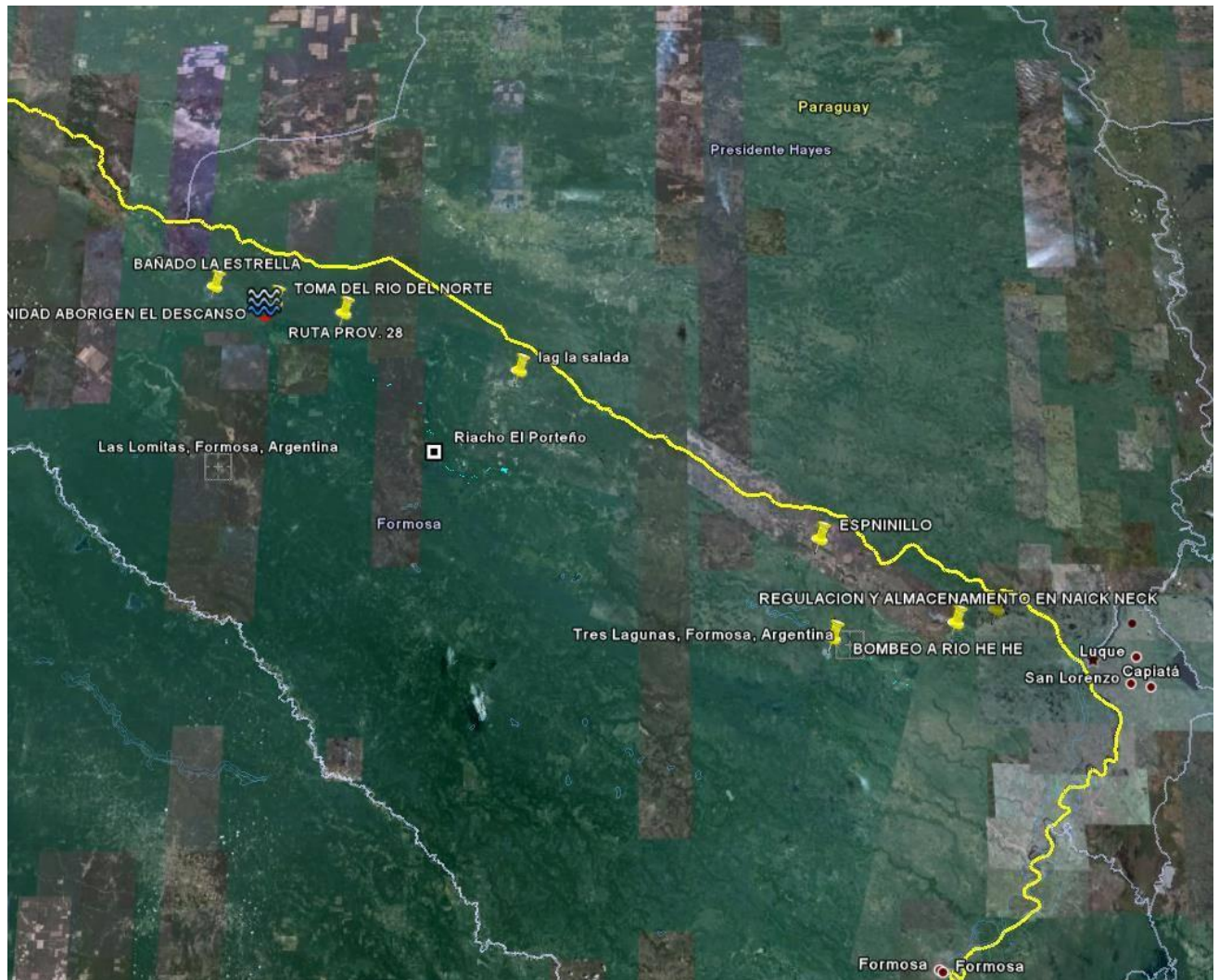


Figura 50: Ubicación de Canales y Tomas.

## 8.2 DESCRIPCIÓN DE OBRAS DESTACADAS

Dentro de los proyectos más relevantes y que fueron producto de muchos estudios en la cuenca, podemos citar: Obra Pantalón, Obra Hidroviál sobre Ruta Provincial N° 28 y Dique Distribuidor. A continuación se describirá la localización, características y un análisis de las mismas en lo que respecta su funcionamiento hidráulico.

### 8.2.1 OBRA HIDROVIAL SOBRE RUTA PROVINCIAL N° 28

Como una obra particular por sus características se puede mencionar la obra hidroviál de la ruta 28. Esta se localiza cercana a la Ciudad de Las Lomita, Provincia de Formosa. Figura 51

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 51: Obra Hidro-Vial Ruta Nº 28.**

La obra es un dique longitudinal y de baja altura que cuenta con tramos que operan como aliviaderos de crecidas, los cuales se indican en la Figura 51 con la denominación de compuerta y vertedero. Esta obra funciona como carretera y al mismo tiempo permite almacenar agua. El vertedero es de hormigón y posee una longitud aproximada de 1600 m.

Las siguientes fotos describen el comportamiento de la obra, como obra vial, de almacenamiento y regulación.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



Figura 52: Foto Vertedero hacia el Sur.



Figura 53: Foto Vertedero hacia el Norte



Figura 54: Zona de Vertedero.



Figura 55: Zona de Compuerta.



Figura 56: Zona de Vertedero. Fuente: Evarsa



Figura 57: Zona de Compuerta. Fuente: Evarsa

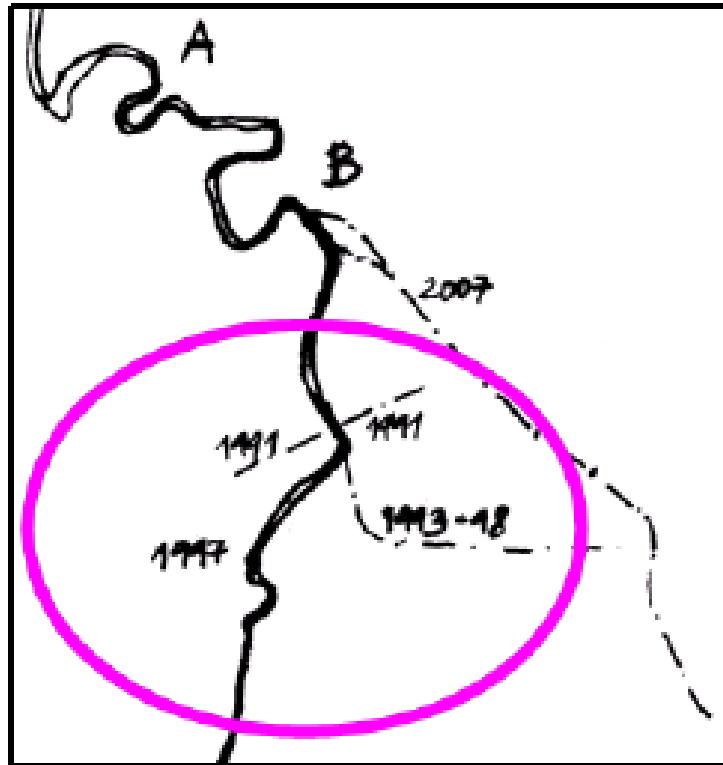
### 8.2.2 OBRA PANTALÓN

La obra el pantalón ha tenido varias localizaciones ya que la idea de intervenir en el cauce por medio de canales de derivación se aplicó por primera vez en 1977. El objetivo de los canales, uno por el lado paraguayo y otro por el lado argentino, fue frenar el retroceso del río y dividir el caudal en partes iguales para el aprovechamiento equitativo del agua por los dos países. Ambos canales funcionaron con varias

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

vicisitudes en el periodo 1977-82 pero tuvieron que ser cerrados para calmar el conflicto por el reparto del agua entre los dos países.

La misma medida se aplicó de nuevo en 1991, muchos kilómetros aguas arriba, pero actualmente no funciona porque la derivación paraguaya está fuera de servicio desde 1998. La siguiente figura es un esquema del pantalón en sus varias alternativas desde 1991 hasta hoy.



**Figura 58 Esquema de la obra “El Pantalón”. Fuente: Dr. Martín Vide.**

De los dos canales construidos en 1991, el de Paraguay orientado ligeramente aguas arriba no prosperó. Un nuevo canal paraguayo de 1993 con una toma más tangente a la corriente seguido de una curva sí tuvo éxito, lo que dio lugar a que en 1995 se colmate el canal argentino.

En 1996-97 se construye el nuevo canal argentino (canal Farías) y en 1998 queda colmatado el canal paraguayo de 1993. Desde entonces todo el Pilcomayo se lleva por el canal Farías, la cañada del Hacha y el canal Tucumancito.

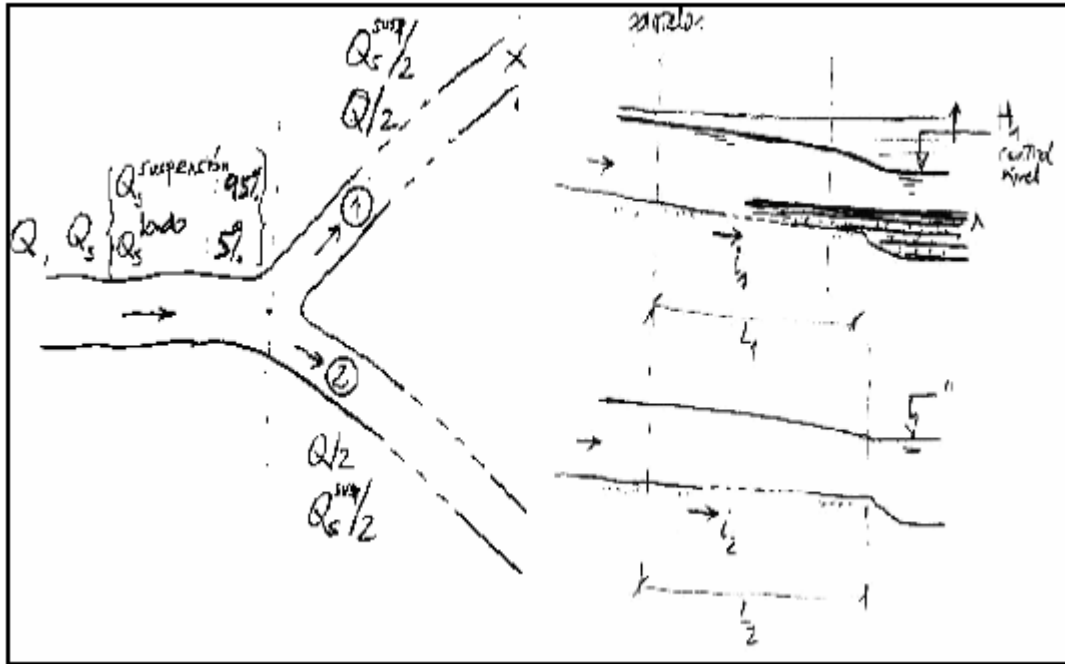
### **8.2.2.1 Análisis de estabilidad del pantalón**

A continuación se resumirán los estudios que efectuó el Dr. Martín Vide para el informe de la Comisión Europea en el año 2005.

La estabilidad del pantalón como sistema de división de un cauce en lámina libre en dos cauces se puede analizar usando principios elementales de hidráulica fluvial.

Los cauces son canales en régimen lento (subcrítico) en fondo móvil, para dividir una corriente en dos, más o menos equitativas, el control hidráulico del flujo de agua tiene lugar, como en todo régimen subcrítico, aguas abajo. Por ello, las condiciones en el desagüe determinan el flujo en cada canal. Esto significa que el caudal y la velocidad con que circula el agua en cada canal están determinados sobre todo por el nivel de agua en el punto de desagüe (H1).

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 59 .Esquema de funcionamiento de la obra El Pantalón. Fuente: Problema de sedimentación en el Río Plicomayo-Ing. Martín Vide.**

El transporte sólido del río Pilcomayo es muy cuantioso. Siendo transporte en suspensión el más dominante frente al transporte de fondo, de material menos fino. Aunque no se sabe con exactitud, el primero puede suponerse de alrededor de un 95% del total, frente a un 5% de fondo. El transporte en suspensión está formado a su vez por transporte de lavado de limos y arcillas (un 90% del total en suspensión), pero también por arenas finas llevadas en suspensión (el 10% restante). Todo este material se mueve en el seno del fluido, lo que lleva a que la proporción de los caudales sólidos entre los dos canales coincide con la proporción de sus caudales líquidos, o que la concentración de sedimento en suspensión es la misma en los dos canales. Por ello, el control de este transporte sólido en suspensión también tiene lugar aguas abajo sobre todo por medio del nivel H, igual que el control del caudal de agua. Así pues, el nivel H aguas abajo determina la entrada de un 95% de todo el material sólido a un canal.

Si el nivel de desagüe H es alto, la velocidad es baja y con ello es mayor el riesgo de sedimentación de esta gran cantidad de material en el canal. Un nivel alto lo producen circunstancias como el desagüe en una depresión sin salida para el agua. A este respecto, hay otra sentencia en relación a la construcción de correderas: "hay que asegurar la salida del agua". En realidad el agua siempre encuentra una salida, superficial o subterránea, a costa de subir de nivel, pero sería más bien al sedimento (fino) al que hay que asegurarle una salida para que no quede "atrapado" (sedimentado). Con esto se quiere decir, por tanto, que el canal debe desaguar a una depresión o bien que debe ser largo para dar continuidad al transporte de agua y sedimento.

La sedimentación en el canal o en la región de desagüe hace ascender las cotas de fondo, local o generalmente, y con ello cambia el nivel de desagüe, en sentido de un aumento de nivel a igualdad de caudal, ya que el fondo ha subido. En ocasiones se han descrito sedimentaciones generales de kilómetros de canal y en otras ocasiones cúmulos localizados por ejemplo al final del canal, a manera de un obstáculo al desagüe; también se ha descrito, evidentemente, la desaparición de esteros. En todos los casos esto acentúa la tendencia a la sedimentación en el canal porque disminuye más la velocidad y por tanto se "realimenta" el proceso. El relleno de un estero o bañado es un ejemplo de un desagüe con nivel inicialmente adecuado, cualidad que se va perdiendo a causa de la sedimentación.

Hemos señalado que el nivel H es la variable determinante del funcionamiento del pantalón. Esto puede expresarse en cuanto a la división de caudales (Q) mediante:

$$Q_i = f(H_i, L_i, i_i, n_i, A_i \dots), i = 1, 2$$

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

y en cuanto a la velocidad de circulación ( $v$ ) como

$$v_i = f(H_i, L_i, i, n_i, A_i \dots), i = 1, 2,$$

Donde el subíndice  $i$  sirve para numerar los canales (1 y 2),

$L$ : longitud,  $i$  es la pendiente,  $n$ : coeficiente de rugosidad,  $A$ : área.

Otras variables geométricas (anchura del cauce, perímetro, etc.) completarían la lista de variables.

Estas expresiones simbólicas ayudan a razonar cómo es y de qué depende el flujo de agua en lámina libre en los canales. La variable  $H$  es determinante a igualdad de las restantes variables. Cuanto más largo es un canal más lejos se encuentra el desagüe y por tanto más lejos de la toma está el riesgo de sedimentación. Por ello convienen canales largos, con pendiente elevada y desagüe libre, siendo la posición relativa al río y la orientación de la boca factores menos importantes.

La pendiente del fondo es secundaria porque la pendiente decisiva es la de la superficie libre que no es sino el cociente  $H/L$ . Se dice que los canales en Paraguay pueden alcanzar pendientes de 20 cm/km y en Argentina de 30 cm/km y que esto da ventaja siempre a este último país. Esto sería cierto si el régimen en los canales fuera uniforme.

La rugosidad ( $n$ ) en principio no establece diferencias entre uno y otro canal.

Una vez iniciada la sedimentación, puede intervenir el factor de la rugosidad de la vegetación, pues un cauce parcialmente colmatado (seco en aguas medias y bajas) se cubre de vegetación en poco tiempo (meses) y de ahí ese aumento de rugosidad hará más propicia la sedimentación en el siguiente periodo de crecidas. El área ( $A$ ) y otras variables geométricas no son en realidad variables independientes sino dependientes porque la geometría hidráulica en un medio totalmente aluvial queda determinada por los caudales circulantes.

Se concluye que un sistema de pantalón en un medio totalmente aluvial es intrínsecamente inestable. Sólo si la velocidad media del agua fuera en los dos la misma permanentemente, se mantendría estable. Pero una sedimentación en uno de ellos reduce su velocidad (por causa de un más alto nivel de desagüe) y esto "realimenta" la sedimentación en el mismo canal, en un proceso que no tiene vuelta atrás.

Como prueba del análisis anterior se pueden ofrecer datos históricos y datos de la actualidad. En la historia hasta cuatro veces un canal ha captado todo el río, se ha "convertido en el río", mientras el otro canal quedaba colmatado y desaparecía. Estas cuatro ocasiones fueron:

- 1) al tener éxito el canal B argentino después de 1976
- 2) al mantenerse sólo la toma experimental argentina en 1991
- 3) por el éxito del canal paraguayo (de 1993) que ciega el argentino en 1995
- 4) por el éxito del canal Farías (de 1997) que ciega el paraguayo en 1998.

Parece que probablemente sólo conviven los dos canales de un pantalón durante una crecida (anual). Una crecida anual de varios meses implica una duración significativa del caudal elevado, capaz de modelar los cauces, y un enorme volumen de sedimento capaz de reducir la capacidad o cegar uno de ellos.

La prueba actual de la inestabilidad del sistema de pantalón la ofrece la bifurcación del río entre el "cauce viejo" y el "cauce nuevo" (Briales). No se trata de un pantalón planeado como tal, pero la dinámica es la misma que en un pantalón. El cauce nuevo fue abierto hace un año aprovechando una pendiente mayor en su trazado; hoy ha captado ya prácticamente todas las aguas del mes de marzo. La fuerte crecida de febrero de 2006 (una de las mayores en volumen total de los registros) ha producido una intensa colmatación este año, que ha afectado al cauce viejo, a lo que ha contribuido la división del río en dos brazos (bifurcación o pantalón).

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Si las tomas se realizaran con ayuda de obras civiles (por ejemplo un azud de toma o una solera a la misma cota para los dos canales) no cambia lo fundamental, porque el caudal de agua y del 95% de sólidos que entra a los canales está controlado desde aguas abajo. Para la permanencia del reparto de agua en el pantalón o para revertir la tendencia de entarquinamiento de un canal y afianzamiento del otro, de nada serviría la obra civil de toma.

Hay otro razonamiento de estabilidad que confirma la inestabilidad intrínseca de un sistema de pantalón y trae consigo otras consecuencias. Se trata de la analogía de la balanza de Lane que se puede expresar como

$$Q_s D^{3/2} \leftrightarrow Q^{3/2} i^2 ,$$

Donde; **Q<sub>s</sub>** es el caudal sólido de fondo (aunque es pequeño, éste y el caudal en suspensión de material menos fino son los que determinan la colmatación de los cauces); **Q** el caudal líquido, **D** el tamaño del sedimento, e **i** la pendiente.

Según esta expresión, la división de los caudales líquido y sólido por mitades conduce a sedimentación, porque  $(Q_s / 2) D^{3/2} \leftrightarrow (Q/2)^{3/2} i^2$  es igual a  $1.41 Q_s D^{3/2} \leftrightarrow Q^{3/2} i^2$ , lo cual quiere decir que el equilibrio propio de cada cauce "mitad" es equivalente al de un cauce con mayor transporte sólido.

La consecuencia de este análisis es que el ritmo de colmatación y retroceso del cauce del río Pilcomayo se aceleraría si realmente funcionara el pantalón, de modo que el agua y el sedimento se dividieran en dos partes equitativas entre Argentina y Paraguay. La división en dos (bifurcación) de una corriente cargada de tanto sedimento promueve la sedimentación (la división en muchas partes a modo de estrella la propiciaría más). Por lo tanto, deducimos que el sistema, planeado y deseado desde 1991, consistente en un pantalón que divida el agua por mitades exigiría a uno y otro país una tarea regular de construcción y mantenimiento de correderas aún más intensa que la que actualmente y en los últimos años ha realizado Argentina.

### 8.2.3 DIQUE DISTRIBUIDOR

El dique distribuidor es una obra que se plantea como "Proyecto del sistema distribuidor de aguas y atenuador del retroceso del cauce del río Pilcomayo", en el año 1995. Luego el Ing. Martín Vide, en año 2006, tras realizar estudios de campo en la zona, concluye que la obra es incuestionable como sistema "ingenieril" de reparto de los caudales entre Argentina y Paraguay. Ya que, aguas abajo del dique, el agua se entregaría a unos bañados, uno en cada país.

Esta Obra se localizaría aproximadamente a 35 Km de la zona de taponamiento, es decir de la zona de extinción del cauce. En la siguiente figura se representa la ubicación aproximada del dique, según estudios del Ing. Martín Vide.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



Figura 60 Ubicación Dique Distribuidor por el Dr. Martín Vide.

La obra consistiría en un dique de muy poca altura, con dos vertederos de cota y longitud predeterminada a modo de dos vertederos de pared gruesa.

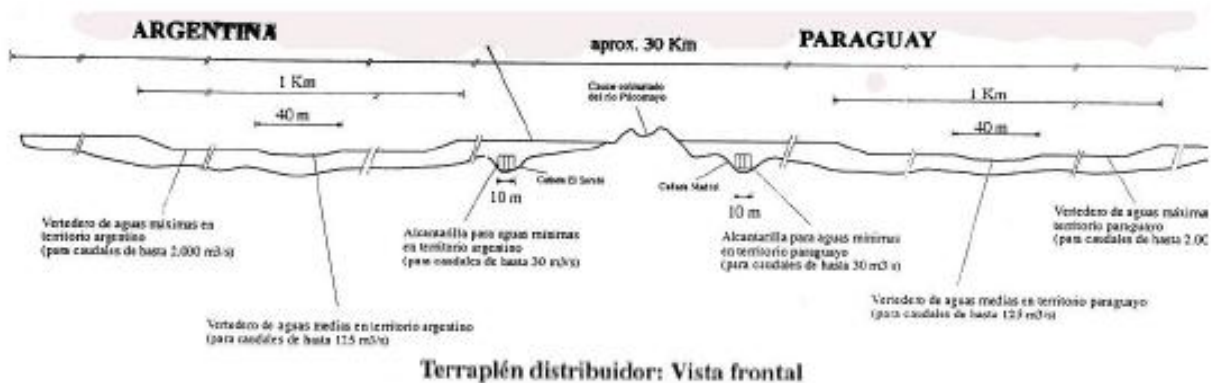
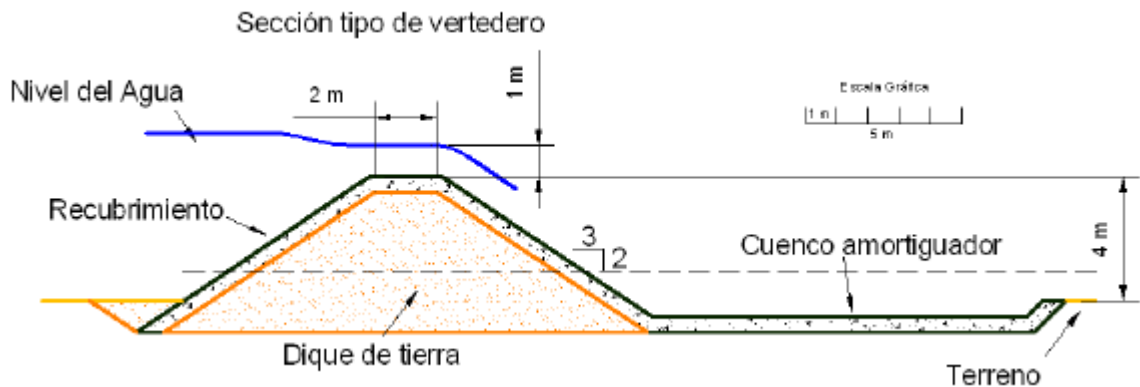


Figura 61 Croquis del perfil longitudinal típico del dique de 1995. Fuente: Problema de sedimentación en el Río Plicomayo-Ing. Martín Vide

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 62** Posible sección tipo de los vertederos del dique distribuidor. El dique mismo tendría obviamente al menos 1m más de altura. Fuente: Problema de sedimentación en el Río Plicomayo- Ing. Martín Vide

Con la obra se consigue asegurar de manera permanente una división de caudales en la proporción que se establezca (esto despejaría de manera permanente el azar del éxito o fracaso en los canales del pantalón).

Se realiza en un lugar en que el agua ya no contiene sedimento (el sedimento habría quedado decantado aguas arriba, en un área del orden de 100 km<sup>2</sup> desde el punto en que el río desaparece).

### 8.2.3.1 Análisis de la implementación de la obra

A continuación se expondrá un resumen del análisis que realiza el Dr. Martín Vide en el informe de misión de Hidráulica Fluvial desarrolladas desde el 06 de noviembre al 1º de diciembre del año 2006, realizado para Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

### 8.2.3.2 Conceptos Hidráulicos

Los conceptos que se analizaron para el proyecto de un dique distribuidor fueron:

#### 1. Sección de control y anegamiento

En un dique distribuidor la condición de ser sección de control estaría en entredicho si el dique fuera muy bajo en relación a los niveles de avenida. Si los vertederos dejan de ser sección de control, deja de asegurarse que la división de caudales sea equitativa. Así pues, el hecho de que el dique no quede anegado en avenida le impone una altura mínima para que el flujo sea libre (no anegado). Ahora bien, este razonamiento se enlaza con ¿cuál es el régimen hidrológico para el que el dique debe realizar una división equitativa?

#### 2. Alimentación de agua de los vertederos

En un dique distribuidor en el área perdida del cauce del río Pilcomayo la alimentación cobra una importancia capital. Esto es así por tres razones

- a) la función de distribución la realiza una pareja de vertederos de poca altura, colocados a kilómetros de distancia entre sí;
- b) toda la planicie abandonada por el río tiene una topografía compleja, con altos y bajos, crestas e interfluvios de hasta 5 m de altura probablemente, altura comparable a la del dique;
- c) el ingreso del agua ocurriría desde el punto final de taponamiento del cauce del río, o desde desbordes laterales hacia uno u otro lado; en todo caso el ingreso sería desde puntos diferentes y cambiantes con el paso del tiempo. La alimentación de los vertederos está pues demasiado determinada por la topografía interior del área abarcada por el dique y por el azar o la necesidad del ingreso del agua.

#### 3. Régimen hidrológico de funcionamiento

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

En el caso del río Pilcomayo el aprovechamiento de las aguas altas y avenidas, es decir de los flujos en el periodo que va de enero a marzo, parece lo fundamental, ya que representan la mayor parte de la aportación anual. El reparto equitativo de estos volúmenes sería la función del dique y su régimen hidrológico sería funcionar de este modo de enero a marzo. La regulación de estos volúmenes de agua, que asegure su aprovechamiento a lo largo del año, incluso en épocas de estiaje, no puede confiarse al dique, cuyo volumen de embalse es muy pequeño, sino a los espacios húmedos o bañados que se encuentran aguas abajo y eventualmente a obras de almacenamiento y regulación, las cuales deberían ubicarse aguas abajo de la ruta 28 para conservar el valor ambiental de los bañados.

Podemos decir, por esta razón, que el dique tiene dos tomas (una argentina y una paraguaya) preparadas para tomar de manera equitativa los caudales de avenida (meses de enero a marzo). Si impusiéramos la misma exigencia de reparto equitativo a los caudales bajos (resto del año) el problema técnico sería más difícil por causa de la alimentación: serían necesarias compuertas en los dos vertederos y un canal de conducción de uno a otro. Estos elementos están presentes en la propuesta de los años 1990 en donde el canal recibe el nombre de hidroequilibrante. Mediante las compuertas se limitaría la toma por uno de los vertederos, mientras el canal que los conecta transportaría el caudal necesario hacia el otro vertedero. Es posible que este canal sea necesario en todo caso para comunicar las dos regiones, superando la cresta que representa el cauce abandonado del río.

### ***8.2.3.3 Implicaciones ambientales de un dique y remedios***

El sábalo migra anualmente hacia aguas arriba cuando descienden las aguas altas del río en el periodo de Abril a Junio. Migra hasta la parte superior de la cuenca baja (Villamontes) donde desova. La región desde la que parte la migración, en donde la especie vive y engorda el resto del año, podría estar aguas arriba de la ubicación (provisional) del dique o bien aguas abajo; no se sabe con seguridad. Si estuviera aguas abajo, la ruta de migración se vería obstaculizada por el dique distribuidor. El impacto ambiental sobre las especies de peces migratorios se debe remediar disponiendo de escalas de peces en el dique distribuidor, al menos una en cada uno de los dos vertederos (argentino y paraguayo).

En sentido positivo, el dique distribuidor puede ser una oportunidad para que las depresiones naturales en el lado paraguayo tengan una alimentación de aguas permanente, semejante a los bañados en el lado argentino. Esto se puede considerar como un valor ambiental de la obra, que depende sin embargo de que un área desde el dique distribuidor se preserve como zona húmeda. La depresión en el lado paraguayo, actuando como bañado, tendría también funciones de regulación hidrológica. En cuanto a limnología y calidad del agua, hay un riesgo de que en los nuevos "lagos" creados por el dique, a modo de nuevos bañados, haya un gran crecimiento de biomasa vegetal, convertida luego en materia orgánica muerta, lo cual lleve a un pH ácido, un clima de reducción y finalmente a condiciones de mala calidad del agua para los organismos vivos, por falta de oxígeno (anoxia). En los bañados naturales, sin intervención de un dique, habría también tendencia a la anoxia pero sólo en un corto periodo de cada año. Es la magnitud de la elevación del nivel de agua y su permanencia lo que sería el causante principal de este proceso.

Frente a este riesgo y debido a que el dique no pretende el aprovechamiento de las aguas bajas, parece interesante colocar alcantarillas en los vertederos. Con estos elementos, llegada la época de aguas bajas, el dique no guardaría un espejo de agua por mucho tiempo sino que se vaciaría. La medida de colocar alcantarillas combate la permanencia de las aguas. Para que la elevación del nivel sea de menos importancia es necesario que los vertederos sean largos. Todavía no se han tratado otros posibles impactos de la obra sobre el ecosistema. Se estima que hay que atender al efecto que tenga el almacenamiento de agua por el dique en la evaporación, en la filtración y en la posible salinización de los suelos. A este respecto, se estima que un dique de 3 m de altura con dos vertederos largos crearía un espejo del orden de 50 Km<sup>2</sup>, cifra relativamente menor en comparación con la extensión de los bañados naturales.

Las siguiente figura son secciones tipo de un dique de 3 m por los vertederos y por una posible escala de peces.



Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **9 CONCLUSIONES DE LA REVISION DE ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS**

Cumplimentado el estudio de los antecedentes disponibles, se clasificó la información contenida en ellos según los ítems más relevantes a tener en cuenta para la propuesta de obras, como ser hidrología, transporte de sedimentos, usos del agua y problemática que se pretende resolver.

Se efectuó un reconocimiento de la tipología de obras construidas y proyectadas, el cual es de gran utilidad por cuanto reflejan de manera directa la tendencia de las acciones en la zona para resolver los problemas de escasez de agua, además de servir como antecedente respecto del éxito o fracaso en su funcionamiento hidráulico.

En las secciones que se presentan a continuación se aborda el análisis de las siguientes variables o tópicos, acotando y profundizando el mismo según el área de influencia de la propuesta;

- Propuesta de zona de intervención.
- Topografía local en base a sensor remoto.
- Análisis de hidrología (según antecedentes).
- Análisis geológico y geomorfológico
- Aporte de sedimentos (según antecedentes).
- Tipología de obras
- Términos de Referencia para el Proyecto de las Obras.

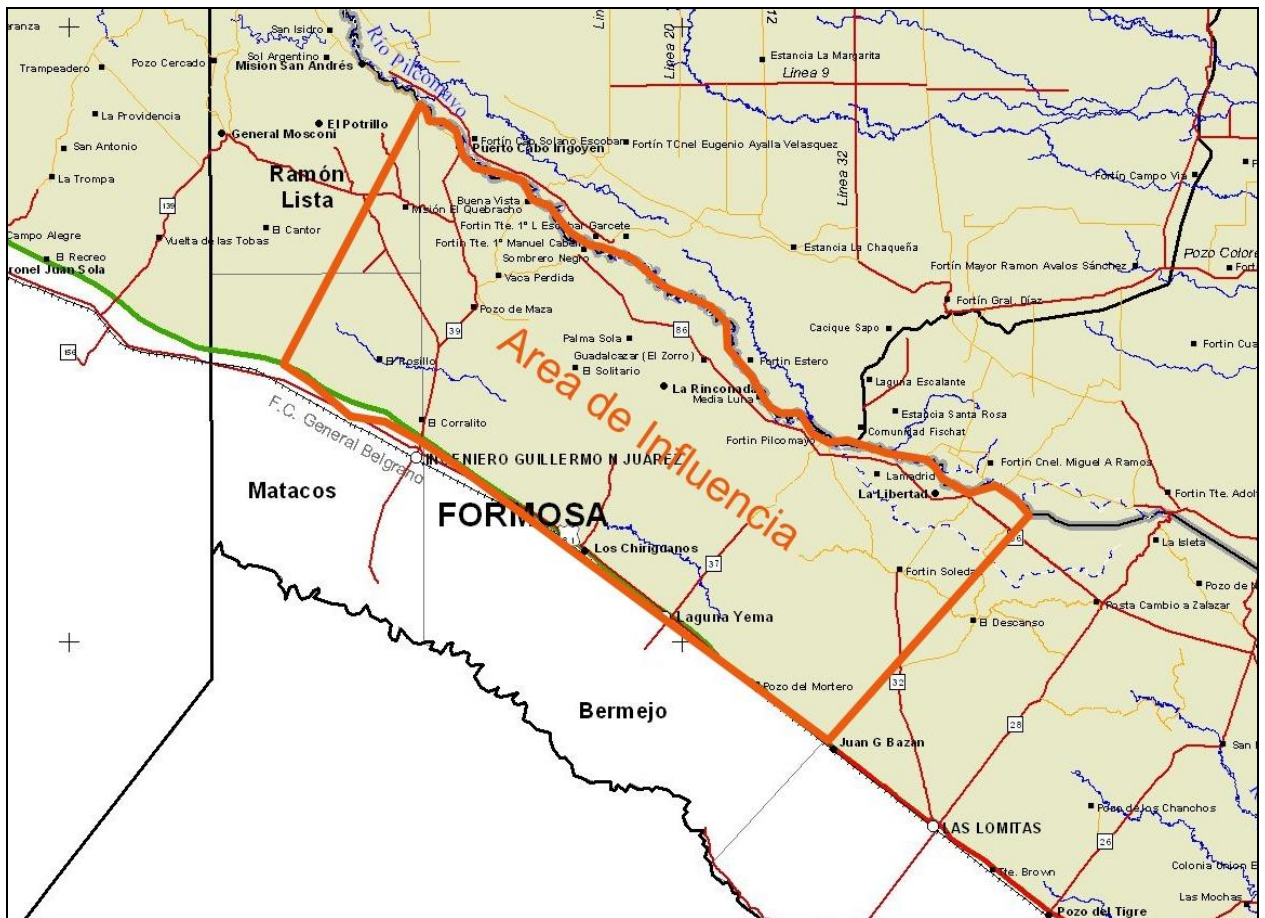
Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 10 PROPUESTA DEL PERFIL DE PROYECTO

### 10.1 ZONA DE INTERVENCION PROPUESTA

La zona de intervención se circunscribe al entorno de la localidad de El Portillo, siendo su área de influencia directa casi coincidente con el departamento Bermejo en la cuenca baja.

Además del área de influencia directa se reconoce que las intervenciones en la zona delimitada, indefectiblemente conllevan efectos que se propagarán aguas arriba y aguas abajo como consecuencia del dinamismo propio de la cuenca.



**Figura 64 Área de influencia de las intervenciones propuestas**

La selección de esta zona para la propuesta, radica en el análisis de la dinámica hídrica y geomorfológica de la cuenca baja, en las problemática advertidas, en los informes antecedentes y en la disposición actual de obras existentes y en estudio.

Este sector, según muestran los estudios antecedentes, guarda cierta distancia del punto de retroceso del río por procesos de colmatación, estando a unos 60km hacia aguas abajo.

En los estudios del Dr. Vide, se distinguen dos sectores diferenciados por los procesos de sedimentación, a partir del punto de agotamiento del cauce próximo a las derivaciones de los canales paraguayo y argentino (Farías). Inmediatamente aguas abajo del tapón y hasta unos 17km aguas abajo se reconoce a la zona como de divagación, luego seguidamente y hasta unos 35km aguas abajo del tapón se distingue al tramo como de sedimentación. Desde este último punto y hacia aguas abajo se supone que se ha superado el área de sacrificio y las aguas ingresan con menor carga de sedimentos a las obras propuestas.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

En definitiva, desde el punto de vista de la morfología e hidráulica fluvial, las obras propuestas deben ubicarse de manera de asegurar que no se produzca su colmatación masiva en la primera creciente y que las aguas a derivar para su aprovechamiento lleven la menor carga de sedimento posible.

También se tuvieron en cuenta la distribución de poblaciones del sector y la infraestructura vial que las relaciona, habría que considerar profundizar con criterios ambientales la determinación de la zona de intervención.

En las secciones siguientes se extraen conclusiones relativas a aspectos básicos a tener en cuenta para el análisis de soluciones al problema planteado, las cuales se deducen de la información extraída de los antecedentes analizados. Habiendo considerado estos aspectos se describe la propuesta según un planteo de alternativas incluyendo conclusiones respecto de sus ventajas y desventajas.

El Plano 01 Adjunto al presente informe permite la ubicación del sitio de intervención propuesto.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 10.2 TOPOGRAFIA DE ZONA DE INTERVENCION

Para esta etapa de evaluación de elaboración de un perfil de proyecto se considera adecuada la utilización de información topográfica a escala regional. La misma se encuentra disponible mediante una imagen SRTM, según se indicó anteriormente.

La dinámica morfológica de la cuenca obliga a analizar los datos topográficos disponibles sin perder de vista la variable temporal al utilizar la información disponible, por ello se procede a comparar el modelo digital de terreno del año 1999 con imágenes satelitales de los años 2008 y 2010.

Complementariamente se cuenta con un perfil topográfico correspondiente a la traza de la ruta que pasa por la localidad de El Potrillo, el cual fue levantado con motivo de intervenciones previstas por el gobierno de la provincia de Formosa.

La información disponible se aplica a un reconocimiento general del sector, detectando pendientes, formas y bajos asociados a paleo cauces. En el plano de topografía adjunto se vuelca la información disponible.

### 10.2.1 TOPOGRAFÍA A ESCALA REGIONAL (SRTM E IMÁGENES SATELITALES)

Se buscaron imágenes satelitales con el objetivo de poder visualizar la zona de estudio según su situación actual, para la proposición de obras sobre la base de un escenario próximo al real.

Las imágenes obtenidas son las que se muestran a continuación.

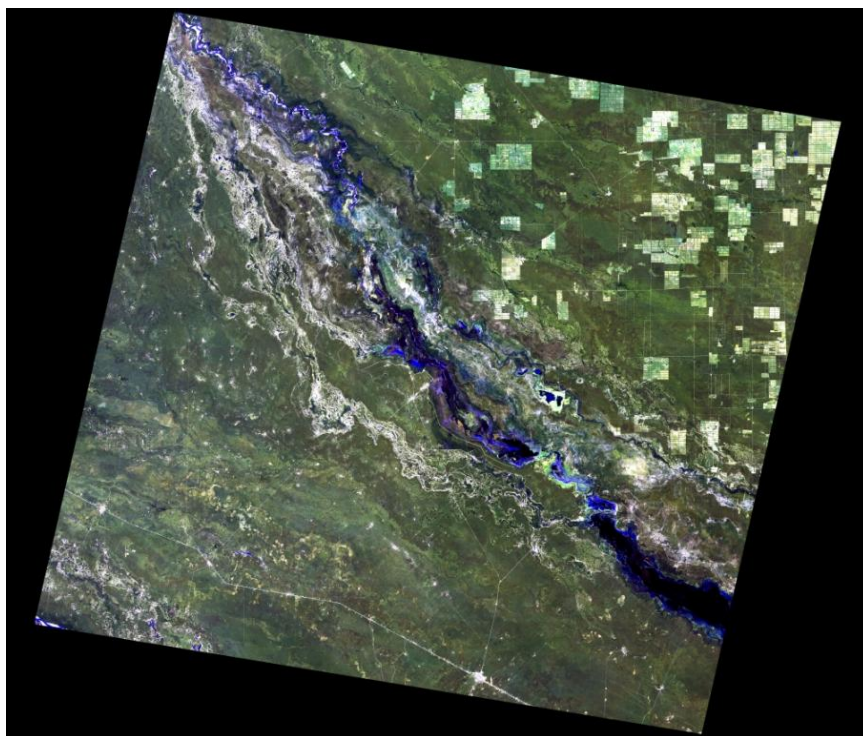
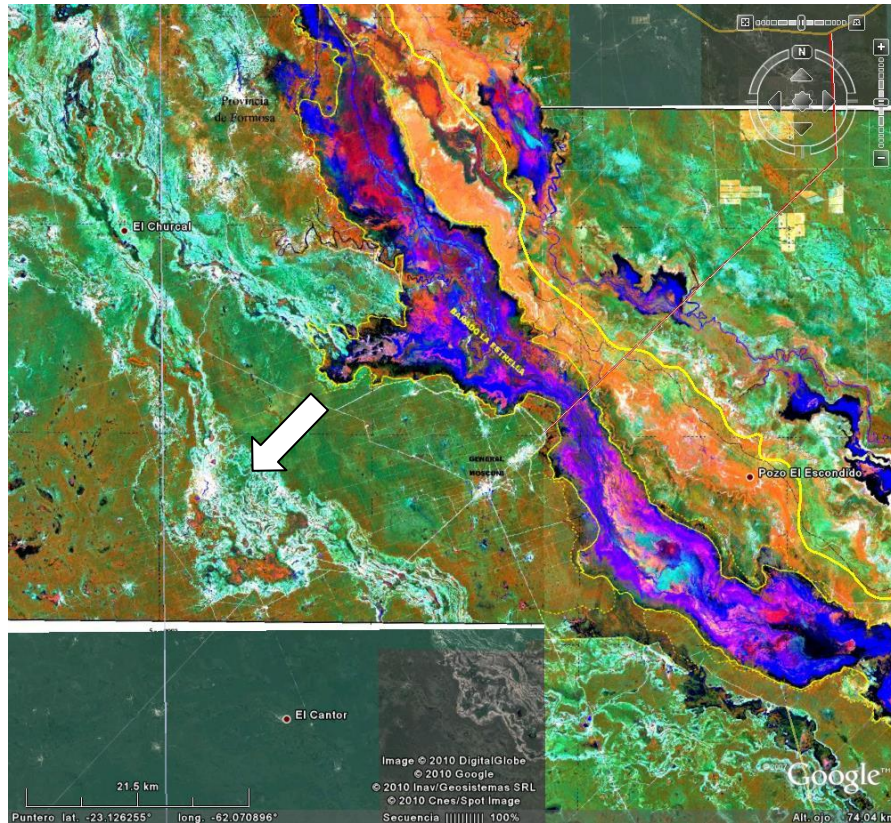


Figura 65 Imagen LANDSAT\_5\_TM\_(Año 2010/05/10)\_229\_076\_L2\_BAND7-5-2

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 66 Imagen satelital año 2008 (superpuesta con imagen Google Earth)**

En la imagen de 2008 se destaca el nivel de anegamiento a la altura de la localidad de El Potrillo y otras localidades aguas abajo, como Misión Quebracho.

El área de inundación para la fecha de toma de la imagen avanza sobre las defensas construidas y deja en evidencia la dirección que toma la mancha de creciente. Al noroeste de El Potrillo el anegamiento avanza sobre margen derecha hacia el paleo cauce que corre en dirección Noroeste Sureste al sur del Bañado de la Estrella.

Para correlacionar la información que brindan las imágenes satelitales con la topografía del lugar se generó un modelo digital del relieve mediante el trazado de curvas de nivel a partir de los datos altimétricos que contiene el SRTM. Como resultado de este proceso se obtienen mapas de curvas de nivel con equidistancia de 10 y 2 m y cobertura en el área de intervención. (Ver Figura 68)

El plano de topografía adjunto muestra la superposición entre curvas de nivel obtenidas según la metodología expuesta y la imagen satelital más reciente.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

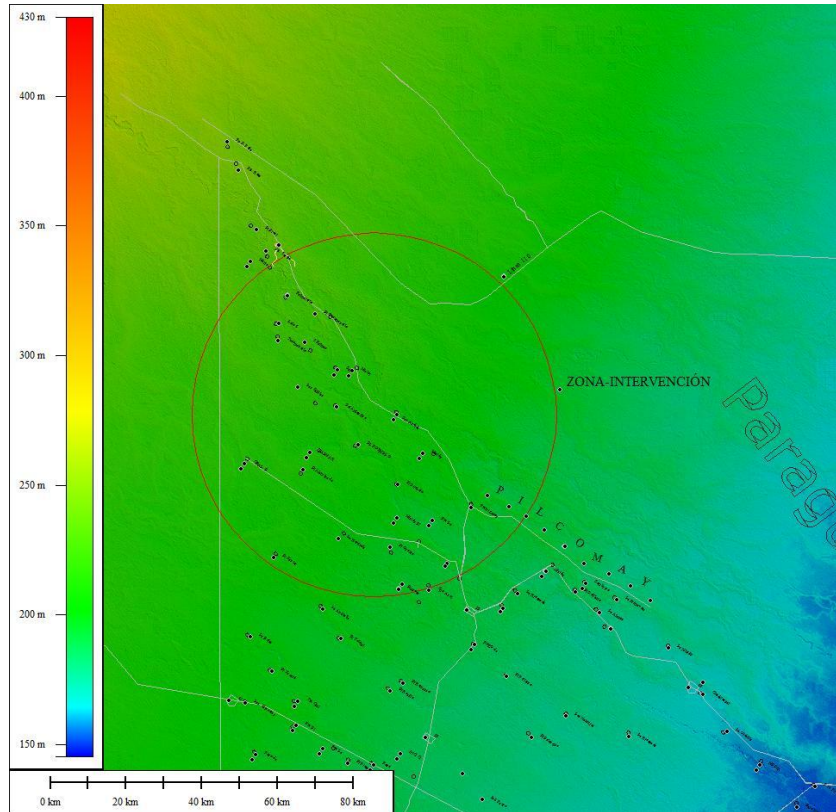


Figura 67 Ubicación de la zona de intervención en el modelo SRTM. Las cotas varían en el área de intervención entre los 200 y 230msnm.

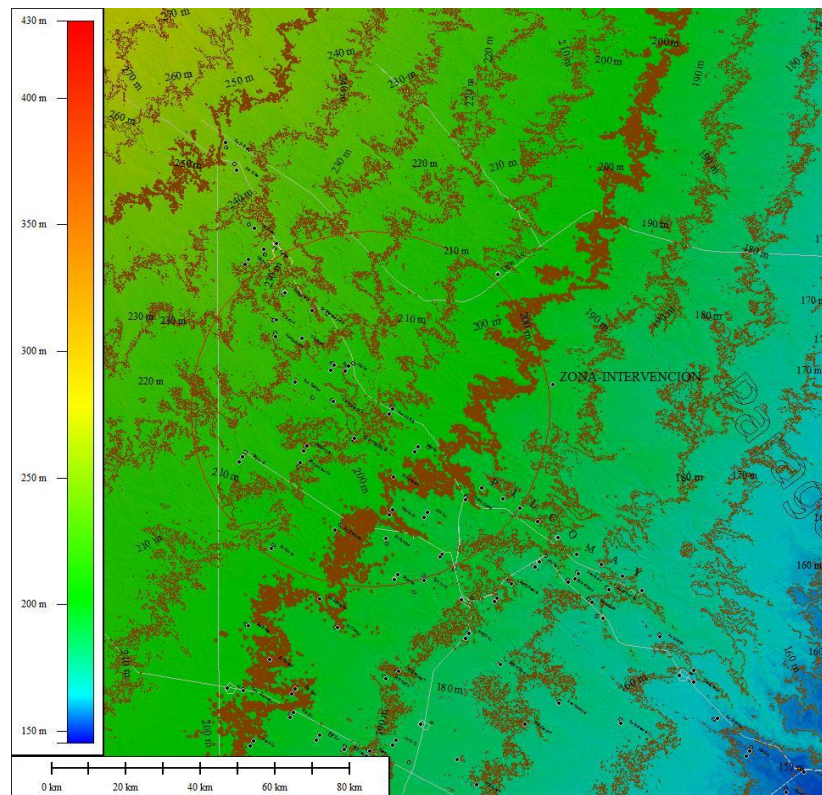


Figura 68 Mapa de curvas de nivel, equidistancia 2m, en modelo SRTM.

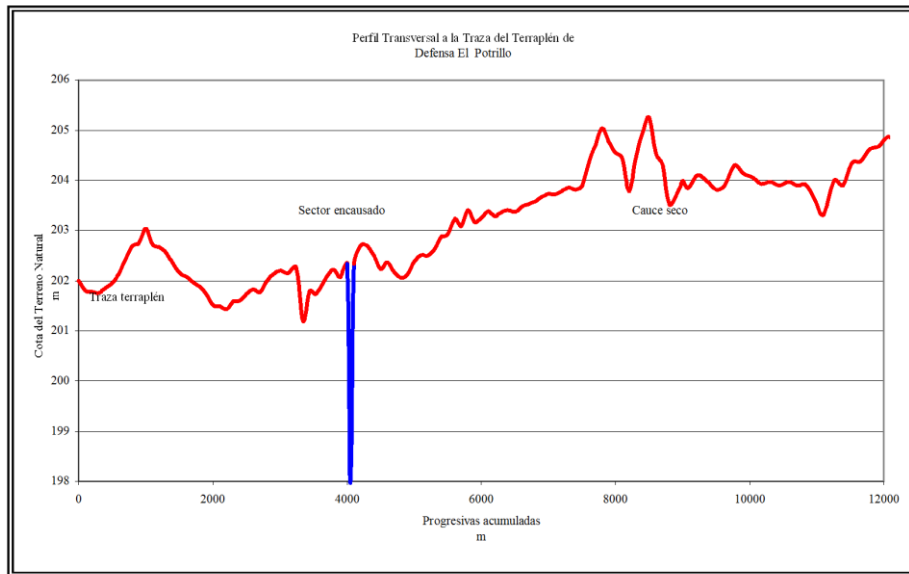
## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 10.2.2 PERFIL EN ZONA DE OBRAS

De manera complementaria, se dispone de datos planialtimétricos más específicos de la zona de estudio a través de perfiles transversales al cauce. Uno de dichos perfiles está ubicado próximo a la localidad de El Potrillo. Dicho perfil topográfico fue levantado en el año 2010, y permitió establecer criterios de diseño de la obra, los cuales se representan esquemáticamente en la sección 10.8.

Otro perfil transversal de los cauces y llanuras inundables fue provisto por la Comisión Trinacional del Río Pilcomayo, y su ubicación también es próxima a El Potrillo, Formosa. Figura 69



**Figura 69 Perfil Transversal. Fuente; Mabel Amarilla**

No fue posible establecer correspondencia entre estos perfiles y las curvas de nivel obtenidas por radar ya que se trata de dos fuentes de información con niveles de detalle dispares.

Inclusive entre perfiles, se pudo correlacionar el cauce principal y los terraplenes de defensa de El potrillo, pero existen diferencias entre el trazado de uno y otro perfil.

Si bien la topografía utilizada permite una interpretación general de la movilidad del río, de los sectores más comprometidos y de la posible ubicación de obras; en conjunto la información recabada no resulta suficiente para una determinación detallada de éstas últimas.

En etapas posteriores, necesariamente, se deberán encarar campañas topográficas específicas que permitan reconocer el relieve local en el sector de obras, para adaptar las construcciones a los condicionantes topográficos.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **10.3 HIDROLOGIA, CAUDALES DE DISEÑO**

### **10.3.1 GENERALIDADES**

La hidrología e hidrodinámica de la zona de intervención está dominada por el Bañado de la Estrella y las condiciones sedimentológicas locales. Se destacan en el área de intervención, la presencia del cauce abandonado del Río Pilcomayo, la de varios paleocauces que se activan según el orden de las crecidas y la de correderas artificiales.

Los aportes al sector en estudio provienen principalmente de los desbordes del Pilcomayo a la altura de María Cristina, al Oeste de la Provincia. El aporte de precipitaciones es mínimo comparado con el que corresponde al río.

Las intervenciones del hombre en la hidrodinámica local corresponden a defensas de poblaciones dispersas, entre las cuales se destacan El Potrillo y Misión El Quebracho.

Un proceso de gran relevancia en la cuenca, y ya citado anteriormente, es el retroceso del cauce del río como consecuencia de la sedimentación. La colmatación del río ha avanzado aguas arriba hasta las proximidades de la división de caudales mediante el canal Paraguayo y el Canal Farías. Las condiciones morfológicas de la cuenca en este punto derivan en la actualidad en un ingreso de caudales mayoritariamente hacia territorio argentino.

El bañado recibe los caudales que ingresan a territorio argentino siendo un regulador natural de la cuenca baja, que luego alimenta los cauces del sector noreste de la provincia. La alimentación de la red hídrica de riachos del este, está regulada actualmente por la obra hidro-vial de la Ruta Provincial N° 28.

Se tiene como objetivo en esta sección determinar aproximadamente los caudales que se recomienda tener en cuenta en etapas de diseño de las obras.

Se toma como referente para el análisis de caudales de diseño la Estación hidrométrica en La Paz por su ubicación relativa respecto de la zona de intervención además de contar con la serie 1942-2001 de caudales medios diarios y con análisis estadísticos de la misma en los documentos antecedentes.

Simultáneamente se tienen en cuenta los análisis disponibles en la Estación Misión La Paz.

La estación La Paz dista unos 80km de la zona de estudio y unos 17km respecto de Misión La Paz. Ambas estaciones son próximas al punto a partir del cual el Río Pilcomayo desborda y comienza a divagar.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



Figura 70 Ubicación relativa de estaciones hidrométricas a la zona de estudio.

### 10.3.2 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS

El caudal medio diario máximo se aplica al diseño de obras de desborde o descarga, que entran en funcionamiento durante crecidas extraordinarias.

A continuación se presentan los análisis de recurrencias efectuados en los documentos antecedentes. Del análisis de un valor de caudal acorde al criterio indicado en el párrafo anterior. En las tablas a continuación se exponen los análisis de frecuencias para la estación la Paz, tomando los periodos 1960-1974, 1960-2006 y 1976-2006.

**Tabla 19 Recurrencia de caudales máximos anuales según ley de Gumbel, serie 1960-1974. Fuente: Memoria Técnica del proyecto de Reconstrucción y Adecuación hidráulica del complejo hidrovial de la ruta N° 28**

Recurrencia (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
20	2312.00
30	2491.00
40	5594.00
50	2682.00
60	2753.00
70	2809.00
80	2861.00
90	2920.00
100	2960.00
200	3238.00

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Recurrencia (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
500	3600.00
1000	3879.00

**Tabla 20 Ajuste de distribución Gumbel para derrame anual y caudal máximo medio diario en Estación La Paz. Serie 1960-2006**

Recurrencia (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	1715
3	2138
5	2609
10	3201
25	3948
50	4503
100	5054
200	5604

**Tabla 21 Ajuste de distribución Gumbel para caudal máximo medio diario en Estación La Paz, periodo 1974-2006**

Recurrencia (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	1956
3	2428
5	2955
10	3616
25	4452
50	5072
100	5687
200	6300

La serie 1974-2006 presenta caudales superiores a las otras dos, siendo el incremento respecto de las anteriores del orden del 38% y 11% para recurrencias idénticas.

Aplicando un criterio conservador se puede adoptar como creciente máxima de diseño un caudal de 5687m<sup>3</sup>/s. Sin embargo a este caudal le resta descontar el 50% correspondiente a Paraguay.

Durante el proyecto de las obras propuestas se deberá estudiar particularmente la situación respecto de la división de cupos entre ambos países, encontrándose en la actualidad en discusión la resolución de este conflicto. El caudal de máxima creciente aplicado a los diseños deberá reflejar la repartición de cupos correspondiente al momento en que la obra se prevé prestara servicio.

### 10.3.3 CAUDAL MEDIO DURANTE EL ESTIAJE

Dado que uno de los problemas a resolver en la cuenca corresponde a mitigar la escasez de agua durante el estiaje, es necesario cuantificar los aportes hídricos durante dicho periodo, para luego evaluar qué proporción de éstos captarán las obras de derivación propuestas.

Para la cuantificación de esta variable nos apoyamos en el gráfico de distribución de caudales mensuales mínimos preparado para la serie 1960-1993.

**Tabla 22 Estación la Paz. Caudales líquidos medios máximos y mínimos (m3/s). Para la serie 1960-1993**

	Medio Mensual	Máx. Medio	Min. Medio
Septiembre	23.5	43	7
Octubre	29.5	67	9
Noviembre	81.5	391	13
Diciembre	217	512	58
Enero	474	1364	165

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

	Medio Mensual	Máx. Medio	Min. Medio
Febrero	607	1672	192
Marzo	531	1908	131
Abril	261	762	73.3
Mayo	97.3	200	48.6
Junio	62.2	126	32
Julio	42.6	80	18
Agosto	32	61	12

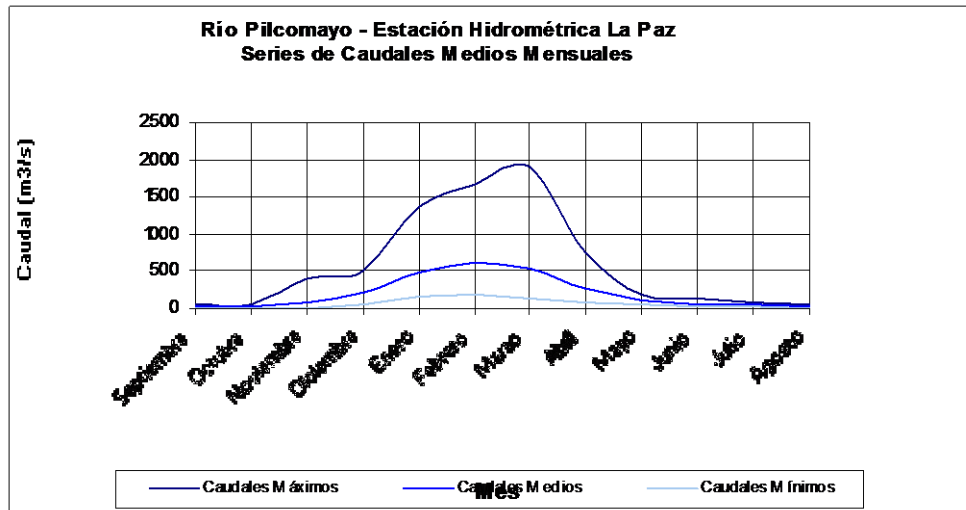


Figura 71 Serie de caudales medios, máximos y mínimos mensuales en Estación la Paz, extraídos de la serie 1960-1993

Durante el estiaje (Mayo a Noviembre) se espera un caudal promedio de 52.7m<sup>3</sup>/s, si se toman las medias mensuales de la serie 1960-1993. Luego los extremos mínimos y máximos promedios para el mismo periodo son de 19.94 a 138.29 respectivamente.

Adicionalmente si se tiene en cuenta la curva de permanencia de los caudales medios mensuales de la Figura 33, se advierte que un caudal de hasta 53m<sup>3</sup>/s puede presentarse entre un 60% a un 70% del tiempo.

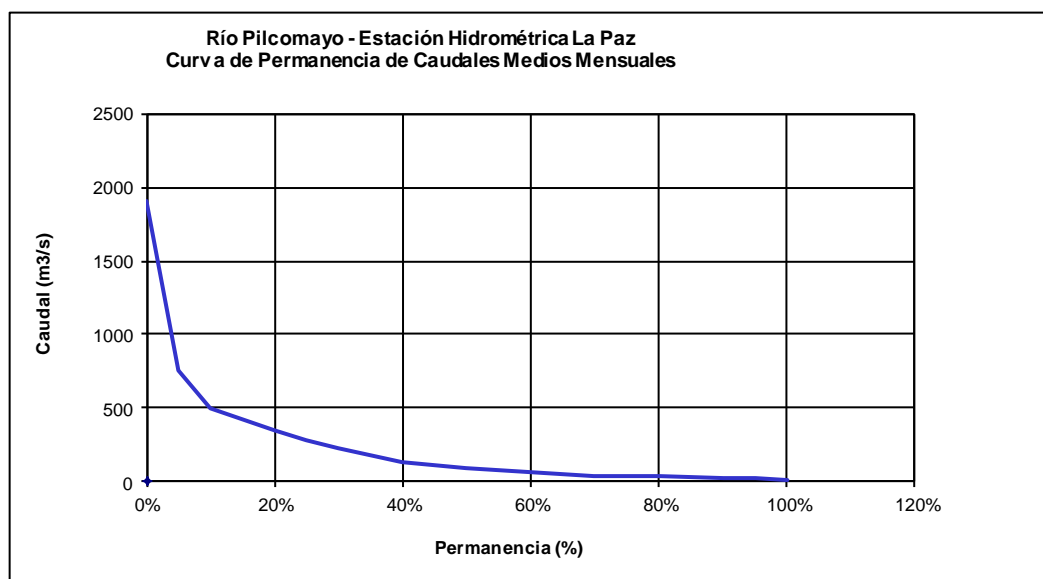


Figura 72 Curva de permanencia de caudales medios mensuales en Estación La Paz

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

#### **10.3.4 CONCLUSIONES SOBRE HIDROLOGÍA**

Las estaciones en La Paz y Misión La Paz son las que presentan las series más completas para efectuar análisis del aporte de caudales, a los fines del aprovechamiento y el diseño de las obras.

Para el diseño de obras de toma se deberá tomar un rango de caudales de entre 138 y 20m<sup>3</sup>/s al cual se le descontara el cupo correspondiente a Paraguay, siendo el valor medio de unos 50m<sup>3</sup>/s.

Las intervenciones en la zona, deberán garantizar además del cumplimiento del convenio de cupos entre países los siguientes caudales mínimos;

- Caudal mínimo de aporte a la obra de la Ruta 28 de manera que no se comprometa su funcionamiento y capacidad.
- Caudal mínimo ecológico aguas abajo de la zona de intervención

Para el diseño de obras de evacuación de excedencias durante eventos extremos se recomienda un caudal de diseño de entre 5054m<sup>3</sup>/s y 5687m<sup>3</sup>/s, a excepción que a través de estudios más específicos o a través de disponibilidad mayor de datos se justifique la adopción de un caudal mayor.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 10.4 GEOMORFOLOGÍA

### 10.4.1 GENERALIDADES

El río Pilcomayo a la salida del ambiente de montaña e ingreso a la planicie (Llanura Chaqueña), ha generado por cambio en la capacidad de carga y competencia, un extenso paleo abanico con ápice en las cercanías de la localidad de Ibibobo.

Este nivel de base original ha tenido lugar en condiciones climáticas diferentes a las actuales, que involucraban caudales y aportes detríticos mucho más significativos, asociados a procesos glaciales de erosión, ablación y transporte.

La construcción del gran paleo-abanico obedece a la colmatación del cauce y acomodamiento repetitivo del flujo a un nivel topográfico menor, lo que definió un diseño radial a partir del ápice.

Sobre este gran paleo-abanico regional, se han generado nuevos sub-abanicos superpuestos de menor alcance por retroceso y avance de nuevos ápices. En el primer caso por causas probables de levantamiento de la cuenca de recepción por procesos de neo tectónica, incremento en los caudales y carga detrítica por remoción en masa en la cuenca alta y/o causas antrópicas (canalizaciones, desvíos, etc), y en el segundo, por probable disminución del nivel de base por neo tectónica o glaciación (descenso del mar), reducción del aporte clástico de la alta cuenca por disminución de los procesos de remoción en masa y/o causas antrópicas.

### 10.4.2 AMBIENTES GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN

Como área de estudio se considera el ámbito fluvial del río Pilcomayo, desde unos 10 km aguas arriba del canal Paraguayo a margen izquierda y Fariás, a margen derecha, hasta unos 30 km. aguas debajo de la localidad El Portillo.

Para el reconocimiento y caracterización geológica-geomorfológica, se realiza un análisis visual de imagen Landsat 5 de fecha 10 – 05 – 2010., que se utiliza como base del mapeo.

El análisis evolutivo desde el punto de vista geomorfológico regional, permite distinguir en el sector considerado, los ápices y paleocauces asociados a los sub-abanicos, superior, medio e inferior.

Considerando el aspecto hidrodinámico en función a la actividad fluvial, se distinguen un ámbito fluvial antiguo no-activo y un ámbito fluvial activo por desbordes del río Pilcomayo, en el que se incluyen distintas unidades que se indican a continuación.

Tabla 23 Ámbitos geológicos y geomorfológicos del área de intervención

AMBITO FLUVIAL NO ACTIVO	1) Primer nivel deposicional del río Pilcomayo.	
	2) Segundo nivel deposicional del río Pilcomayo.	
	3) Mega-paleocauce.	3ª) Delta progradante por canalización y Bañado La Estrella.
AMBITO FLUVIAL ACTIVO POR DESBORDES DEL RIO PILCOMAYO	4) Paleocauce sub-abanico Intermedio.	
	5) paleocauce sub-abanico inferior.	
	6) Planicie aluvial del río Pilcomayo.	6.a) Planicie aluvial con cauce activo. 6.b) Planicie aluvial con cauce colmatado.
	7) Primer nivel deposicional del río Bermejo.	

#### 10.4.2.1 Ámbito fluvial no activo

Se comprenden en esta categoría las paleo formas heredadas en un estado evolutivo antecedente, que en la actualidad no presentan actividad por desbordes del río Pilcomayo o la tienen en forma localizada.

- 1) Primer nivel deposicional del río Pilcomayo.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Se corresponde con el nivel deposicional original más antiguo, que se presenta en un nivel topográfico dominante en forma discontinua, con inclusión de paleo formas fluviales tenues, en parte obliteradas por retransporte.

El material geológico se trata de acumulaciones aluvionales en donde alternan arcillas y limos (pleistoceno).

El nivel no es afectado por desbordes del río Pilcomayo y si por aportes pluviales que se rigen según la continuidad y definición geomorfológica de las paleo formas fluviales.

### 2) Segundo nivel deposicional del río Pilcomayo.

Esta unidad se asocia al segundo ambiente deposicional del río Pilcomayo, ligado a un paleo abanico sobreimpuesto por migración del ápice.

Ocupa un nivel topográfico inferior en relación a la unidad antecedente, distribuido en forma discontinua y alargada según la pendiente regional radial del paleo abanico (oeste – este).

En este caso se manifiestan paleo formas fluviales más frecuentes y de mayor definición geomorfológica y continuidad.

Desde el punto de vista geológico el material aluvional se compone de arenas, limos y arcillas de edad más reciente (pleistoceno-holoceno).

La unidad no es afectada por desbordes del río Pilcomayo, pero presenta actividad más significativa por aportes pluviales, por cuanto recibe los excedentes del primer nivel deposicional y la red de drenaje temporal denota un mayor grado de organización.

### ***10.4.2.2 Ámbito fluvial activo por desbordes del río Pilcomayo***

Este ámbito se corresponde con las paleo-formas fluviales con actividad fluvial de diverso grado por desborde del río Pilcomayo en una medida dependiente de la edad evolutiva y del grado de colmatación.

#### 3) Mega-paleo cauce.

En forma digitada con interfluvios elongados pertenecientes al primer y segundo nivel deposicional del paleo-abanico, se presenta un mega-paleo cauce ligado al sub-abanico superior del río Pilcomayo con difluencia hacia la margen derecha.

Los paleocanales que lo conforman tienen amplitudes que varían entre 3 km. y 15 km. en incluyen numerosas y claras improntas fluviales en forma de cursos meandriformes discontinuos, espiras de meandro abandonadas, depresiones lagunares y albardones.

Los depósitos aluvionales se componen de detritos arenosos, y limos y arcillas de desborde (holoceno).

La unidad en el estado evolutivo actual en su mayor parte no presenta actividad por desborde del río Pilcomayo, pero constituye una franca situación potencial. Presenta un grado importante de inundabilidad de larga duración, por aportes pluviales, con activación de paleo formas meandriformes, depresiones lagunares y procesos de erosión hídrica concentrada por sectores.

#### 3ª) Delta progradante por canalización y Bañado la Estrella.

En el estado evolutivo actual si bien la mayor parte del mega-paleo cauce no se activa por desborde, en el sector que uno de los paleo-canales digitales que lo componen entra en confluencia con el ámbito activo del río Pilcomayo, presenta actividad por desborde generado por el canal Farías que dio lugar a un abanico progradante que generó situaciones de inundabilidad y fuerte tendencia a la avulsión. Más al sur el desborde por canalización, da lugar al bañado La Estrella incluido en el megapaleocauce.

Los depósitos aluviales actuales se componen de material clástico fino limo-arenoso.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 4) Paleo cauce sub-abanico Intermedio.

Por difluencia a margen izquierda del río Pilcomayo en el ápice del sub-abanico intermedio, se presenta un paleo cauce que luego de un recorrido de 45 km. se desdobra en dos direcciones a partir de un sub-ápice.

Presenta amplitudes del orden de los 3 a 5 km. con la inclusión de claras y numerosas improntas fluviales de diseño anastomosado con inclusión de barras y depresiones.

En la actualidad evidencia actividad por desbordes incipientes del río Pilcomayo, pero con fuerte potencial de incremento por la acción retrogradante del cauce activo del río Pilcomayo por colmatación.

Frente a los aportes pluviales evidencia inundaciones de larga duración y escurrimiento elemental concentrado en canales con presencia de erosión hídrica concentrada.

### 5) Paleo cauce sub-abanico inferior.

En el sector en el que se localizan las canalizaciones a margen derecha (canal Farías) e izquierda (canal Paraguay), se localiza el ápice del sub abanico inferior activo, del que se genera un paleo cauce de magnitud.

Este paleo cauce activo constituye en el estado evolutivo actual una planicie aluvial de desborde asociada al río Pilcomayo con fuerte actividad fluvial por inundabilidad y colmatación progresiva.

Incluye numerosas improntas fluviales de diseño en partes meandriforme con inclusión de depresiones y el plano aluvial activo del curso actual.

### 6) Planicie aluvial del río Pilcomayo.

La planicie aluvial del río Pilcomayo presenta una amplitud superior a los 3 km. y comprende dos niveles de terraza y frecuentes improntas fluviales en forma de albardones y depósitos de ruptura de albardón.

Los depósitos aluvionales alternan entre arenas, limos y arcillas de desborde (holoceno).

En respuesta a los procesos de colmatación progresiva en esta unidad se distinguen dos sub-unidades.: Planicie aluvial con cauce activo y Planicie aluvial con cauce colmatado.

#### 6.a) Planicie aluvial con cauce activo.

Aguas arriba de las canalizaciones a derecha e izquierda el río Pilcomayo, presenta cauce activo con lecho ordinario de diseño meandriforme y bajo grado de encajamiento, con una amplitud del orden de los 600m e inclusión de un canal de estiaje con un ancho superior a los 100m.

En el plano de mayor actividad se presenta un nivel inferior de terraza inundable en la parte interna de las curvas meándricas por acumulación y a un nivel topográfico mayor, un nivel de terraza superior que incluye espiras meándricas colmatadas, albardones y depósitos de ruptura de albardón.

La erosión de márgenes ligada al diseño meandriforme, es significativa en la parte externas de las curvas favorecida por el carácter friable de las márgenes.

En el lecho ordinario y la terraza baja, el material aluvional es predominantemente arenoso y en el nivel superior alterna entre arenosos y limos de desborde en sectores deprimidos.

La sub-unidad evidencia actividad parcial en inundaciones ordinarias y total en inundaciones extremas.

#### 6.b) Planicie aluvial con cauce colmatado.

Aguas debajo de las canalizaciones el río Pilcomayo presenta cauce colmatado.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

El diseño del lecho ordinario totalmente obliterado manifiesta presenta características similares al tramo activo con diseño meandriforme y un ancho del mismo orden, pero los depósitos aluvionales de albardones y ruptura de albardones son de mayor magnitud y extensión areal.

Dado el avance de los procesos de colmatación ocupa un nivel topográfico dominante en el entorno de la planicie aluvial, no afectado por inundaciones y actuando por sectores, como barrera de interferencia en la dinámica de estas adoptan.

7) Primer nivel deposicional del río Bermejo.

En el sector considerado en el análisis, se incluye el primer nivel deposicional del paleo abanico del río Bermejo que entra en coalescencia con el paleo abanico del río Pilcomayo.

Esta unidad incluye paleo formas fluviales no-activas y sin interacción fluvial con el ámbito fluvial del río Pilcomayo y depósitos aluvionales areno-limosos y arcillas (pleistoceno).

### **10.5 TENDENCIA EVOLUTIVA ACTUAL**

De acuerdo a estudios antecedentes (LBAyS 2007) en la región considerada, en el período 1900 – 2006, el río Pilcomayo por colmatación progresiva del cauce a retrocedido notablemente en el orden de los 200 km.

Tal retroceso se asocia a la migración en dirección a la cuenca de recepción (oeste), del ápice de un sub-cono en formación con tendencia a la superposición de los niveles deposicionales actuales.

Entre las probables causas de esta migración, se incluyen el levantamiento de la cuenca alta por procesos de neo tectónica, el aumento de caudales y carga de fondo y suspensión y causas de origen antrópico que alteran la hidrodinámica natural, destacándose las canalizaciones (canal Farías y canal Paraguayo).

De estas causas, la más probable, tiene relación con el aumento de caudales por incremento en las precipitaciones y de la fuerte carga detrítica generada por intensos y generalizados procesos de remoción en masa en forma de caídas, deslizamiento y flujos, que tienen lugar en la cuenca de montaña, en particular en el ámbito de las Sierras Subandinas.

La acción de tales procesos está regida por factores condicionantes de orden natural, entre los que se destacan la geología (rocas sedimentarias poco coherentes), la estructura de plegamiento de la sierra (estratificación coincidente con el relieve) y factores desencadenantes, entre los que las lluvias intensas juegan un rol primordial.

La intensidad y generalización de los procesos de remoción en masa desencadenados por lluvias intensas y la magnitud de los aportes de detritos y de resaca al sistema de drenaje, puede inferirse al considerar los eventos que tuvieron lugar en la cuenca del río Itiyuro en los años 1973 y 1984 y más recientemente en la cuenca del río Tartagal, en los años 2006 y 2009 (fig. 1 y 2). , ambas cuencas con desarrollo en el ámbito de las Sierras Subandinas.

Considerando el sostenido avance del procesos aluvional remontante, es de esperar su continuidad en el tiempo. Esto significa que el progresivo levantamiento del cauce por acumulación retrogradante, puede dar lugar a la activación de paleocauces de distribución radial hoy no funcionales.

En tal sentido en la zona considerada, se destaca la probabilidad de desborde y activación del paleo cauce a margen izquierda, relacionado con el sub-ápice intermedio (4 de la carta geológica – geomorfológica).

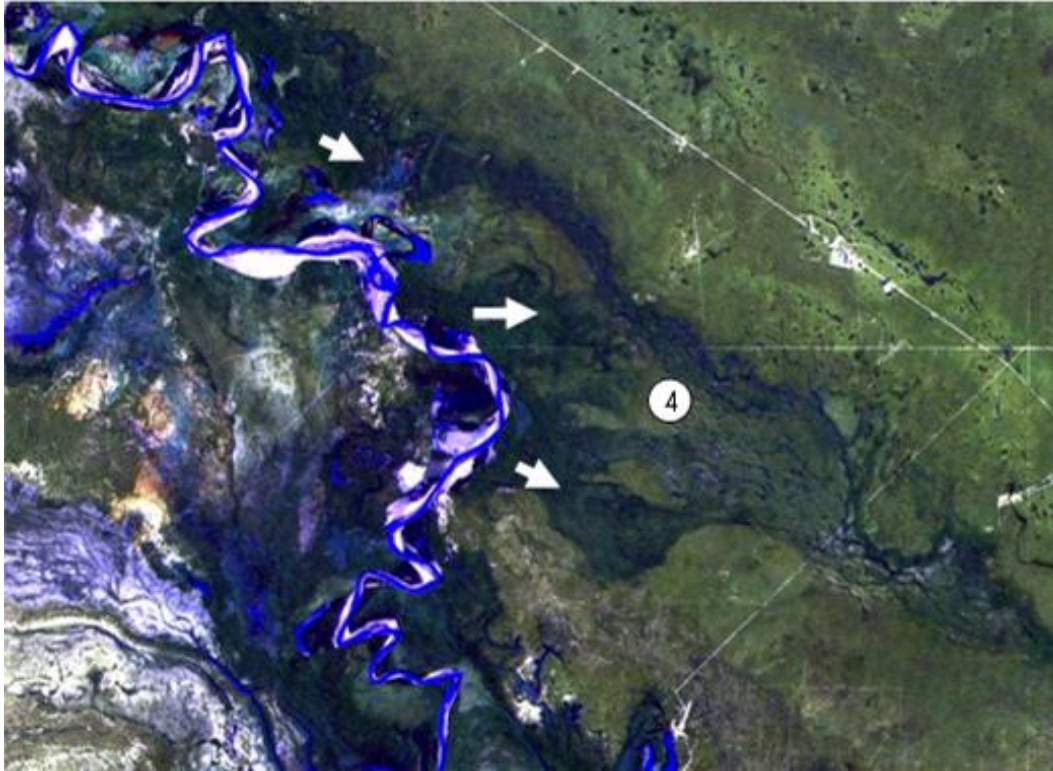
Esta situación potencial se localiza 22 km. aguas arriba de las canalizaciones y constituye el sitio potencial más cercano a la actual zona de colmatación que afecta al cauce.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

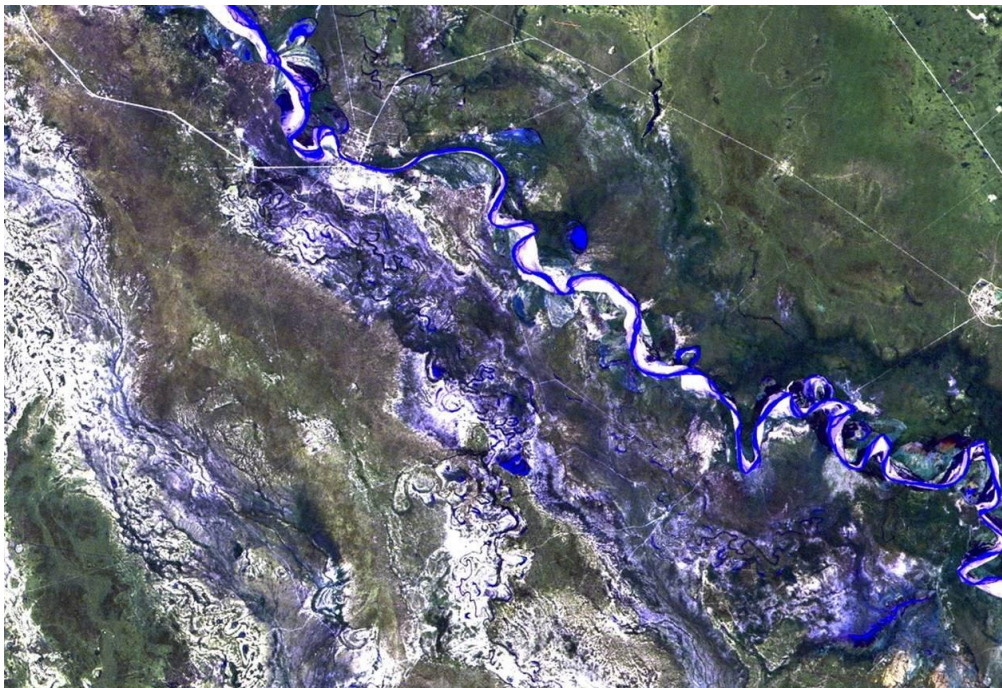
Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

El análisis de imagen TM 2010 indica una probable activación parcial por desborde en este sector, por lo que debe considerarse para la implementación de obras de regulación y distribución del recurso, una evaluación más detallada del sector, con particular énfasis en el aspecto topográfico.

Aguas arriba a uno 50 km. se localiza otro potencial desborde ligado al paleo cauce a margen derecha asociado al megapaleocauce del sub-abanico superior (5 de la Carta Geológica-geomorfológica. **Figura 74**



**Figura 73** Paleocauce del sub-abanico intermedio con potencial de activación frente al avance retrogradante de los procesos de colmatación.



**Figura 74** Potencial desborde ligado al paleocauce.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 75** Procesos de remoción en masa generalizados por lluvias intensas. Cuenca del río Tartagal. Salta Argentina. 2009.



**Figura 76** Aportes detríticos y de resaca. Ciudad de Tartagal 2009.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### **10.5.1 CONCLUSIONES RESPECTO DEL ESCENARIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN**

Si se toma como área de intervención el entorno de la localidad de El Potrillo y Misión Quebracho, los ambientes geomorfológicos próximos involucrados en la propuesta serían el paleo cauce del sub abanico superior (5 en carta geomorfológica) mega paleo cauce de abanico superior (3ª) y en parte el ámbito fluvial no activo.

En el estudio realizado en base a la imagen satelital del año corriente, se indica como punto de avance del cauce colmatado el lugar donde nace actualmente la derivación del canal paraguayo, por lo tanto las distancias mínimas consideradas por el Dr. Vide para alejarse de la zona de sacrificio serian de aplicación tras haber tomado él, el mismo punto de referencia, para la aproximación retroceso del cauce.

La escasa variabilidad a través de los años de la posición del taponamiento se adjudica esto a los trabajos de mantenimiento y correderas realizadas permanentemente.

El análisis geomorfológico presentado deja en claro que el escenario donde se presente la implementación de obras de aprovechamiento es muy dinámico y susceptible a la activación de cauces con riesgo de inundación de sectores más bajos. Las acciones futuras deberán tener en consideración estas características para evaluar las consecuencias o efectos de las obras que se encaren.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **10.6 APORTE DE SEDIMENTOS EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

En esta sección se presenta una aproximación del volumen de sedimentos que se esperan llegarán a la zona de las obras propuestas.

Este fenómeno junto a la cobertura de la demanda son aspectos a tener en cuenta al determinar la vida útil de las obras. Particularmente el fenómeno de deposición de sedimentos no solo gobierna la vida útil de la obra sino que además puede marcar su éxito o fracaso.

En etapas posteriores que impliquen anteproyecto y/o proyecto de obras, la cuantificación del sedimento, que potencialmente pueda afectarlas, debe estudiarse en profundidad en base a datos históricos y recabados en campaña, pero teniendo en cuenta además los efectos propios de la implantaciones de obras.

Los datos que se tienen son, en su mayoría, del transporte en suspensión (tarquines). En adelante se toma la información disponible correspondiente a las estaciones en Misión La Paz y La Paz, como en el caso de caudales.

El análisis más reciente realizado con los datos de 30 años en Misión La Paz arroja la cifra media de 140 millones de Tn/año con un máximo anual de 300 millones Tn/año. El 80 % del volumen anual pasa por Misión La Paz durante la crecida (Diciembre - Marzo).

Después del volumen total, el segundo aspecto que hay que destacar respecto al transporte sólido es que un 89% del volumen total de 140 millones Tn/año es de grano menor a  $62\mu$ , es decir limos y arcillas, mientras que el 11% restante es mayor que  $62\mu$ , es decir arenas.

El primer volumen (fino) es la carga de lavado del río, cuyo origen no puede ser sino la pérdida de suelo en la cuenca por acción de la precipitación, es decir es un material de procedencia remota y difusa en la cuenca andina, cuyo destino sería llegar al mar. El segundo volumen (grueso), en cambio, tiene origen en el cauce o cauces aguas arriba de Misión La Paz y su destino sería un lugar más abajo del cauce.

Un análisis del Dr. Martín Vide elaborado en el año 2005, describe que en un 20% de la superficie total de la cuenca, que corresponde a la cuenca alta, representa una producción de sedimento fino del 90% del total. Por lo tanto para favorecer el aprovechamiento hídrico en la cuenca baja deberían plantearse medidas estructurales y no estructurales que lleven a disminuir la carga de sedimentos desde estos sectores hacia la cuenca baja.

Los antecedentes indican en la estación La Paz un promedio de 90 millones de toneladas anuales.

### **10.6.1 CONCLUSIONES RESPECTO AL APORTE DE SEDIMENTOS EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN**

Solo es posible en esta instancia tener un orden de magnitud de los aportes sólidos anuales, sin poder especificar las consecuencias directas de este fenómeno sobre las obras propuestas, ya que es necesario generar un modelo numérico-conceptual nivel de detalle adecuado que refleje el comportamiento del cauce con la obra implantada.

Es oportuno, sin embargo reiterar las conclusiones y/o recomendaciones del Dr. Vide respecto del transporte de sedimentos en la cuenca baja. Solo es efectivo y sostenible actuar en la cuenca (o "cuenca alta") para reducir la producción de sedimento. Otras acciones como dragados o encauzamientos, es decir obras en la "cuenca baja" (en el cono) son provisionales: su efecto se desvanece en poco tiempo porque el sedimento no deja de venir. Serían sólo obras incesantes de mantenimiento. Así puede verse en efecto todo lo hecho en el Pantalón a lo largo de 15 años.

Las acciones en la cuenca pueden perseguir dos cosas diferentes: 1) que se produzca menos sedimento en la cuenca (menos pérdida de suelo) y 2) que menos sedimento alcance al curso o cursos principales del río, es decir que de algún modo se almacene entre donde se produce y a donde llega en la red hidrográfica principal. Lo segundo es en realidad también sólo provisional porque la capacidad de

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

almacenamiento (en vaguadas, en arroyos, en cursos pequeños) se agotará. Por tanto, la medida realmente efectiva es reducir la producción de sedimento en la cuenca. Si la meteorización y la erosión de suelo son dominantes, son la reforestación y las prácticas de manejo de suelos (donde haya agricultura) las medidas más eficientes.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## 10.7 DETERMINACION DE LA DEMANDA

En la sección 5 anterior se hizo referencia a una cuantificación global de oferta y demanda hídrica para la cuenca baja. En esta instancia, se aborda un análisis más específico, con el objetivo concreto de cuantificar la demanda potencial del área de influencia de la intervención propuesta.

El área de influencia para la aproximación de la demanda, se toma en base a la definición de la zona de intervención indicada en el punto 10.8.

A partir de la ubicación de las obras propuestas se toma una distancia de 200km aguas abajo para establecer el límite Este del área de cálculo de la demanda. Los Límites Norte y Sur corresponden a los límites propios de la cuenca baja, quedando involucrados los departamentos Bermejo, Matacos y Ramón Lista de la provincia de Formosa.

Teniendo en cuenta esta delimitación y las dotaciones indicadas en la los antecedentes, se calculan para cada uso las demandas potenciales. Se sabe que la demanda potencial calculada en base a dotaciones es superior a la real, más aun cuando la infraestructura de distribución no está desarrollada.

Luego a los fines de la proposición de obras se realiza una proyección a futuro de las demandas potenciales tomando un horizonte de 25 años.

### 10.7.1 USO DOMÉSTICO

La Tabla 24 presenta la demanda de agua correspondiente a los departamentos afectados dentro de la cuenca baja. Luego, para el área de influencia de la obra se toman estos valores como representativos de la demanda para el año 2002.

En el caso de los departamentos Matacos y Ramón Lista se toma un valor proporcional a la superficie afectada del departamento ya que estos no quedan totalmente incluidos dentro del área de influencia, como se aprecia en la figura anterior.

**Tabla 24 Aproximación de la Demanda para uso doméstico, por departamentos, en la cuenca baja. Año 2002. En base a L.B.A. y S.**

Departamento	Población en el área de estudio (2002)	Dotación asignada	Demanda de agua
		(l/hab/día)	(m3/día)
Bermejo	6952	140	973.28
Matacos	147	140	20.58
Ramón Lista	1967	140	275.38
TOTAL	9066		1269.24

**Tabla 25 Población por departamentos Censo 1991 y Censo 2001.**

	Censo 1991	Censo 2001
Total Provincia	398413	486559
Bermejo	10143	12710
Matacos	8355	12133

**FUENTE: INDEC. Censo Nacional de Población y Vivienda 1991 - Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Dirección de Estadística, Censos y Documentación**

**Tabla 26 Tasas de crecimiento poblacional**

Tasa de crecimiento	BERMEJO	MATACOS
Tasa geométrica	2.28%	3.80%
Tasa exponencial	2.26%	3.73%
Tasa aritmética	2.53%	4.52%
Prom.	2.36%	4.02%

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Se toma una tasa de crecimiento de 3% anual para el área de influencia, resultando la siguiente proyección de población.

Año	Población	Caudal m3/día
2002	9066	1269.24
2003	9338	1307.32
2004	9610	1345.4
2005	9882	1383.48
2006	10154	1421.56
2007	10426	1459.64
2008	10698	1497.72
2009	10970	1535.8
2010	11242	1573.88
2011	11514	1611.96
2012	11786	1650.04
2013	12058	1688.12
2014	12330	1726.2
2015	12602	1764.28
2016	12874	1802.36
2017	13146	1840.44
2018	13418	1878.52
2019	13690	1916.6
2020	13962	1954.68
2021	14234	1992.76
2022	14506	2030.84
2023	14778	2068.92
2024	15050	2107
2025	15322	2145.08
2026	15594	2183.16
2027	15866	2221.24
2028	16137	2259.18
2029	16409	2297.26
2030	16681	2335.34
2031	16953	2373.42
2032	17225	2411.5
2033	17497	2449.58
2034	17769	2487.66
2035	18041	2525.74
2036	18313	2563.82
2037	18585	2601.9
2038	18857	2639.98
2039	19129	2678.06
2040	19401	2716.14

### 10.7.2 Uso GANADERO

La cuantificación de la demanda para uso ganadero se desarrolla en base a lo expuesto en los antecedentes de demanda, considerando exclusivamente el área de intervención.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Departamento	cantidad de Ganado					demanda total (m <sup>3</sup> /día)					
	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equinos	TOTAL
Bermejo	67358	26223	16089	30215	8954	5389	262	161	302	716	6830
Matacos	1506	189.84	234	0.97536	218.4	120.48	1.92	2.4	9.84	17.52	152
Ramón Lista	2975	581	726	2672	356	238	6	7	27	28	306
										Total	7288

No se dispone de información en los estudios antecedentes que permita proyectar a futuro esta demanda por lo tanto a priori y con fines prácticos se considera que la misma se duplica para el horizonte temporal adoptado, resultando la demanda ganadera de 14576m<sup>3</sup>/día.

### 10.7.3 USO AGRÍCOLA

No se expresa en los antecedentes un nivel de desarrollo de las actividades que demandan riego que amerite la cuantificación de esta demanda en el área de intervención. Sin embargo las obras de toma y almacenamiento pueden impulsar el desarrollo de esta actividad.

De acuerdo a la capacidad de uso de suelo el área de intervención se caracteriza por una capacidad predominante para las actividades ganaderas y forestales extensivas.

En esta instancia no es posible cuantificar una potencial demanda de agua con fines de riego para el área de influencia, en etapas posteriores se deberán profundizar la descripción de la zona en cuanto a sus potencialidades y su relación con planes estatales respecto del fomento de estas actividades, para definir un área de riego que permita calcular la demanda de este uso.

Sin embargo para incluir en la idea de proyecto una demanda para riego se considera el dotar a la zona de influencia con 1000ha de riego. Si se considera una dotación de 7000m<sup>3</sup>/ha/año, el caudal de demanda sería de 192hm<sup>3</sup>/día.

### 10.7.4 CONCLUSIONES

La demanda total en término de caudales y volúmenes anuales se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 27 Resumen caudales y volúmenes de demanda en el área de intervención**

Uso	Caudal(m <sup>3</sup> /día)	Volumen anual (hm <sup>3</sup> )
Domestico	2716	0.99
Ganadero	14576	5.32
Agrícola	19178	7.00
Total	36470	13.31

La reserva a generar debe cubrir el periodo de estiaje entre mayo y noviembre totalizando 7 meses, por lo tanto para la demanda diaria de 36470m<sup>3</sup> se debe tener una capacidad de almacenamiento mínima para Argentina de 8hm<sup>3</sup> .

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **10.8 INTERVENCIONES PROPUESTAS**

### **10.8.1 INTRODUCCIÓN**

Conforme a los estudios antecedentes, la oferta hídrica del río Pilcomayo no presenta inconvenientes respecto del volumen ofertado, sino en las posibilidades de su aprovechamiento.

Es prioridad resolver el conflicto en torno a la división de cupos de agua entre Argentina y Paraguay. La solución de la repartición de caudales, además de brindar una solución al conflicto entre países, significaría una descompresión de los sectores actualmente afectados por inundaciones durante el período húmedo. Por otro lado la partición ordenada de caudales permitirá planificar la regulación de caudales y/o mitigación de problemas de escasez propios de argentina.

Respecto a la regulación de caudales en la cuenca baja, la principal infraestructura de control y regulación pertenece al Bañado de la Estrella, la cual permite el aprovechamiento de caudales del río.

Siguiendo los lineamientos y requisitos planteados originalmente y que reflejan los objetivos de los Términos de Referencia y la correspondiente Propuesta Técnica-Económica, se procede a proponer distintas alternativas de obra, variando su lugar de implantación, operación, derivación y/o regulación.

Cabe mencionar que todas las alternativas tienen como base fundamental los lineamientos generales planteados en el informe realizado por el Dr. P. M. Vide en el año 2006 "Dique Distribuidor".

Se presentan a continuación las propuestas de obra, profundizando su descripción en las siguientes secciones.

### **10.8.2 ALTERNATIVA 1**

#### ***10.8.2.1 Componente de obra***

- Cierre transversal al río Pilcomayo a la altura de El Potrillo. Terraplén de suelo compactado con protección aguas arriba
- Compuertas para operación de caudales líquidos y sólidos dispuestas en el cuerpo del cierre.
- Vertedero de excedencias dispuesto en el coronamiento del cierre y correspondiente obra de disipación aguas abajo.
- Readecuación de defensas
- Conducciones hasta puntos de aprovechamiento, aguas debajo de las compuertas.

#### ***10.8.2.2 Funciones de la propuesta***

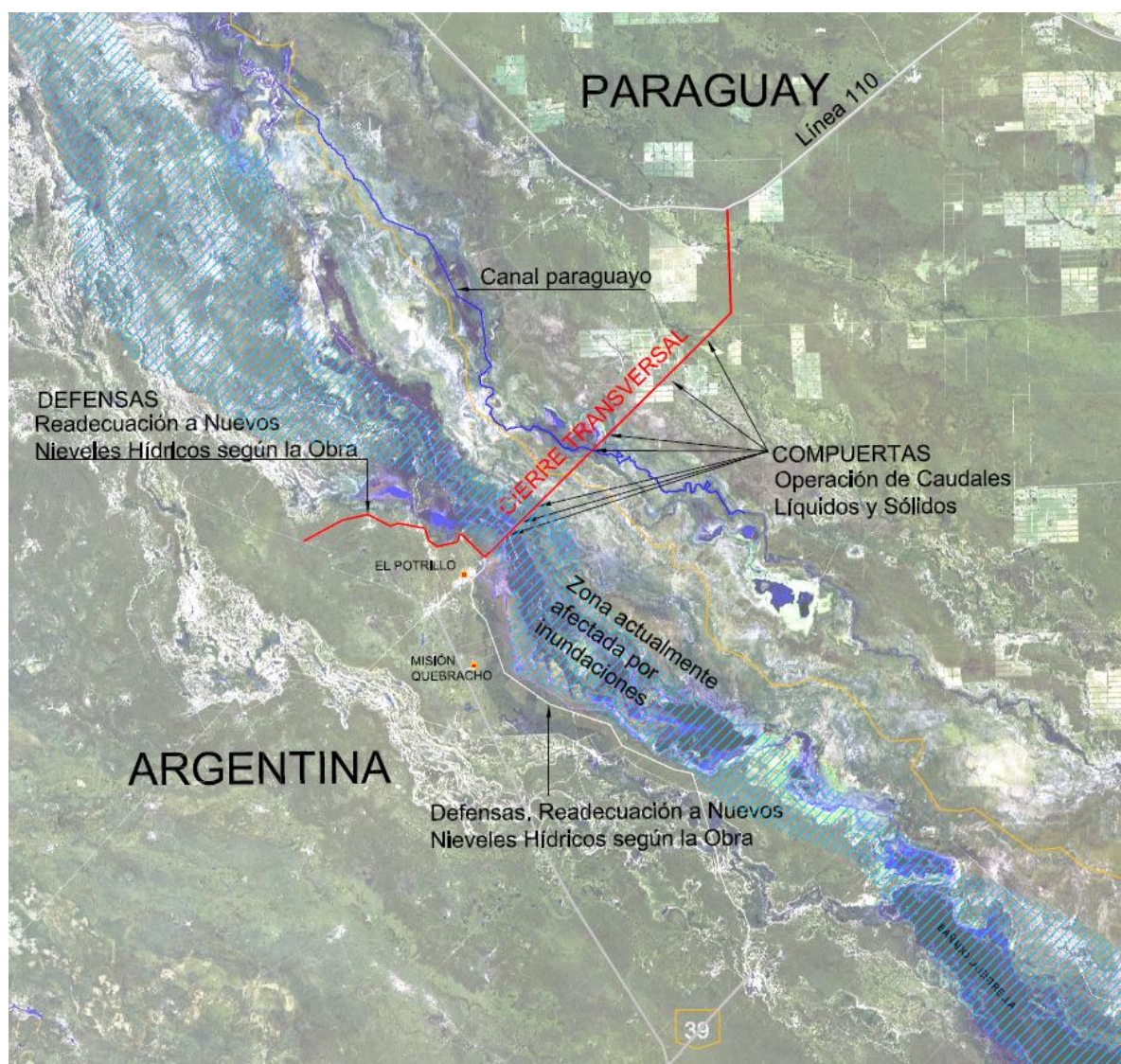
- Almacenamiento aguas arriba del cierre transversal.
- Protección contra inundaciones de la localidad de El Potrillo, Misión El quebracho y alrededores.
- Vía de comunicación entre El potrillo y la Ruta Nacional N° 86 con conexión a la Línea 110 en Paraguay.
- Control de evacuación de sedimentos mediante serie de compuertas
- Derivaciones y almacenamiento para aprovechamientos aguas abajo del cierre durante épocas de estiaje

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### 10.8.2.3 Descripción Conceptual

En esta alternativa se plantea la ejecución de un cierre transversal, de aproximadamente 50Km de desarrollo, según una sección transversal al Bañado la Estrella a la altura de la localidad de El Potrillo (Argentina), permitiendo una franca vinculación vial entre ésta y la Línea 110 en la república Paraguaya.

La altura del cerramiento es la mínima suficiente para evitar el anegamiento en aguas altas y avenidas y asegurar la provisión durante el estiaje. El ancho de coronamiento debe contemplar el uso del cierre como vía de comunicación.



**Figura 77 Componentes de obra según Alternativa 1**

La ejecución del cierre que se propone implica un corte total del cauce, incluyendo sus llanuras de inundación y las obras de protección de márgenes y de aprovechamiento existentes. Hacia el Sur la traza del cierre se fusiona a los terraplenes de protección contra inundaciones de El Potrillo y hacia el norte al concluir la conexión con la Línea 110 se secciona al actual canal de aprovechamiento paraguayo.

La ubicación del cierre según esta propuesta además de favorecer la comunicación entre países respeta la distancia mínima recomendadas en estudios antecedentes respecto del punto de taponamiento del río (aproximadamente 60km).

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

La propuesta según esta alternativa incluye el refuerzo y/o recrecimiento de las obras de protección existentes además del estudio y ejecución de este tipo de obras en otros sectores que lo ameriten, ampliando las medidas actuales, tal es el caso de Misión El Quebracho.

Para el aprovechamiento de caudales se prevé la ejecución de obras de toma sobre el mismo cuerpo del cierre o terraplén, que luego se vincularían a bajos naturales constituyendo una reserva hídrica para diversos usos.

Como elemento de control y/o operación se propone una serie de compuertas sobre el cuerpo del cierre y la disposición de vertederos de excedentes. Estos órganos de control deben diseñarse y operarse estratégicamente para que la obra propuesta cumpla los fines de regulación de caudales.

La operación estratégica implica el estudio de escenarios de apertura total o parcial de todas o algunas de las compuertas previstas, controlando los niveles hídricos aguas arriba del cierre, con lo que en definitiva y según el diseño de las obras de captación se definen los caudales derivados a cada aprovechamiento.

Otra de las funciones fundamentales de las compuertas es la de dotar al cierre de cierta permeabilidad al transporte de sedimentos. Para cumplimentar este segundo objetivo, se ha contemplado la ejecución de una cantidad de compuertas superior a la que determinan los requerimientos hidráulicos, de forma tal que ubicadas estratégicamente a lo largo del cierre, y con políticas de operación alternada, asegure el control de los procesos erosivos, lo cual redundará en una mayor vida útil de la obra.

Como fuera indicado previamente, el control de los excedentes hídricos se ha planteado mediante la construcción de una serie de vertederos de cresta libre, ubicados estratégicamente sobre el cuerpo de la presa según la morfología y dinámica propia de cauces.

La geometría de los vertederos surgirá de un detallado estudio hidráulico en el cual se deberá tener en cuenta que su funcionamiento combinado con la operación de evacuación por compuertas garantice cierto nivel máximo aguas arriba del cierre ante un evento extremo de crecida. Esta consideración asegurará la integridad de las obras de toma y derivación, ante la ocurrencia de escenarios de crecientes extraordinarios.

El nivel máximo aguas arriba, controlado a través de los órganos de evacuación además de resguardar las obras deben evitar inconvenientes por anegamiento (inundación) a las localidades y/o parajes ubicados dentro del entorno de afectación. La modelación hidráulica de cauces teniendo en cuenta la implantación de las obras propuestas, brindarán la herramientas y parámetros necesarios para el adecuado diseño de las nuevas obras de protección contra inundaciones, o bien la readecuación y/o refuerzo de las ya existentes.

Conceptualizada la obra, sus componentes y condicionantes sedimentológicos, se arribó a la conclusión de que su tipología, concebida para la regulación y aprovechamiento de caudales líquidos, es inconveniente dada su corta vida útil y el riesgo potencial de inundación de la zona de influencia tras su colmatación.

Estas conclusiones derivan de la observación del continuo avance de los procesos sedimentológicos, con magnitudes imposibles de controlar con la infraestructura como la aquí presentada. Estas deducciones son confirmadas por afirmaciones realizadas por técnicos y especialistas de amplia experiencia en este río, como en otros que con similares características de sedimentación inutilizaron en pocos periodos hidrológicos, obras de infraestructuras con conceptos de diseños similares a los aquí propuestos.

El mecanismo de falla del sistema se inicia con la pronta colmatación aguas arriba del cierre, resultando la capacidad de las compuertas insuficiente para evitar la sedimentación, al menos en proximidades de la obra e inutilizando las mismas tras la acumulación de una importante masa de sedimento en su cara aguas arriba.

Esta situación modificaría por un lado la hidráulica de la obra acelerando el proceso de sedimentación aguas arriba, a un nivel mínimo próximo a la cota del labio vertedor (fuera de la zona de vertedero los

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

niveles de sedimentación son mayores), siendo por tanto necesaria la realización de continuas y costosas campañas de dragado que permitan mantener la funcionalidad de las obras.

Paralelamente los procesos de sedimentación aguas arriba de las obras, genera en forma directa el incremento de los niveles de agua para iguales escenarios hidrológico. Esta situación mayor el riesgo de anegamiento poblados ubicados en la zona de afectación y de la potencial modificación del funcionamiento hidrodinámico y sedimentológico del sistema, por ejemplo por la activación de paleo cauces.

### **10.8.3 ALTERNATIVA 2**

#### ***10.8.3.1 Componente de obra***

- Cierre transversal al río Pilcomayo a la altura de El Potrillo. Terraplén de suelo compactado con protección aguas arriba.
- Vertederos escalonados de excedencias dispuestos en el cierre.
- Readecuación de defensas.
- Tomas laterales argentina y paraguayana.
- Readecuación de infraestructura vial.
- Entrega de caudales derivados aguas abajo del cierre.
- Reservorios aguas debajo de la derivación en Argentina.

#### ***10.8.3.2 Funciones de la propuesta***

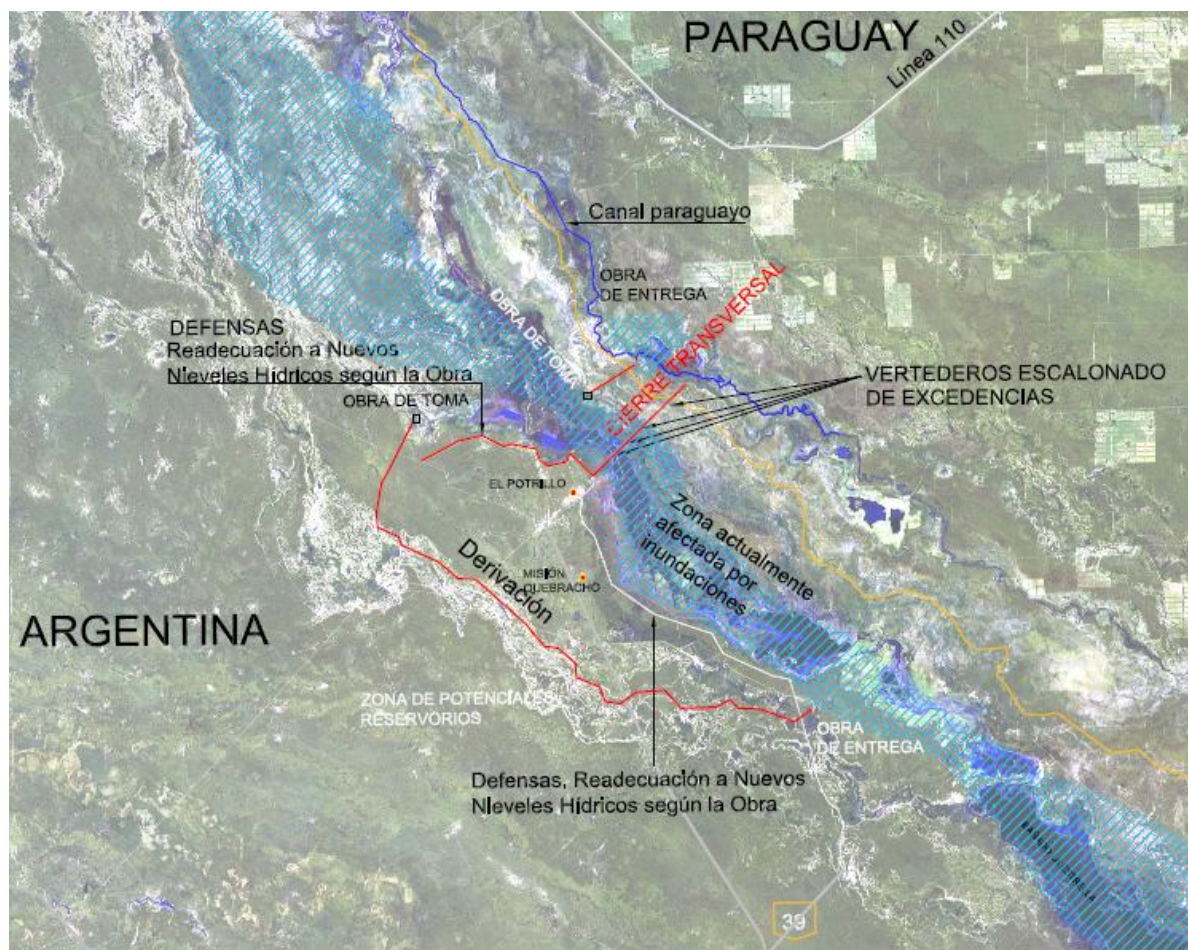
- Elevación del pelo de agua, aguas arriba del cierre transversal, durante periodo húmedo.
- Protección contra inundaciones de la localidad de El Potrillo, Misión El quebracho y alrededores. La derivación lateral de caudales alivia las posibilidades de inundación aguas abajo del cierre.
- Vía de comunicación entre El potrillo y la Ruta Nacional N° 86.
- Libre evacuación de sedimentos mediante la disposición de vertederos a distinto nivel
- Aprovechamiento de caudales durante estiaje mediante reservorios alimentados por tomas laterales

#### ***10.8.3.3 Descripción conceptual***

Presentada la Alternativa 1, su configuración y potenciales falencias funcionales y operativas, se procedió a conceptualizar una nueva tipología de obra, que manteniendo los lineamientos básicos tomados en el caso anterior, permitiera la adecuada derivación de caudales para su posterior regulación y aprovechamiento.

Esta opción consiste en un cierre transversal según el eje de la Alternativa 1, pero limitando su extensión por margen izquierda.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo



**Figura 78 Componentes de obra según Alternativa 2**

Dado a que el cierre no posee dentro de sus objetivos funcionales el permitir la vinculación vial entre países, el mismo requiere un ancho de coronamiento menor, suficiente para satisfacer los condicionantes estructurales y constructivos.

En este caso la función principal de la obra propuesta es la de elevar los niveles hídricos de modo que sea posible la disposición de tomas laterales, independientes del cierre y ubicadas aguas arriba, para el aprovechamiento de caudales. Se prescinde de compuertas de regulación de caudales y gestión de sedimentos, sin formar aguas arriba un reservorio.

La obra transversal se compone de una serie de vertederos a distinto nivel cuya geometría e hidráulica garanticen la alimentación de las derivaciones laterales mencionadas. Los vertederos propuestos se caracterizan por su geometría escalonada que permitiría el cuasi-normal escurrimiento de caudales sólidos, asegurando así la sustentabilidad de las obras.

Las obras de toma dispuestas fuera del eje de cierre en base a la información disponible se muestran también en la Figura 78.

En el caso de las obras de toma laterales, la cota de umbral y su geometría han de definirse en base a modelos hidrodinámicos que permitan analizar el funcionamiento e interacción hidráulica de las mismas con el cierre propuesto y sus elementos de regulación.

Uno de los aspectos de mayor relevancia, junto al diseño hidráulicos de las obras, consiste en el proyecto de las obras de protección de las zonas de embocaduras de las tomas, como de las poblaciones en el área de influencia, dado que considerando las características dinámicas del cauce natural junto a los importantes procesos sedimentológicos existentes, se debe prever asegurar sustentabilidad y estabilidad de la obra y fundamentalmente del sistema hídrico involucrado.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Son dos las obras de toma consideradas según la presente, cada una en correspondencia con cada país. Del lado argentino se considera una aducción aguas arriba de la zona del cierre a una distancia de aproximadamente 17Km medidos desde el eje transversal, en una zona de desplazamiento de la margen derecha. A partir de la nueva obra de toma se dispone de un canal, que con una longitud de 14Km, entregue los caudales a un paleo cauce del río ubicado sobre ese lateral. Luego se plantea un punto de entrega final de caudales al bañado a una distancia 57Km, medida desde el eje del cierre.

En el caso de Paraguay se propone la disposición de una toma directa al río que lleve agua hacia su actual canal de derivación.

Esta alternativa de conducción brinda al sistema hídrico dos importantes funciones operativas. Por un lado permite la conducción de caudales al cauce inactivo del río, sobre los cuales se pueden plantear diversos sectores destinados al almacenamiento y regulación para satisfacción de las demandas. Y por otro, la derivación de caudales en este lugar y en la toma paraguaya, reduciría considerablemente los problemas de anegamiento por inundación de centros poblados ubicados aguas abajo del cierre y hasta la zona de devolución de caudales.

Como obras complementarias es necesario estudiar la necesidad de recrecimiento de las obras de defensa sobre la margen derecha a la altura de la localidad de El Potrillo, junto al diseño de nuevas protecciones que aseguren la región ante riesgo de inundación por desbordes.

Dentro de las obras complementarias se deberán estudiar la readecuación de las obras viales existentes, de forma de asegurar el acceso a las poblaciones. Como así también cualquier otra intervención que pudiera surgir de nuevos análisis basados en información de campo más detallada.

### ***10.8.3.4 Cálculos hidráulicos preliminares***

#### **Vertederos**

Como se indicó al describir los componentes de obra, se propone disponer de dos tipos de vertederos. Por un lado, vertederos de estiaje a un nivel inferior que permitan la descarga del caudal medio durante este periodo y por el otro, vertederos de excedencias cuyo funcionamiento se activaría durante crecientes máximas, estando a una cota superior a la de los anteriores. Ambos vertederos se conformarán mediante un rebaje del cierre, sin ninguna obra de infraestructura especial.

Los parámetros hidráulicos que se deben tener en cuenta en el cálculo de estos órganos de evacuación están regidos por la siguiente fórmula:

$$Q = CLH^{\frac{3}{2}}$$

Donde,

Q: Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s)

C: Coeficiente de descarga del vertedero (adim)

L: Longitud de vertedero (m)

#### **Vertederos de estiaje**

$$50m^3/s = 1.7 \times L \times 0.5m^{\frac{3}{2}}$$

$$L = 100m$$

Despejando la longitud necesaria de vertedero para evacuar el caudal medio de estiaje, ésta variable resulta en 100m. Dicha longitud de vertederos se ubica y distribuye a modo esquemático y de propuesta según se indica en la Figura 79.



## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Para el cálculo de los tirantes conjugados se aplica la siguiente formula que surge del balance de energías antes y después del resalto.

$$\frac{y_3}{y_2} = 0.5 \times (\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1) \quad [1]$$

Planteando la ecuación de energía entre la cresta del vertedero y el pie del terraplén se obtiene el valor de  $y_2$ .

$$v_2 = \sqrt{\left(\frac{v_1^2}{2g} + Z_1\right) \times 2g} \quad [2]$$

$$A_2 = \frac{Q}{v_2} \quad [3]$$

$$y_2 = \frac{A_2}{b} \quad [4]$$

Aplicando la formula [1] se obtiene  $y_3$ . Luego la longitud del resalto se obtiene del grafico en la ingresando con el número de froude al inicio ( $F_2$ ).

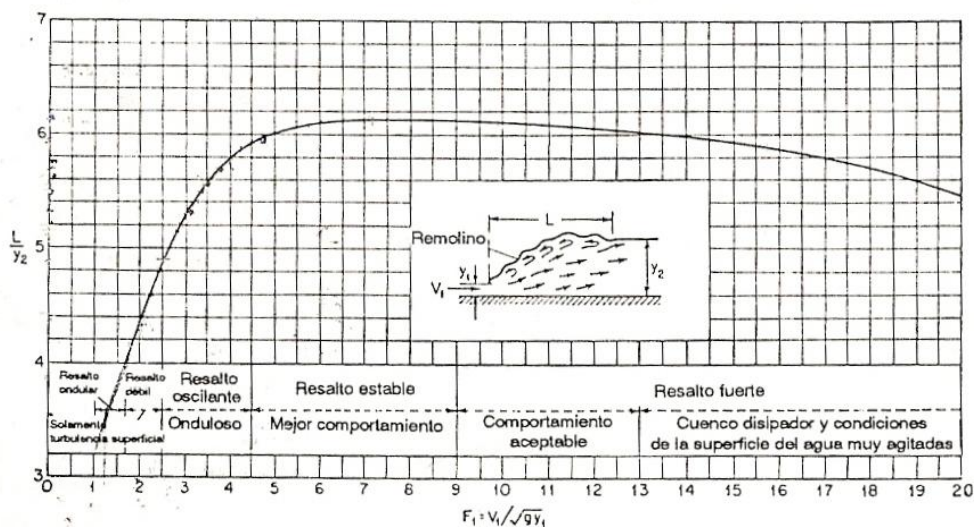


Figura 15-4. Longitud en términos de la profundidad secante  $y_2$  de resaltos en canales horizontales (con base en los datos y recomendaciones del U.S. Bureau of Reclamation [34]).

### Figura 81 Longitud de resalto en función del número de fraude aguas arriba

En la tabla siguiente se presenta el cálculo de la longitud del cuenco para distintas alturas del terraplén de cierre, variando ésta entre los 6 y 10m para terraplenes de entre 1.20 y 4.50m.

### Tabla 28 Calculo de longitud del cuenco amortiguador para alturas de terraplén extremas

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Z1	v1	$\frac{v1^2}{2g}$	$v2 = \sqrt{\left(\frac{v1^2}{2g} + Z1\right) \times 2g}$	A2	y2	F2	y3	L
m	m/s			m <sup>2</sup>	m		m	m
1.20	1.78	0.16	5.17	1052.46	0.33	2.88	1.18	5.92
2.50	1.78	0.16	7.23	752.78	0.24	4.76	1.47	8.82
3.00	1.78	0.16	7.88	690.70	0.22	5.41	1.55	9.29
3.50	1.78	0.16	8.48	641.81	0.20	6.04	1.62	9.70
4.00	1.78	0.16	9.04	602.02	0.19	6.65	1.68	10.07
4.50	1.78	0.16	9.56	568.82	0.18	7.24	1.73	10.40

### 10.8.4 ALTERNATIVA 3

#### 10.8.4.1 Componente de obra

- Tomas laterales argentina y paraguaya
- Readecuación de defensas

#### 10.8.4.2 Funciones de la propuesta

- Protección contra inundaciones de la localidad de El Potrillo, Misión El quebracho y alrededores. La derivación lateral de caudales alivia las posibilidades de inundación aguas abajo del cierre.
- Vía de comunicación entre El potrillo y la Ruta Nacional N° 86.
- Libre evacuación de sedimentos mediante la disposición de vertederos a distinto nivel

#### 10.8.4.3 Descripción conceptual

Como última alternativa (Alternativa 3), se han planteado las mismas obras de toma directa sobre el río, sin la presencia de un cierre transversal al río. Esta nueva tipología de obra no genera modificaciones substanciales sobre el cauce (o bañado), lo cual limita la modificación de las actuales condiciones de escurrimiento de caudales líquidos y sólidos, y consecuentemente elimina el riesgo potencial de inundación aguas arriba.

Esto último reduce las inversiones en infraestructura de control de inundación de márgenes, manteniendo aquellas vinculadas a la activación de cauces no activos del río.

Finalmente, y a diferencia de la anterior, al no contemplarse cierres transversales, es necesario modificar la ubicación de la obra de toma, más próxima al eje del cauce, de forma de asegurar la derivación de los caudales requeridos, dejándola vulnerable ante escenarios de crecientes máximas y a la sedimentación.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

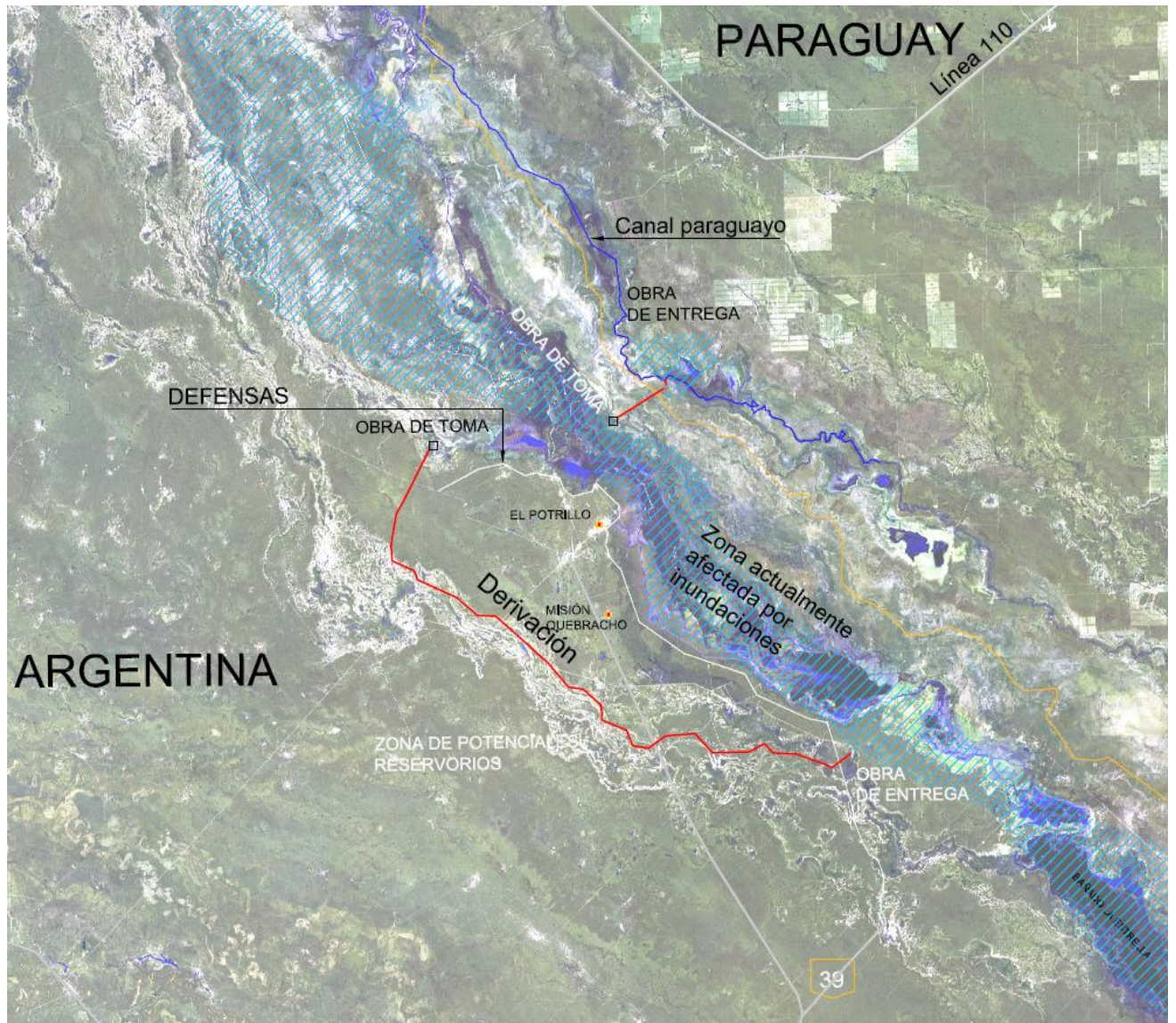


Figura 82 Esquema de la propuesta según la Alternativa 3

### 10.8.5 CONCLUSIONES RESPECTO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

#### 10.8.5.1 Alternativa 1

Como en sus informes expresara el Dr. M. Vide la derivación de caudales con la previsión de un dique de muy poca altura garantiza la división en las proporciones previstas, si se compara con toma directa o divisiones directas del cauce.

La ubicación del cierre debe ser resultado de un profundo estudio en virtud del comportamiento sedimentológico propio del Pilcomayo además de sus particularidades geológicas y geomorfológicas. La ubicación tentativa propuesta, según se expresó anteriormente, supone que en esa sección el agua ha dejado la mayor porción de sedimentos aguas arriba, próximo al tramo en que el río pierde su cauce.

Se deberá tener especial cuidado respecto del impacto ambiental del cierre en los bañados afectados o creados por él, en la calidad de las aguas y en las comunidades de peces, y el comportamiento “hidrodinámico” y “morfo dinámico” de la región aguas arriba y aguas abajo del cierre.

El impacto ambiental sobre las especies de peces migratorios se debe remediar disponiendo de escalas de peces en el terraplén de cierre transversal. Se exponen las conclusiones del Dr. Vide respecto de éste componente de la obra;

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

“.....Las escalas deberían ocupar una extensión importante de toda la longitud del dique y preferentemente en las líneas de máxima corriente, de manera que el individuo encuentre el camino de la escala con facilidad. Pensamos que su ubicación en el vertedero debería ser central, no marginal. Precisamente su posición y su corta longitud en la ruta 28 hacen improbable que una parte de la población de peces las encuentre.”

Otro aspecto ambiental a estudiar es la prevención de riesgos de sobrepoblación de biomasa vegetal en los bañados creados y/o almacenamientos que luego pueda ser desfavorable a la calidad de las aguas al convertirse en materia orgánica muerta.

Se estima una vida útil de escasa longitud para la obra, ligada directamente a la colmatación aguas arriba, transformando el reservorio en una gran área de sacrificio.

El cerramiento no alcanza a cumplir un papel de regulación pero si de aprovechamiento de caudales del periodo húmedo.

### **10.8.5.2 Alternativa 2**

Las limitaciones ambientales y a causa de la sedimentación resultan de menor influencia para esta alternativa puesto que la disposición de vertederos simplemente, omitiendo el cierre y control con compuertas hace al comportamiento de la obra más compatible con el comportamiento actual del río. La escasa altura de los vertederos propuestos para el nivel inferior permite al río fluir casi sin alteraciones durante el estiaje.

Al igual que para la alternativa 1, una de las funciones del cierre sería procurar la regulación del mayor aporte de caudales, que ocurre entre enero y marzo, para su aprovechamiento a lo largo del año, incluso durante el estiaje; pero previendo el almacenamiento en los mismos bañados aguas abajo.

Excepto por la conectividad vial que implica la alternativa anterior ésta configuración de obras cumple las mismas funciones que la anterior.

### **10.8.5.3 Alternativa 3**

Como se indicó en su descripción esta alternativa tiene la ventaja reducir las interferencias con el río, pero en contraposición las obras de toma quedan altamente vulnerables a los procesos de sedimentación y crecidas, quedando su durabilidad cuestionada. La regulación para el aprovechamiento en periodos de sequía debe plantearse en los bañados o a través de reservorios aguas debajo de las tomas.

El prescindir de un cierre transversal que facilite la alimentación de toma lateral, obliga al mantenimiento de un cauce único sobre el cual se efectúe el aprovechamiento. Esta configuración puede resultar positiva por cuanto si se instalan obras para aprovechamiento para ambos países, los mismos concentrarían sus esfuerzos en el mantenimiento del cauce y además se incluye en la repartición de agua, la de sedimentos.

## **10.8.6 VIDA ÚTIL**

No es posible determinar la vida útil de las obras propuestas en base la información disponible, hace falta generar un modelo que represente la dinámica hídrica en un tramo que abarque la zona de obra, para representar los cambios que se producen como consecuencia de ellas, en el proceso de sedimentación lo cual determinaría la vida útil de los cierres transversales y tomas laterales

Según otros autores este tipo de obras en la cuenca baja, tiene un horizonte de entre 20 y 30 años, lo cual se relaciona con el agotamiento del área de sacrificio, con la salvedad de que permite su reparación o reposición ya que es obra de tierras esencialmente.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **11 TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL PROYECTO DE LA OBRA**

### **11.1 INTRODUCCIÓN**

Dada la dinámica fluvial del río Pilcomayo, donde se presentan continuas modificaciones en su cauce y que son el resultado de importantes procesos de erosión y depositación, se hace necesario el planteo de obras de infraestructura, las que con una mínima modificación en las condiciones normales de escurrimientos, permitan el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico.

Junto con la dinámica fluvial del cauce, el río Pilcomayo presenta una importante variabilidad en los caudales líquidos transportados, con relaciones que pueden llegar a 1 a 1000 entre los caudales máximos y mínimos instantáneos. Por esta razón las obras de aprovechamiento que corresponden al presente TdR incluyen dentro de sus lineamientos la regulación de caudales, que permita asegurar la disponibilidad hídrica en periodos de caudales bajos del río.

Como obras de infraestructura se ha previsto la ejecución de un cierre transversal del río a la altura de la localidad de (El Potrillo Pcia. de Formosa, Argentina), sobre el cual se ha previsto la ejecución de una serie de vertederos escalonados, donde los más bajos cumplen la función de controlar los niveles del pelo de agua para la derivación de caudales, y los superiores de permitir el normal escurrimiento de los caudales extraordinarios. En ambos casos la tipología de obra de control y evacuación de caudales permite el aprovechamiento del recurso con la mínima intervención sobre las condiciones de escurrimiento del río.

Para la captación de caudales se propone la ejecución aguas arriba del cierre, de dos tomas independientes sobre cada margen del río, las cuales se vinculan mediante obras de canalización a paleocauces, en los cuales se procederá a su conducción y regulación, previo a la entrega a los sistemas hídricos de aprovechamiento existentes.

Como obra alternativa se propone la no ejecución del cierre transversal al cauce, siendo necesario el replanteo en la ubicación de las obras de captación indicadas anteriormente, de forma de asegurar la derivación de caudales en periodos de estiaje.

El presente Término de Referencia (TdR), tiene por objetivo brindar las pautas y lineamientos fundamentales para el desarrollo de los Estudios de Campo y Tareas de Gabinete necesarios para el correcto diseño de las obras, asegurando el máximo desempeño y su sustentabilidad para las condiciones de diseño previstas, minimizando la perturbación del medio natural y afectación al medio antrópico presente en las inmediaciones de las obras.

### **11.2 ACTIVIDADES**

Para el desarrollo del proyecto definitivo se desarrollaran, a modo enunciativo no limitativo, las siguientes tareas, las cuales han sido divididas en Estudios Básicos de Campo y Tareas de Gabinete.

#### **11.2.1 ESTUDIOS BÁSICOS DE CAMPO**

##### ***11.2.1.1 Levantamiento Topográfico de Detalle***

##### **Obra de Cierre Principal, Tomas, Canales y Cierre de Paleocauces**

En las zonas de cierre principal y paleo cauce, el relevamiento se realizará con una densidad mínima de 400 puntos por hectárea en un zona comprendida 250m aguas arriba y 250m aguas abajo del eje de las obras. En todos los casos el relevamiento se realizará hasta una distancia de 1000m de la margen activa y/o a afectar por las obras.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

El relevamiento de la zona de implantación de las obras de toma y canales, incluyendo éstos los paleocauces que serán activados para la conducción de caudales, se realizará con una densidad de puntos similar a la anterior en un área de 100m a cada lado del eje de las obras.

En todos los casos se incluirán alambrados, construcciones, molinos, aguadas, caminos y toda otra obra de infraestructura que se encuentre comprendida en la zona de las obras y del embalse. En este punto se tendrá especial atención en relevar topográficamente todas las obras de protección contra inundaciones existentes en la zona de afectación.

En caso de ser factible por las condiciones naturales del medio, para cada uno de los ejes que definen las obras anteriores se colocarán al menos 2 (dos) mojones con coordenadas y cota IGM, asegurando su clara identificación y definición.

La densidad de puntos del levantamiento es promedio e indicativa. La misma se ajustará en el lugar a criterio de la inspección, y será la necesaria para representar lo más fidedignamente posible la forma del terreno y los accidentes topográficos particulares que pudieran encontrarse.

Se colocarán un total de 5 (cinco) puntos fijos identificados mediante mojones con coordenadas y cota IGM distribuidos en la zona del embalse sobre los niveles máximos esperables y que servirán de apoyo para todos los levantamientos que se realicen en el marco del proyecto.

### Área de inundación

En esta etapa se solicita la realización de un relevamiento del área de inundación generado por el proyecto, incluyendo las correspondientes al Cierre Principal y aquellos realizados sobre los Paleocauces.

El relevamiento se realizará mediante el relevamiento de secciones transversales al cauce con una densidad mínima de 20 puntos por sección y hasta una distancia de 1000m de la margen activa y/o a afectar por las obras. La distancia mínima entre secciones será de 1000m y en coincidencia con localidades y poblados ubicados dentro de la zona de afectación de las obras.

La densidad de puntos del levantamiento es promedio e indicativa. La misma se ajustará en el lugar a criterio de la inspección, y será la necesaria para representar lo más fidedignamente posible la forma del terreno y los accidentes topográficos particulares que pudieran encontrarse.

Para todos los relevamientos los trabajos se realizarán con una precisión superior a +/- 0,01 m en X, Y y Z. Las coordenadas y cotas de los puntos fijos tendrán una precisión de +/- 0,005 m.

La localización de los puntos fijos en la zona de cierre será tal que en lo posible garanticen su permanencia durante la construcción de la obra; en la zona de embalse los puntos se colocarán preferentemente próximos a la zona de perillago.

La monumentación consistirá en mojones de Hormigón Armado cuyas dimensiones serán:

Altura total:	1.00m
Altura prismática de sección cuadrada:	0.70 m
Altura de sección tronco cónica:	0.30m
Sección Cuadrada inferior:	0.20 x 0.20
Sección superior:	0.10 x 0.10

Estos mojones se enterrarán 0.70m y poseerán en su parte superior una chapa de bronce donde constará:

DGOH.

Mojón: \_\_\_\_\_

Cota: \_\_\_\_\_

Para cada mojón se realizará una descripción que poseerá como mínimo:

Identificación

Fotografía digitalizada de la zona de emplazamiento

Coordenadas Gauss Krugger

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### Cota IGM

El Sistema de Referencia Horizontal, será el Sistema geocéntrico mundial WGS'84.

El marco de referencia será la red Nacional POSGAR'94.

La proyección plana será la transversa de Gauss Krüger en faja 3.

El Sistema de Referencia Vertical, será el Sistema altimétrico del IGM, vinculándose a los PF existentes en la zona.

### Trabajos complementarios

- Elaboración del Modelo Digital del Terreno
- Trazado de curvas de nivel con equidistancia 1 (un) metro
- Planialtimetría en escala adecuada con la ubicación de todos los elementos levantados según se indica anteriormente.
- Monografías de los puntos fijos
- Plano de Registro Gráfico correspondientes con los datos catastrales y dominiales de las propiedades afectadas en la zona de obras y embalse

### Presentación de la documentación

- Planos en escalas convenientes y en Formato IRAM A1
- Monografías de puntos fijos
- Archivos txt. de los puntos del levantamiento y listados en planillas Excel

De toda la documentación se entregarán 2 (dos) copias en papel y una copia en soporte magnético.

### ***11.2.1.2 Caracterización Geotécnica***

Estas tareas tienen por objetivo establecer las características físico-mecánicas de los suelos en donde serán construidas las obras. Por tal motivo se efectuarán calicatas en aquellos sitios donde serán localizadas las obras civiles de mayor envergadura, a los efectos de extraer muestras y caracterizar el comportamiento físico-mecánico de los suelos, incluido su capacidad de carga. En estos puntos se ejecutaran ensayos tipo Terzaghi y SPT, y todo otro ensayo necesario para el adecuado diseño de las obras.

Sobre la base de las muestras extraídas se confeccionaran curvas granulométricas, se realizará la determinación de densidades, límites de Atterberg, permeabilidad, y se efectuaran ensayos de corte simple o triaxial a los efectos de determinar los valores de cohesión (c) y ángulo de fricción interna, en cada una de las muestras tomadas.

### **11.2.2 TAREAS DE GABINETE**

Este ítem incluye todos los trabajos y tareas, que complementan a los estudios anteriores, que deberán ser realizados para la adecuada consecución del proyecto de las obras. Estas tareas pueden ser subdivididas según la tipología de trabajo en Estudios Básicos y Proyecto de las Obras.

#### ***11.2.2.1 Estudios Básicos***

En este punto se desarrollaran todos los estudios y tareas, que conjuntamente con los resultados obtenidos de los estudios de campo, permitan conocer las características y particularidades del medio de implantación de las obras.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

### Análisis de antecedentes

Se procederá en una primera etapa a la evaluación de los antecedentes existentes, incluyendo aspectos hidrológicos, sedimentológicos, geomorfológicos, demandas, etc. y particularmente los referidos a los estudios básicos de obras de características similares a las planteadas.

### Hidrología

En base a los estudios de antecedentes se establecerá el régimen hidrológico del río, en base a lo cual se efectuará un análisis de la oferta hídricas del Río Pilcomayo en la zona de trabajo. Se confeccionaran curvas de frecuencia, duración de caudales y todo otro análisis que permita valorar el volumen disponible a lo largo del año hidrológico.

Para el dimensionamiento de las estructuras de control a proyectar, tales como vertedero evacuador de crecidas, será necesario definir la crecida máxima del proyecto. Para ello se emplearán los datos de las crecidas máximas aforadas en estaciones próximas a la sección de derivación, y en base a métodos estadísticos se determinara el caudal máximo probable para diferentes periodos de retorno. Se deberán determinar adicionalmente los caudales mínimos y el caudal ecológico para la obra de descarga.

### Demanda Hídrica

En base a los antecedentes disponibles se realizará un análisis de la demanda hídrica para los usos sanitarios, ganaderos, agrícolas e industriales, para un horizonte de 25 años, y considerando la variación temporal de las distintas demandas hídricas, se establecerá la curva de demanda para cada uno de los meses del año hidrológico.

### Caracterización Geomorfológica

En base a los antecedentes disponibles se definirán las condiciones y aptitud geológicas y geomorfológicas de las áreas de obras de manejo y/o derivación, transporte y descarga, tanto de la zona de cierre, obras de toma, canalizaciones, paleo cauces (zonas de conducción y regulación).

### Caracterización Hidrosedimentológica del tramo

A los efectos de cuantificar la cantidad de sedimentos transportados por el Río Pilcomayo, y a partir de allí el volumen de material sólido aportado a la zona de estudio, se analizarán en primera instancia los antecedentes existentes que muestran una evaluación cuantitativa y cualitativa de los mismos. Luego se recurrirá a la evaluación de las series de registros de caudales sólidos aforados en estaciones existentes en las proximidades de las zonas de derivación, como las de Misión La Paz y Fortín, para obtener series más recientes y efectuar un análisis estadístico de las mismas a los efectos de establecer y calibrar los volúmenes medios anuales de material sólidos transportados por la corriente.

### Modelación hidrológica e hidrosedimentológica bidimensional

Con el objeto de establecer el comportamiento hidráulico y sedimentológico del tramo en estudio, y su interacción con las obras, se procederá a desarrollar un modelo bidimensional del tramo. Así con los resultados obtenidos, junto a los objetivos previstos para las obras, se procederá a realizar el ajustar definitivo de las obras.

La modelación hidrodinámica bidimensional se calibrará reproduciendo las condiciones de distribución del flujo y velocidades de la corriente medidas en la zona. Se realizarán corridas para las condiciones de crecidas de diseño, considerando diferentes escenarios posibles dentro del período esperable en los siguientes 25 años.

La modelación numérica sedimentológica bidimensional se realizará para dos eventos de crecientes (crecientes normal y extraordinaria), cubriendo en ambos casos el tiempo de modelación la duración del evento.

Modelo numérico de tramo incluirá toda la zona de afectación de las obras, en un dominio computacional preferentemente coincidente con el del modelado hidrodinámico, con acoplado temporal entre el módulo hidrodinámico y el morfodinámico debidamente justificado.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Adicionalmente a los requerimientos de calibración hidrodinámica, se deberán justificar en detalle todas las elecciones de formulaciones de transporte de sedimentos, como así también la de todas las variables numéricas –como porosidades del material arenoso de lecho, densidades, granulometrías-, etc.

Con el objetivo para analizar en detalle los procesos de sedimentación, se incrementará la resolución en proximidades de las obras de toma y del cierre transversal sobre el cauce. Dicha resolución deberá ser compatible con la alcanzada en el refinado hidrodinámico.

Se deberá comparar el resultado de las simulaciones con datos e información disponibles en la zona de estudio.

### **11.2.2 Proyecto de las Obras**

En este ítem se incluyen todos los trabajos y tareas necesarias para el correcto diseño de las obras.

#### **Obra de Cierre del Río Pilcomayo**

En base a los estudios y resultados obtenidos previamente, se procederá a desarrollar el proyecto de la obra de cierre transversal al cauce del río Pilcomayo, pudiendo ser el eje de la obra ajustado según los resultados de las campañas y estudios realizados.

Para el control de niveles, y tendiendo a minimizar el impacto de la obra en el medio, se procederá a realizar el diseño altimétrico del cierre considerando la construcción de vertederos escalonados, siendo el más bajo de ellos para la evacuación de caudales de estiaje, y con cota tal que asegure la derivación de los caudales necesarios en las obras de toma. A modo de referencia se puede considerar el caudal con posibilidad de ser superado el 70% de las veces. Los vertederos superiores serán proyectados para la evacuación de la creciente de diseño. A modo de referencia se puede considerar el caudal para un  $T_R$ : 100 años.

La ubicación de las obras de evacuación deberán coincidir con cauces activos o no, verificando en ambos casos la estabilidad fluvial de los tramos ante la ocurrencia de esta nueva condición hidráulica.

Todas las obras de evacuación contarán aguas abajo con un cuenco disipador de energía cuyo diseño asegure la estabilidad fluvial del tramo de canal.

Tanto las obras de evacuación, taludes, rápidas, cuenco disipador, etc., donde las velocidades y características del flujo lo requieran, serán protegidas de forma tal de asegurar su estabilidad, ante la ocurrencia de eventos de diseño. Así mismo, y en caso de ser necesario, aguas arriba del cierre se procederá a ejecutar una protección que asegure la integridad de la obra ante la ocurrencia de oleaje incidente u otra acción hidráulica.

Estructuralmente el cierre será proyectado para soportar las distintas solicitaciones de carga, factibles de ocurrir dentro de un horizonte de 25 años.

El diseño de las obras se realizará siguiendo las recomendaciones del US Army Corps of Engineers y del U.S. Bureau of Reclamation.

#### **Obras de Toma y Canales**

El diseño hidráulico de las mismas asegurará, para las condiciones de diseño, la derivación de los caudales requeridos.

La zona de aducción de las obras de toma, serán diseñadas considerando los importantes procesos de erosión y sedimentación presentes en el río, asegurando el normal escurrimiento de los caudales requeridos, y en caso de ser requerido se diseñará un plan de mantenimiento que asegure la funcionalidad de las obras.

En principio, y de conformidad al esquema de funcionamiento hidráulico descrito previamente, se analizará la posibilidad de aprovechar cauces o paleocauces como conducciones naturales, siempre que su geometría y traza lo permita.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

El examen general del flujo, en todos los casos, se realizará en base a ecuaciones de fricción tales como la de Chezy-Manning o semejantes. En particular se verificarán velocidades máximas y mínimas para diversas condiciones de funcionamiento normal del sistema. Asimismo, se evaluarán los efectos erosivos para descargas de emergencias.

La velocidad erosiva se calculará en función de la tensión crítica de arrastre del material de base. La velocidad de sedimentación se estimará según el criterio de Kennedy o semejantes. No obstante, se consideran relevantes las apreciaciones que se pueden realizar "in situ" en drenajes existentes, como base para la adopción de parámetros comparativos en los procesos de sedimentación-erosión.

Se asignará particular importancia a las pérdidas por infiltración que se producirán durante el transporte. Para la estimación de tales pérdidas se utilizará un Modelo Matemático.

Con referencia al diseño geométrico, las revanchas a verificar para el régimen normal de escurrimiento serán las propuestas por el US Bureau of Reclamation para conducciones a superficie libre, sin revestimiento.

### **11.2.2.3 Cómputo y Presupuesto**

La Consultora deberá preparar los cómputos, análisis de precios unitarios y presupuesto definitivo, discriminando el mismo en rubros e ítem compatibles con el nivel de Proyecto Licitatorio.

### **11.2.2.4 Especificaciones Técnicas y Documentos Licitatorios**

La Consultora preparará las especificaciones técnicas, con la descripción de trabajos para todos y cada uno de los ítems que integren los rubros del cómputo y presupuesto para la ejecución de las distintas obras.

Asimismo, preparará la documentación necesaria para el llamado a licitación de las obras que integren el proyecto, la cual incluirá o forma enunciativa las siguientes partes:

- Instrucciones a los oferentes.
- Memoria descriptiva.
- Condiciones generales del Contrato.
- Condiciones particulares del Contrato.
- Especificaciones Técnicas y normas de medición y pago.
- Planos
- Anexos

Los planos deberán describir las obras con un grado de detalle tal que un Contratista competente pueda hacer una cotización ajustada.

Los Anexos deberán incluir todos los datos básicos y aquellos antecedentes, estudios obtenidos o efectuados durante la elaboración de los Documentos que permitan formular una oferta ajustada.

Los planos deberán ser ejecutados en software específico para diseño gráfico como Autocad 2010 o superior..

Las planillas de cálculos y los textos serán confeccionados en software específicos para Windows 2000, XP o superior.

Los trabajos deberán ser entregados con sus respectivos soportes magnéticos (CD o DVD)

Se presentarán tres volúmenes de toda la documentación resultante del Proyecto Licitatorio.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

#### **11.2.2.5 Impacto Ambiental**

Se deberán desarrollar los estudios y tramitación necesaria en referencia a los aspectos ambientales. Los trabajos contemplarán tanto para la obra como para la etapa constructiva, los siguientes aspectos como mínimo:

- Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- Diagnóstico ambiental.
- Identificación y Evaluación de impactos ambientales.
- Medidas de prevención y mitigación.
- Medidas particulares para el ecosistema afectado.
- Plan de Gestión ambiental.
- Monitoreo y gestión ambiental en la etapa constructiva.
- Medidas de prevención y mitigación para la etapa constructiva.
- Monitoreo durante la operación de la obra.

#### **11.2.2.6 Plan de Monitoreo, Mantenimiento y Corrección**

Dada las características fluviales del río Pilcomayo, junto a las obras proyectadas, se deberá desarrollar un detallado plan de monitoreo que incluya entre otros:

- Relevamientos topobatimétricos en proximidades de las obras y zonificación de áreas de sedimentación y/o erosión:

Se relevarán perfiles topobatimétricos aguas arriba de las obras,, y en sectores de relevancia de las obras, los cuales serán vinculados a un mismo sistema de posicionamiento topográfico, en base a lo cual se analizará el estado evolutivo de los procesos fluviales, y que pudieran afectar el adecuado funcionamiento y seguridad de las obras.

- Relevamiento del funcionamiento hidráulicos las obras:

Se procederá a relevar el funcionamiento hidráulico de los distintos componentes de las obras (obras de toma, vertederos, etc.), comparando los resultados obtenidos con las hipótesis y cálculos realizados en la etapa de proyecto. En caso de ser necesario se plantearán las tareas correctivas necesarias.

Este relevamiento incluye a los canales de derivación y transporte, vasos de regulación, etc.

#### **11.2.2.7 Factibilidad económica y social del proyecto**

Definidas y presupuestadas las obras hidráulicas desde su concepción ingenieril, se procederá a la evaluación económica-financiera del proyecto.

Se compararán los costos con los beneficios económicos que éstos generan para así decidir sobre la conveniencia de llevarlos a cabo. Es decir, la medida en que el sacrificio económico derivado de la ejecución y operación es compensado por la producción de los bienes y servicios del proyecto.

La evaluación económica desde el punto de vista social considera como costos y beneficios de un proyecto a todos aquellos que se producen debido a su emprendimiento, independientemente de quién o quiénes sean los sujetos que perciben los beneficios o incurrir en los costos. Se interesa por la situación de la comunidad como un todo, analizando si se verá beneficiada por la realización de un determinado proyecto.

## INFORME DE AVANCE DE PERFIL DE PROYECTO

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

Se toman en cuenta todos los costos (sean éstos directos, asociados, indirectos e intangibles) y todos los beneficios (sean éstos también directos, indirectos o intangibles).

En función del objetivo general de este estudio que es de definir la prefactibilidad, es que se lleva a cabo la evaluación económico – social del mismo. La misma implica tres etapas:

- Identificación de los beneficios y costos relevantes para el proyecto.
- Valuación o valoración de los costos y beneficios determinados anteriormente.
- Utilización de criterios que permitan comparar ambos aspectos (costos y beneficios) y determinar la conveniencia económica de un proyecto.

Se determinarán así indicadores económicos financieros a través de los cuales se podrá ponderar la capacidad del proyecto para cubrir, con sus ingresos monetarios, los costos en los que se incurrirá por la realización del mismo, para lo cual se calculará el Valor Actual Neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), y la relación beneficio costo.

Mitigación de problemas de regulación y escasez de agua en períodos de estiaje y sequías en la cuenca baja del río Pilcomayo

## **12 PLANOS**

### **12.1 UBIACIÓN**

### **12.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA**

### **12.3 TOPOGRAFÍA**

### **12.4 ALTERNATIVA 1**

### **12.5 ALTERNATIVA 2**

### **12.6 ALTERNATIVA 3**