

PROBLEMA DE SEDIMENTACIÓN EN EL RÍO PILCOMAYO

Juan P. Martín Vide⁽¹⁾, **Mabel Amarilla**⁽²⁾, **Mario Gamarra**⁽²⁾ y **Fernando Zárate**⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Cataluña -Hidráulica c/Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona- TEL: +34 93 401 64 76

⁽²⁾ Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo -Av. Jaime Paz Zamora E-2750-Tarija-Bolivia- TEL: 00591 4 611304/5/6

vide@grahi.upc.edu, mamarilla@pilcomayo.net, mgamarra@pilcomayo.net, fzarate@pilcomayo.net

RESUMEN

El río Pilcomayo es absolutamente único en el mundo. Desde sus nacientes en las montañas andinas de Bolivia fluye hacia el este a los llanos de Chaco, donde forma parte de la frontera entre Paraguay y Argentina. Debería desembocar en el río Paraguay, un tributario del Paraná, pero es bien sabido, que desde la época de las primeras exploraciones europeas, el río pierde su cauce principal y se desvía formando una región de pantanos antes de alcanzar el río Paraguay. El transporte del sedimento del río es principalmente arcilla y limos finos (carga de lavado) y asciende a unos 130 millones de toneladas por año. Debido a este enorme transporte de sedimento, el cauce en su tramo final ha estado retrocediendo en dirección aguas arriba muy rápidamente a lo largo del siglo XX, causando una gran preocupación en los dos países de la cuenca baja en aspectos como la afectación de poblaciones ribereñas (mayoritariamente indígena), el ambiente (debido a una tendencia hacia la desertificación), la migración de los peces (un recurso importante para Bolivia) y la distribución del agua. La UE esta financiando a los tres países que conforman la cuenca (Bolivia, Paraguay y la Argentina). El artículo describe un poco la cuenca y las características del cauce, el proceso de sedimentación y enuncia las ideas y los estudios que se deben llevar a cabo para dar una cierta estabilidad al ambiente físico de modo de dar solución al problema.

ABSTRACT

The Pilcomayo river is quite unique in the world. From its springs in the Andean mountains of Bolivia it flows eastwards into the great plains of Chaco, where it is the border between Paraguay and Argentina. The mouth of the river should be at the Paraguay river, a tributary of the Paraná, but it is well known, since the time of the first European explorations, that the river loses its main channel and spreads into a region of swamps before reaching the Paraguay. The sediment transport of the river is mainly clay and fine silt (wash load) amounting to some 130 million of tones per year. Due to this huge sediment transport, the last sections of a well formed channel of the Pilcomayo river have been receding in the upstream direction very rapidly along the XX century. This phenomenon is causing great concern in the two neighbouring countries with regards to local residents (largely indigenous), the environment (due to a clear trend toward desertification) and the migration of fish. These concerns are generating a struggle between the two low-land countries for water resources. An important UE investment involving the three countries (Bolivia, Paraguay and Argentina) is in the way. The paper describes some of the river and channel features, the sedimentation process and some of the ideas and studies in order to give some stability to the physical water environment so that this issues can be solved.

INTRODUCCIÓN

El río Pilcomayo tiene su cuenca de cabecera en los Andes de Bolivia (Figura 1), escurriendo hacia el Atlántico. Cuando abandona la cordillera es límite internacional entre Paraguay y Argentina. Su característica más singular es que en ese curso llano de unos mil kilómetros (el Chaco de Paraguay y Argentina) el río se pierde, es decir nunca desemboca en el río Paraguay (que pasa por Asunción, Figura 1). Esto ocurre por un problema de sedimentación o atarquinamiento, que se ha acelerado durante el s. XX. Los gobiernos de Argentina, Bolivia y Paraguay han conformado el Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo, a través de un convenio de cooperación y financiamiento de la Unión Europea, con el objetivo de institucionalizar un Organismo de Cuenca Trinacional, formular un Plan Maestro de Gestión Integrada para el manejo de la cuenca y llevar a cabo experiencias piloto. Con estas premisas queda clara la importancia de entender los procesos

de erosión y sedimentación, este último lo abordaremos en el presente trabajo.

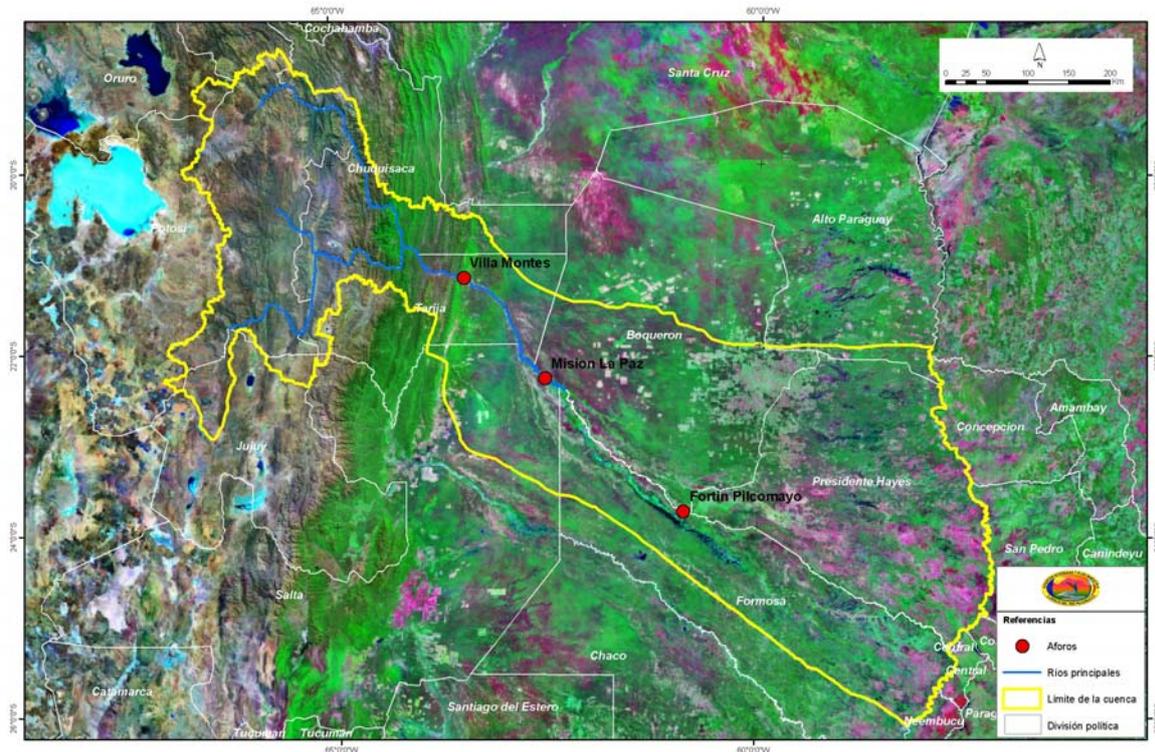


Figura 1.- Localización del río Pilcomayo.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

En su cuenca de alta el Pilcomayo es un río de montaña considerando la pendiente del cauce. En esta región su longitud es de 500 Km. aproximadamente y la pendiente es del orden del 1%^[21] y parece ser un río de gravas. El río abandona los Andes (o “subandinos”) en la ciudad de Villa Montes, en donde entra en la planicie del Chaco, que en la dirección del flujo se extiende unos 1.000 Km. hasta el río Paraguay (de los cuales 835 Km. son frontera entre Argentina y Paraguay). Se trata obviamente en esta región de un río de llanura. En sus últimos 100 Km. de río andino (hasta donde la cuenca es de 82.000 Km²) la pendiente disminuye a 0,24% y luego desde la frontera argentino-paraguaya hasta la región en que desaparecía el cauce (en 1981) la pendiente era de 0,03% en promedio. Por otro lado, el llamado “Pilcomayo inferior”, es uno de los numerosos riachos que drenan el Chaco y desembocan en el río Paraguay, parece hidrológicamente desconectado del río superior, su caudal es regular, su pendiente de 0,008%, las aguas no llevan sedimento y en cambio presentan alta salinidad.

El río Pilcomayo en llanura constituye uno de los mejores ejemplos de mega-abanico fluvial, frecuentes en las faldas orientales de los Andes en América del Sur^[20]. Es también el mayor de ellos (>200.000 Km²) y el único del mundo que presenta el fenómeno de extinción del cauce por atarquinamiento^[20]. No se trata simplemente de un río endorreico cuyas aguas desaparezcan en algún punto, de lo cual sí hay ejemplos en el mundo, sino que en el lugar en que el río desaparece todavía fluye un caudal notable que se extiende por zonas húmedas cercanas. En un mega-abanico de esta naturaleza con diferencias mínimas de cota se pueden dar grandes movimientos del cauce (el río es inestable) porque todas las líneas “generatrices”

del cono serían en principio igualmente probables como direcciones del río. El río Pilcomayo se encuentra hoy cerca del límite inferior (Sur) de su gran abanico, es decir cerca del abanico del río Bermejo. Parece ser que se encuentra en esta posición, sin cambios, desde hace 35.000 años ^[20]. Ciertamente el retroceso moderno del cauce es un proceso tan rápido (100 años) que hace temer que esté peligrando esta relativa estabilidad. Esta visión ha llevado a un autor ^[9] a pronosticar en 1992 que en un plazo de 10 años el río correría completamente por territorio argentino o por territorio paraguayo. A propósito de este riesgo, en varios documentos ^[1] ^[4] ^[10] ^[20] ^[21] se mencionan dos “puntos críticos” en curvas cerradas por donde se teme un cambio de cauce (Figura 2). Es por ello que se están aunando esfuerzos para aumentar el conocimiento sobre las causas y posibles cambios.



Figura 2.- Punto crítico (cul-de-sac al fondo a la derecha) en donde el río “brincaría” hacia el lado argentino.
Foto agosto 2005.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

El régimen hidrológico del río Pilcomayo está determinado por el periodo lluvioso, que produce todos los años caudales elevados (y crecidas) en el trimestre de Enero a Marzo, mientras el periodo seco (sin lluvias) ocasiona fuertes estiajes entre Junio y Octubre. Se toma como referencia la estación hidrométrica de Villa Montes en donde el río ingresa en la planicie. Se puede hablar de la irregularidad del régimen del río Pilcomayo en el sentido de que el caudal medio mensual de Febrero ($725 \text{ m}^3/\text{s}$, el mayor del año) es del orden de 20 veces mayor que el de Octubre ($35 \text{ m}^3/\text{s}$, el menor). La irregularidad se acentúa lógicamente tratándose de caudales instantáneos: por ejemplo en la estación de aforo inferior, Misión La Paz, el máximo de todo el periodo de registros (unos 30 años) es $5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ y el mínimo $3,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[11]. Pero al mismo tiempo puede señalarse también la notable regularidad en la distribución temporal de los caudales, al menos en comparación con el régimen de los ríos mediterráneos en los que no puede anticiparse cuando ocurrirán las aguas altas y las crecidas.

Otro hecho importante del régimen hidrológico es la pérdida de caudal líquido a lo largo del recorrido del río por la llanura, según se desprende de los datos de tres estaciones de aforo, una de ellas perdida Fortín Nuevo Pilcomayo, al ser alcanzada en 1967 por el proceso de retroceso del cauce debido al atarquinamiento. Los caudales medios anuales (módulos) de

aguas arriba a aguas abajo son ^[4]: 209 m³/s, 169 m³/s y 141 m³/s. En términos relativos, de la unidad se pasa a 0,81 y a 0,67 en la estación inferior. La razón más probable de esta pérdida de caudal es la infiltración a través del lecho. Pero también se señala ^[10] la evaporación porque las superficies del agua son muy extensas y, obviamente, la laminación que afecta a los caudales que desborden, circulando lentamente o casi almacenándose en la llanura. Debemos mencionar que este último fenómeno ha ido progresando durante el transcurso de las últimas crecidas.

TRANSPORTE SÓLIDO

El transporte sólido del río Pilcomayo es extraordinariamente elevado. La mayoría de los datos son de transporte en suspensión, que a todas luces es el preponderante. El análisis más reciente ^{[13][17]} realizado con 30 años de datos arroja la cifra media de $140 \cdot 10^6$ Tn/año (con un máximo anual de $300 \cdot 10^6$ Tn). Para expresar estas cifras en volumen puede usarse un peso específico de 2 Tn/m³. De ahí, una cifra fácil de recordar ^{[16][21]} es que el volumen sólido anual del río equivale a colocar 1 m de altura en una superficie de 5.000 Ha. En forma de concentración, definida como el cociente $c=Q_s/Q$ entre el caudal sólido Q_s (volumen sólido en suspensión por unidad de tiempo) y el caudal, se obtiene una concentración media $c=15,2$ g/l en Villa Montes. La concentración es más elevada en aguas altas y crecidas y reducida en aguas bajas: se tiene $c=23,6$ g/l en época húmeda pero sólo $c=0,011$ g/l en época seca y se ha llegado a medir ^{[6][19]} como concentración máxima 60 g/l. Estos valores son realmente muy elevados entre los ríos del mundo. Un 89% del volumen total de $140 \cdot 10^6$ Tn/año es de grano menor a 62μ , es decir limos y arcillas, mientras que el 11% restante es mayor que 62μ , 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, cuyo destino sería llegar al mar. Los tamaños de partícula transportados son menores en época húmeda que en seca ^{[1][10]}: 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].

La irregularidad del caudal sólido es aún mayor que la irregularidad del caudal líquido. Por ejemplo en el periodo húmedo puede circular incluso el 98% del volumen sólido anual ^[10]. Esto es un reflejo del hecho de que casi todo el sedimento procede del lavado de la cuenca y de que sólo las lluvias del periodo húmedo aportan sedimento. En cuanto al origen del 90% de material fino, no es uniforme en toda la cabecera sino que un área más erosionable que supone un 20% de la superficie total de la cuenca podría producir la mayor parte. Una estación de aforos que abraza áreas de erosionabilidad alta y otra que por el contrario abraza áreas de menos erosionabilidad, dan respectivamente tasas anuales de 1.900 Tn/km²·año y de 660 Tn/km²·año.

MORFOLOGÍA DEL CAUCE VIVO EN LA LLANURA

El río tiene una anchura del orden de 50 m en la última garganta de la cordillera. Al salir a la llanura gana anchura rápidamente: 300 m en Villa Montes y hasta 3.000 m aguas abajo ^[6]. La anchura se puede definir con bastante claridad por medio de la vegetación: hay una vegetación permanente y bastante densa, de porte arbustivo, extendida hasta los dos límites del cauce. En el interior de estos límites (Figura 2) se observa una combinación de cursos de agua, partes emergidas húmedas, partes emergidas secas que en ocasiones forman terrazas de altura separados por pequeños rebordes, a veces colonizadas por una vegetación rala ^[10], otras

veces más altos con vegetación parecida a la exterior (islas). Los cursos de agua son de muchos tamaños y sinuosidades, se bifurcan y se reúnen (río trenzado). Este sistema físico permanece claramente delimitado por las orillas debido a que es activo durante cierto tiempo cada año. El caudal que desborda ejerce una fuerte acción modeladora sobre las morfologías que hay en su interior sería $1.843 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[10], pero siguiendo el criterio de un periodo de retorno de 3 años, del orden de $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[12].

Hay una evolución muy clara de la morfología a lo largo de la llanura. El río tiene un carácter más trenzado y más ancho en los tramos superiores. Va perdiendo anchura y grado de trenzamiento con la distancia. Cuando se convierte en límite internacional, comienzan a distinguirse claramente formas abandonadas por el río. Más abajo, el río va siendo progresivamente de cauce único, sinuoso, con mayor serpenteo cuanto más abajo. El curso de agua va oscilando alternativamente entre una y otra orilla en un espacio más estrecho, dentro del cual los depósitos de limo de color claro son más reducidos (Figura 3). En esta región el río se ha transformado en río de meandros irregulares, algunos muy cerrados (alta sinuosidad). Con formas abandonadas y dominio de bañados lo que sugiere que los desbordes son frecuentes. Un autor^[11] cita la capacidad de este cauce en $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (es decir el desborde ocurre a partir de ese caudal, muy inferior al caudal dominante más arriba). Finalmente, el curso de agua se vuelve un “hilo” hasta quedar aparentemente subsumido o confundido en un gran espacio húmedo.



Figura 3.- Río Pilcomayo en la zona de llanura (frontera entre Paraguay y Argentina) en que es predominantemente meandriforme.

PROCESO DE COLMATACIÓN DEL RÍO PILCOMAYO

El punto crucial es por qué o cómo ocurre la colmatación que hace retroceder el cauce del río. En primer lugar, la colmatación y retroceso se puede ver como un fenómeno natural en un mega-abanico fluvial^[20]. En el retroceso podría influir una actividad tectónica o un cambio climático^[20]. Como las pendientes son tan pequeñas, una actividad orogénica actual (lenta e insensible para el hombre) podría intervenir. No parece natural, sin embargo, que el ritmo de retroceso sea tan elevado como 10 Km./año . El relleno o acreción del cauce del río puede ocurrir gradualmente (en sucesivos periodos húmedos que aportan sólidos). El río entonces va convirtiéndose en “colgado”, es decir más alto que las llanuras adyacentes^{[1] [9]} hasta una diferencia de 5 m , quizá con unos albardones naturales en las orillas. También se describe el fenómeno de que las orillas se ven cada vez más bajas (con respecto al río) por elevación del

nivel de fondo ^[1] ^[14], en lugares alcanzados luego por la extinción. Este hecho sería un “síntoma” del proceso. Al mismo tiempo este hecho ocasiona más desborde e inundación y, por consiguiente, una reducción del caudal (Q) que sigue hacia aguas abajo, lo cual causaría allí más tendencia a la acreción.

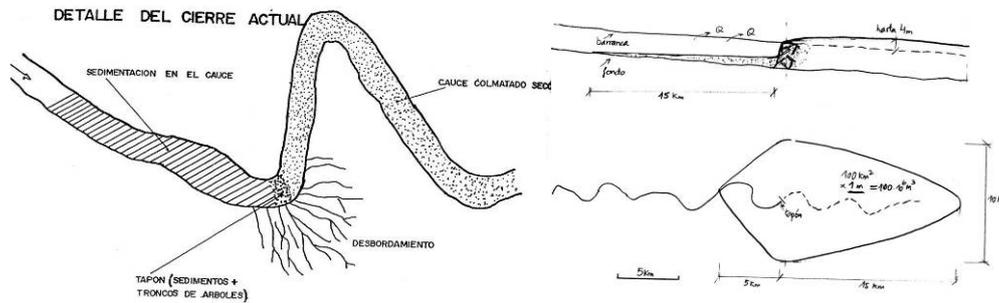


Figura 4.- Croquis de un tapón del río en planta (izquierda) y en perfil longitudinal (arriba, derecha) y esquema del área de derrame y sedimentación (derecha, abajo).



Figura 5.- Izda: Foto del tapón (gentileza Gob. de Formosa). Dcha: Vista aérea del derrame en el tapón con aguas relativamente altas; ver la desaparición del cauce.

El punto final del cauce es un tapón a cuya formación parece que colaboran troncos arrastrados por la corriente ^[9]^[19] (Figura 4). En un caso ^[9] el tapón coincide con una curva muy fuerte (un codo), lo que hace pensar en que la dificultad del agua y flotantes para describir tal curva es el desencadenante inmediato del tapón. El agua desborda en el punto final todo el año y aguas arriba se encuentra frenada y también desbordando del cauce en aguas altas (Figura 5). Este cul-de-sac es propicio a la sedimentación de las partículas finas en suspensión. La velocidad máxima del Pilcomayo en crecida es sólo 1,5 -2,0 m/s^[9]: puede pensarse que la velocidad se hace muy baja cerca del tapón. Tras el retroceso, el terreno queda configurado con el cauce colgado relleno y con esteros (humedal permanente) y bañados (humedal intermitente con lenta circulación del agua).

Parece ser que el tramo del río afectado por la elevación de fondo alcanza una longitud de unos 15 Km. aguas arriba del tapón, mientras que en el tapón y más abajo de él hasta una distancia de unos 10 Km. el lecho se colmata queda a unos 4 m por encima del nivel general del terreno ^[11] (Figura 4). El sedimento se deposita preferentemente en forma de abanico que alcanza unos 15 Km. hacia abajo del tapón y unos 5 Km. aguas arriba, con una anchura de unos 10 Km.^[11]. Si el abanico anterior se toma como un triángulo, su área sería de unos 100 Km² (10.000 Ha). Si todo el sedimento de un año se depositara en ese abanico, su espesor ascendería medio metro. Por su parte, el ritmo de crecimiento de los depósitos de material fino en las llanuras como fruto de los desbordamientos fue de 1,00 m en menos de 3 años ^[1] o

puede ser de 0,20 a 1,00 m por año^[13] y que por efecto de las crecidas de dos años (2001-2003) fue de 0,40-0,60 m en un punto^[11]. Nótese que el material necesario para taponar 10 Km. por año del cauce de 100 m de anchura y 2,50 m de profundidad, es sólo un 5% del volumen sólido del año. La mayor parte (95%) debe depositarse por lo tanto sobre las llanuras.

Lo que resulta dramático es que el transporte sólido fino, que en cualquier otro río llega hasta el mar (o medio receptor final) sin modificar para nada la geometría del cauce, se ve obligado en el caso del río Pilcomayo a sedimentar en el cauce o en sus inmediaciones y de ese modo modificar su geometría (sobretudo la pendiente) de un modo que no hace sino acentuar la tendencia futura a la sedimentación. El cercano río Bermejo transporta también $95 \cdot 10^6$ Tn/año de sedimento fino^[12], más o menos como el Pilcomayo, pero lo descarga todo en el Paraná (para el que por cierto supone nada menos que el 60% del transporte sólido).

El río Pilcomayo desembocaba a principios del s.XX en el estero Patiño, ya entonces de muy poca profundidad. El retroceso del cauce en el periodo 1947-76 fue de 150 Km., pero a un ritmo de 12 Km./año en el periodo 1968-76^[11]. En 1967 se obstruyó el río y dejó de correr por la estación de aforos inferior y lo mismo ocurrió a 75 Km. aguas arriba en 1975^[11]. En 1976 retrocedió 21,8 Km.^[10] y en conjunto 150 Km. más en el periodo 1975-90, con la cifra máxima de 45 Km. en 1984^{[10][19]}.

ESTADO DEL RÍO EN LA ZONA DE EXTINCIÓN

En la zona de extinción del cauce se encuentran las obras de reparto (“El Pantalón”) y los cauces artificiales (“correderas”), ejecutados y mantenidos para dar continuidad al río. Es una zona de unos 60 Km. de longitud cuyo extremo superior se encuentra a unos 65 Km. de la frontera común entre Bolivia, Paraguay y Argentina, que se representa en la Figura 6 con sus accidentes más importantes. Al oeste se dibuja el canal paraguayo; sigue hacia el este los restos meandriiformes del cauce abandonado del río Pilcomayo y el bañado que recibe aguas del río a partir de un derrame. El bañado no es un área inundada contigua a la orilla del cauce, porque los cauces del río, tras el proceso de atarquinamiento, quedan colgados, de manera que las aguas que desbordan circulan por áreas deprimidas relativamente lejanas al cauce. Más al este se ven dos cauces artificiales del río (“correderas”, en línea continua recta) y al sur dos “cañadas” (cauces antiguos) una en cada país.

El último tramo del río que se conserva como tal, antes de la desaparición del cauce, tiene meandros tan cerrados sobre sí mismos que puede esperarse que se produzca su corte de manera natural, acaso en el próximo periodo de aguas altas. Los casos de evolución, y eventualmente corte, de meandros aguas arriba son muy numerosos. Esta dinámica de los meandros está favorecida por la pendiente muy baja del río. Cada vez que se produce un corte, el río recupera una pendiente más cercana a la pendiente media del valle, mientras que a medida que los meandros van profundizando se va perdiendo. El estado de meandros profundos y bajísima pendiente es más propicio a la sedimentación (y al desbordamiento del cauce) porque la velocidad del agua es menor.

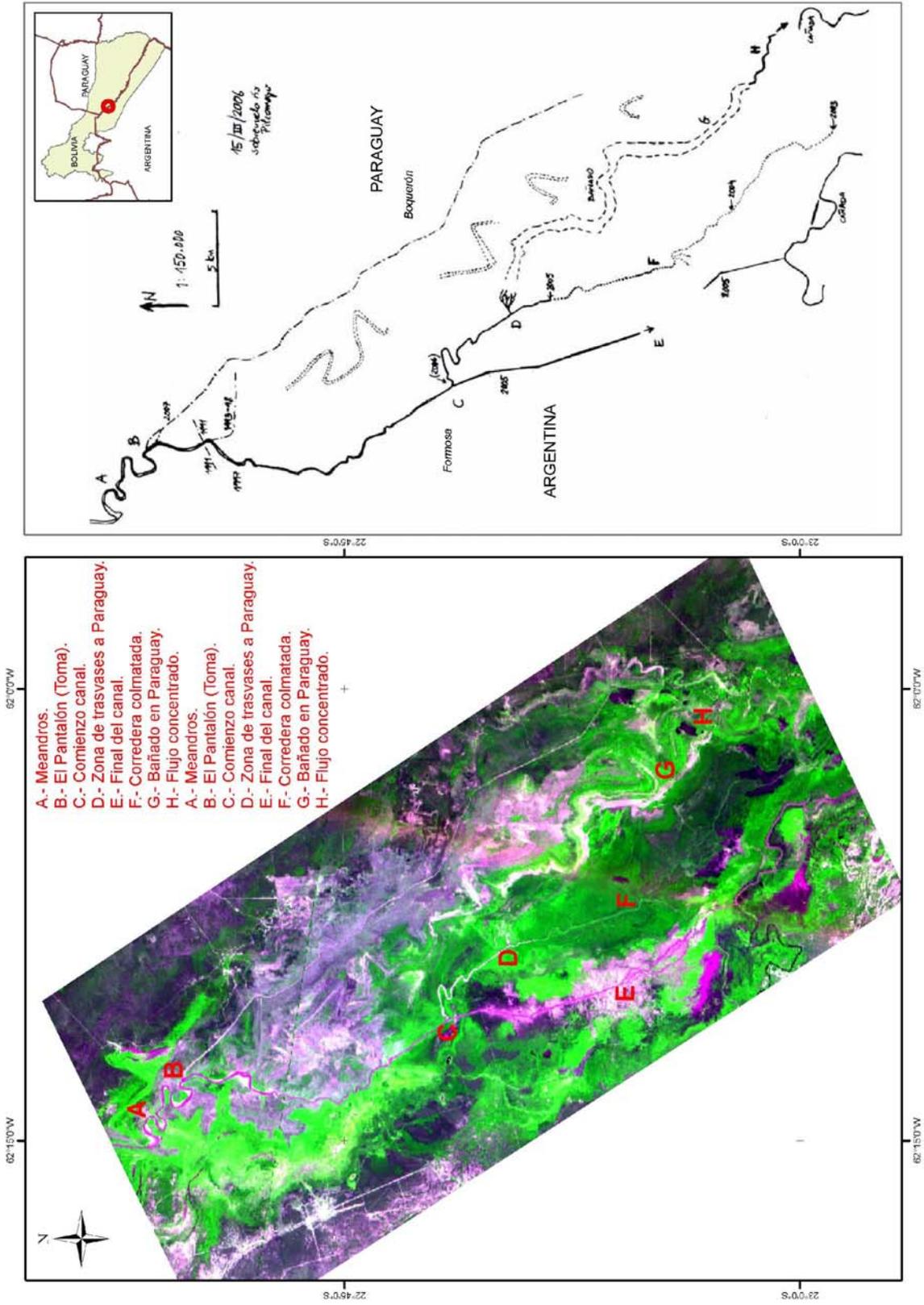


Figura 6.- Esquema de la zona de extinción

Al SE de los últimos meandros se encuentra, sobre la margen izquierda del río, la boca o toma del canal paraguayo (Figura 7, punto B en la Figura 6), excavado como canal piloto a lo largo de una gran distancia (alrededor de 40 Km.) con el objetivo de derivar las aguas del río y transportarlas hasta una cañada en territorio paraguayo. Esta embocadura sigue conociéndose como “Pantalón” pese a que no tiene enfrente, a la otra orilla, una toma semejante realizada por Argentina. De hecho, el último canal paraguayo, que funcionó bien hasta 1998, tenía su boca en el lugar conocido propiamente como “Pantalón” enfrente de una boca argentina, que fue la única que siguió captando el flujo a partir de 1998. Desde entonces Paraguay se prepara para poner en servicio su canal, aunque ha desplazado su boca de toma hacia aguas arriba.

Más al sur (punto C, Figura 6) es interesante observar una bifurcación del río. El curso desde el punto anterior hasta éste es en su mayor parte artificial, según se advierte en sus alineaciones rectas. En los últimos años el río seguía por la izquierda de la bifurcación actual (Figura 8). Los últimos tramos rectos del curso eran objeto de mantenimiento (excavación) cada año por parte de Formosa (Argentina). Este lugar es una bifurcación porque el cauce se encuentra ahora con la “competencia” de un nuevo cauce más recto, al SO del antiguo. Puede apreciarse (Figura 8) qué poca agua seguía derivándose por el cauce antiguo, comparada con la que circula por el nuevo cauce. En el punto de bifurcación se observan dos orillas o rebordes que son depósitos muy recientes de arenas finas con algo de cohesión. Es sorprendente la rapidez con que el cauce nuevo ha ganado en la “competencia” con el antiguo, pues ha bastado un periodo de aguas altas (de diciembre a marzo): en ese tiempo ha captado todo el flujo, al mismo tiempo que erosionaba el fondo y se afianzaba hasta alcanzar sus dimensiones permanentes.



Figura 7.- (Izda). Boca del canal paraguayo (febrero 2006). Flujo de abajo hacia arriba.

Figura 8.- (Dcha). Bifurcación: el cauce nuevo, abajo (corredera de Argentina), fluye de izquierda a derecha mientras el viejo fluye (poco) del primer plano hacia el fondo.

Cada año el río después de su temporada de aguas altas causaba el retroceso del cauce, lo que hacía necesario repetir un trabajo de mantenimiento. Sin embargo, en cierto momento se estima ineficaz seguir con esta tarea en el mismo cauce porque se aprecia que ha quedado colgado respecto al terreno circundante y tiene además muy poca pendiente. Se decide buscar una nueva alineación más recta y con más pendiente y se construye una nueva “corredera”. Este es el origen del “cauce nuevo” en 2005, que luego consigue captar todo el flujo.

El siguiente punto de interés (D, Figura 6) es el lugar en que desaparece el río. El agua no sigue por el cauce del río. El derrame ha abierto unos pequeños surcos en forma arborescente y va a alimentar un bañado (Figura 5). En ese lugar hay un tapón de sedimento que es a la vez causa y efecto del derrame. De manera parecida se podría describir el punto de desaparición o extinción del río en el cauce nuevo (E, Figura 6), que en la foto (Figura 9) transportaba casi

todo el caudal. El último segmento recto del cauce nuevo da lugar por derrame a un área inundada a todo su alrededor. La vegetación ordinaria del lugar resulta “sorprendida” por un fenómeno de inundación que, si la topografía acompaña, puede dar lugar a un pantano intermitente (un bañado). Asimismo el fondo recibe una gruesa capa de sedimento fino. La Figura 10 es un punto del cauce antiguo del río, hoy abandonado porque se optó por no seguir manteniéndolo. Se trata de un punto cercano a F (Figura 6). Hace un año el agua discurría por este lugar. En una sola temporada vegetativa la especie dominante el aliso (o palo bobo) ha colonizado completamente el cauce colmatado. Este ejemplo muestra la rapidez del cambio morfológico en el río.



Figura 9.- (Izda). Extinción del Pilcomayo (nuevo) con derrame del agua.
Figura 10.- (Dcha). Cauce abandonado con 1 año de antigüedad. Véase la vegetación joven.

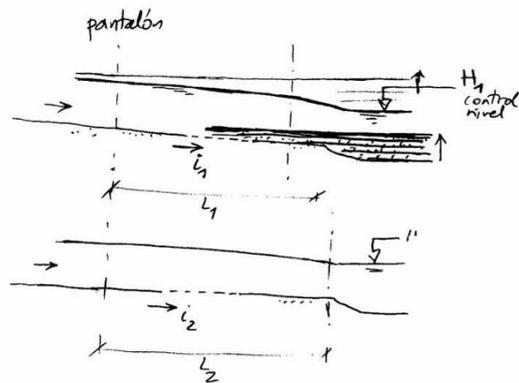
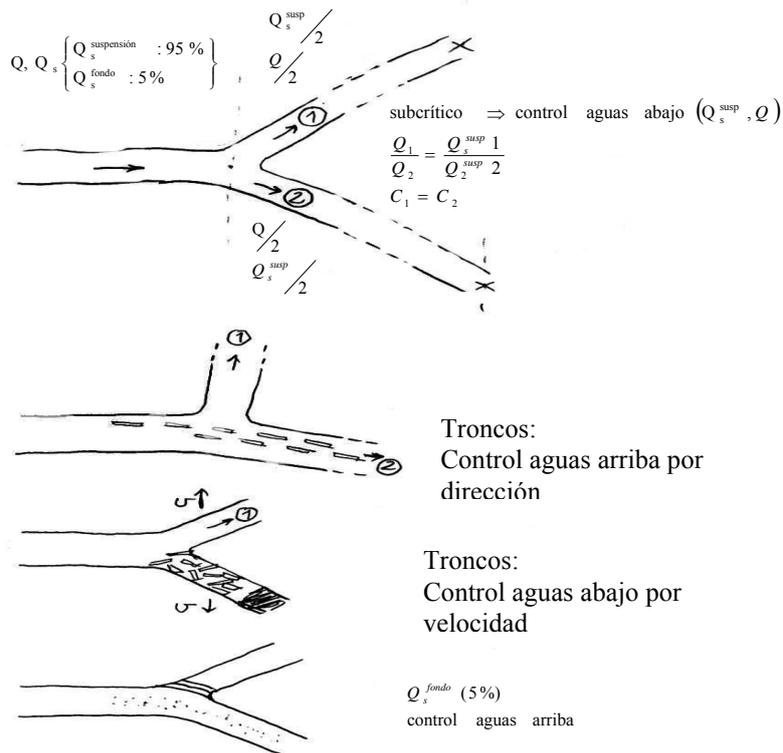
ANÁLISIS DE EL PANTALÓN

La idea de intervenir en el cauce por medio de dos canales de derivación, uno por el lado paraguayo y otro por el lado argentino, se aplicó por primera vez en 1977^[10]. Los objetivos eran: 1) frenar el retroceso del río y 2) dividir el caudal en partes iguales para el aprovechamiento equitativo del agua por los dos países^{[9][10][11]}. Los dos canales funcionaron con varias vicisitudes en el periodo 1977-82 pero tuvieron que ser cerrados para calmar el conflicto por el reparto del agua^[19]. Durante esos años el cauce no retrocedió. La misma medida se aplicó de nuevo en 1991, muchos kilómetros aguas arriba, tras años sin intervención en que ocurrieron grandes retrocesos. El sistema “El Pantalón” del año 1991 no funciona actualmente porque la derivación paraguaya está fuera de servicio desde 1998. De los dos canales construidos en 1991, el de Paraguay orientado ligeramente hacia aguas arriba no prosperó (ver Figura 6). Un nuevo canal paraguayo de 1993 con una toma más tangente a la corriente seguido de una curva sí tuvo éxito. En 1995 se colmató el canal argentino. En 1996-97 se construye el nuevo canal argentino y en 1998 queda colmatado el canal paraguayo. No es exacto afirmar que el sistema de “El Pantalón” haya tenido éxito desde 1991 en frenar el retroceso por colmatación del río Pilcomayo. Más bien, lo anterior prueba que un pantalón con dos canales en funcionamiento simultáneo ha sido más bien la excepción que la regla desde 1991. Lo más frecuente ha sido que funcionara un solo canal, es decir un río Pilcomayo de cauce único, que ha recibido regularmente el “tratamiento” de una prolongación del cauce (corredera), al menos por parte de Argentina. El mérito de frenar el proceso debe atribuirse a la insistencia en la construcción y mantenimiento de las correderas.

El régimen de estos cauces es lento (subcrítico). El control hidráulico del flujo de agua tiene lugar, como en todo régimen subcrítico, aguas abajo (Figura 11). Por ello, las condiciones en

que desagüen determinan el flujo en cada canal. Esto significa que el caudal que circula y la velocidad con que circula en cada canal están determinados sobretodo por el nivel H en el desagüe. El transporte en suspensión es dominante frente al transporte de fondo. Para él vale la sentencia “quien se lleva el agua se lleva el sedimento” ya que todo este material se mueve en el seno del fluido. Esto se puede expresar diciendo que la proporción de Q_s entre los dos canales coincide con la proporción de Q. Por ello, el control de este transporte sólido en suspensión también tiene lugar aguas abajo sobretodo 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 $\approx 95\%$ de todo el material sólido. 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 a una depresión sin salida. 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).

La sedimentación en el canal o en la región de desagüe hace ascender las cotas de fondo, local o general, y con ello cambia el nivel de desagüe (Figura 11), en el sentido de un aumento de nivel a igualdad de caudal, ya que el fondo sube. En ocasiones se han descrito sedimentaciones en kilómetros de canal y en otras ocasiones cúmulos localizados por ejemplo al final, a manera de un obstáculo al desagüe; también se ha descrito la desaparición de esteros. En todos los casos esto acentúa la tendencia a la sedimentación en el canal porque disminuye más la velocidad. 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.



$$\left. \begin{array}{l} Q_1 \\ Q_2 \end{array} \right\} = f \left(\begin{array}{l} H_1, L_1, i_1, A_1, \dots \\ H_2, L_2, i_2, A_2, \dots \end{array} \right)$$

Si $H \uparrow \vee \downarrow$ SEDIMENTACIÓN ... $H \uparrow \vee \downarrow$ MAS ..SEDIMENTACIÓN
 Q_s^{susp} ... parte ..menos ..fina :10% (no ..carga de lavado :90%)

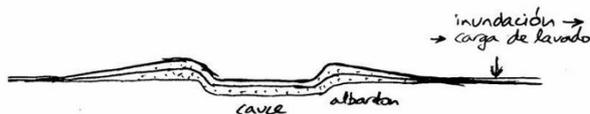


Figura 11.- Esquema de explicación del control aguas abajo del agua y el sedimento en suspensión; idem control mixto de los flotantes y de aguas arriba para el de fondo.

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, pero este principio no vale si alargar el canal y alejar el desagüe de la toma del pantalón no comporta también tener un nivel absoluto H más bajo en el desagüe. 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 en rigor si el régimen en los canales fuera uniforme).

Concluimos 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 de esta conclusión se puede ofrecer la historia: hasta cuatro veces un canal ha captado todo el río, mientras el otro canal quedaba colmatado y desaparecía. La prueba actual de la inestabilidad del sistema de pantalón la ofrece la bifurcación del río (Figura 8). 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.

El pantalón es como un juego cuyo desenlace no puede ser el empate como se desearía (y como se establece en el propio concepto de pantalón) porque el sistema es intrínsecamente inestable, sino que en un tiempo, será la victoria para uno u otro. ¿Para qué seguir jugando de este modo, con todas las susceptibilidades y desconfianzas que esto despierta? 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 atarquinamiento de un canal y afianzamiento del otro.

PROPUESTAS

Las propuestas tratan de cumplir dos objetivos: 1) reparto equitativo de las aguas y 2) lucha contra el entarquinamiento y el retroceso del cauce. Asimismo, hay que responder a corto plazo al aprovechamiento del río en la cuenca baja. Parece evidente que a medio plazo el Proyecto Pilcomayo puede proponer medidas en la cuenca alta (en Bolivia) que modifiquen sustancialmente el flujo de agua (regulación) y de sedimento (reducción de concentración) en la cuenca baja y con ello modifiquen la naturaleza del problema.

Las propuestas parten de haber constatado con respecto al pantalón: a) que es inestable intrínsecamente; b) que dividir el río en dos canales propicia la sedimentación, es decir fomenta el retroceso del cauce. Abandonando la idea de pantalón, es posible separar uno y otro objetivo, pensando en propuestas distintas para cada uno. Con respecto al primero, el reparto de las aguas, se puede confiar tal función a un dique transversal distribuidor.

Percibimos este objetivo “hidrológico” como un motor para el desarrollo de los recursos hídricos en Formosa y para el cumplimiento de las expectativas agropecuarias en Paraguay. En los dos países, el peso de población y el peso económico se encuentran al oeste de la

región de divagación del río Pilcomayo. Estas regiones sólo se interesarán por recibir el agua. Por ello, sentimos el peligro de que si este objetivo hidrológico se ve al alcance de la mano se olvide la importancia del segundo objetivo. Por ello, subrayamos que el río no se puede abandonar, por más que se abandone la idea del pantalón y aunque el reparto de las aguas esté asegurado por otros medios.

Mantenimiento del cauce

La pérdida del cauce del río traería consigo varios tipos de pérdidas:

- ribera del río (con las implicaciones geográficas, económicas y culturales que para las poblaciones aborígenes que viven junto al río)
- aguas superficiales, ya que los bañados tienen más superficie ante la evaporación y la infiltración (y con ello hay más propensión a la desertización en las regiones abandonadas por el río)
- condiciones más apropiadas para el ciclo migratorio de vida de los peces (tienen más dificultad para remontar en bañados que en cauces fluviales)

Sería deseable el acuerdo entre los dos países para mantener conjuntamente un solo cauce. El trazado del cauce debe ser pactado con el criterio de que los derrames o desbordes puedan alimentar los bañados de una y otra parte. El cauce pactado deberá ser mantenido con obras anuales de excavación de tierras y limpieza de troncos. Desgraciadamente, el cauce pactado no podrá ser permanente. El mantenimiento del cauce no podrá impedir finalmente que el cauce se vaya quedando colgado. Llegará un día en que sea más económico pactar un nuevo cauce que tenga mejores condiciones topográficas (más pendiente).

Como medida relacionada con el mantenimiento del cauce del río, es interesante la ejecución de cortes de meandros aguas arriba. Se trata de acciones muy económicas donde los meandros están muy cerrados sobre sí mismos. El corte contribuye a combatir el atarquinamiento y por ello el retroceso del cauce. El corte movilizará un volumen de sedimento almacenado en el cauce, pero insignificante comparado con el volumen anual que trae el río. No hay que tratar el corte de meandros con la visión “conservacionista” propia de los países del primer mundo, en que esta medida implica un deterioro ambiental, frecuentemente irreversible. Por el contrario, el alto dinamismo del río asegura que los meandros se formarán nuevamente.

Una medida sumamente conveniente y de carácter “estratégico” es la defensa de los puntos críticos, como sitios donde el río, aguas arriba de la zona de divagación, podría salirse de su cauce y tomar un rumbo diferente, más al Sur en Argentina o más al Norte en Paraguay. Esto acabaría con las expectativas de los países con respecto a los recursos hídricos.

División de caudales con un dique transversal

La idea de la división de aguas con un dique de muy poca altura, con dos vertederos de cota y longitud predeterminada en uno y otro país, es interesante porque:

- asegura de manera permanente una división de caudales contrastable en la proporción que se establezca (esto despejaría 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 Km² desde el punto en que el río desaparece).

Pensamos que la idea de un dique transversal distribuidor es incuestionable como sistema “ingenieril” de reparto de los caudales. Tras el dique, el agua se entregaría a unos bañados, uno en cada país. En el aspecto político, es una idea deseada por Formosa (Argentina) y que fue en su día defendida por Paraguay.

CONCEPTOS HIDRÁULICOS PARA UN DIQUE DISTRIBUIDOR

Los conceptos que hay que analizar para el proyecto de un dique distribuidor son:

1. Sección de control y anegamiento
2. Alimentación de agua de los vertederos
3. Régimen hidrológico de funcionamiento

Para resaltar estos conceptos hacemos una comparación con una presa de embalse, convencional, en el mismo orden anterior:

1. Una presa de embalse tiene una altura suficiente para que la función de toma de agua y de desagüe de avenidas no se vea nunca interferida por el nivel de agua del río aguas abajo (Figura 12). El anegamiento, es decir esta interferencia del nivel de aguas abajo sobre las funciones de la presa, está excluido. Por ello, los desagües de superficie son secciones de control del flujo en lámina libre, al igual que las tomas, orificios, compuertas, sin influencia del nivel aguas abajo. Si pensamos en una pequeña presa (un azud), esta propiedad puede estar en entredicho. Precisamente 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 el del punto 3, pues ¿cuál es el régimen hidrológico para el que el dique debe realizar una división equitativa?

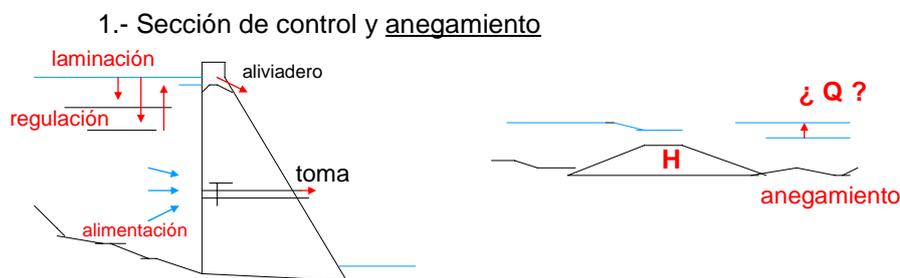


Figura 12.- Ilustración de la comparación entre presa de embalse y dique distribuidor en cuanto a anegamiento (así como alimentación y régimen hidrológico)

2. En una presa de embalse, la alimentación de agua (a tomas, desagües o aliviaderos) suele ser un asunto secundario, debido a que la profundidad de agua es grande y por ello el flujo de aproximación muy lento. Un aliviadero superficial atrae o llama al agua, de manera que está bien alimentado, con tal de que el espejo de agua lo rodee.

Por el contrario, un dique distribuidor en el área perdida de cauce del río Pilcomayo es una obra en la que la alimentación cobra una importancia capital. Esto es así por tres razones (Figura 12): 1) la función de distribución la realiza una pareja de vertederos de poca altura, colocados a kilómetros de distancia entre sí; 2) 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; y 3) 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.

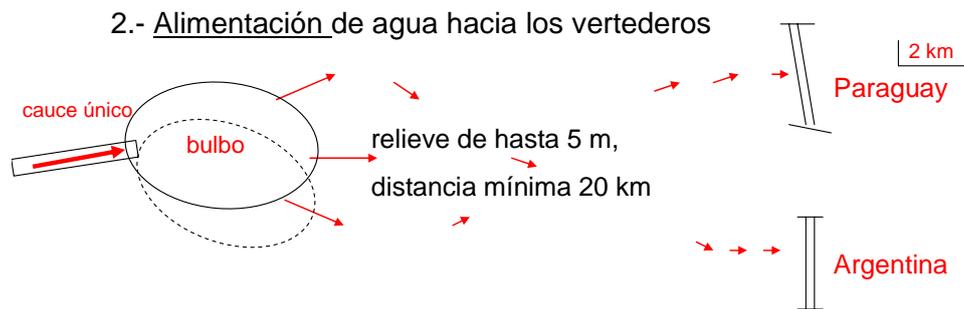


Figura 13.- Ilustración de la cuestión de la alimentación de un dique distribuidor.

Como ejemplo del relieve, la Figura 14 [11] es un corte del terreno por la traza del dique: obsérvese que el cauce colgado y abandonado del río Pilcomayo constituye seguramente una cresta en el centro entre los dos vertederos.

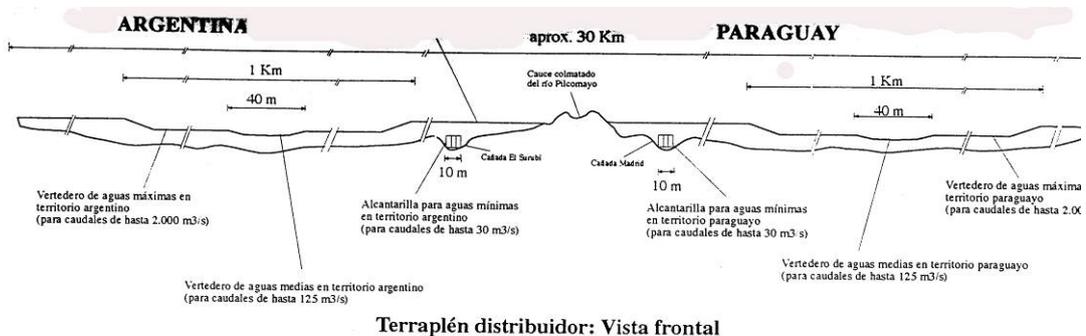


Figura 14.- Croquis del perfil longitudinal típico del dique de 1995 [11]

- El funcionamiento normal de una presa de embalse es el aprovechamiento de un caudal, más o menos constante a lo largo del año, de una magnitud como máximo algo menor que el caudal medio anual (de lo contrario faltaría agua). La capacidad de regulación del embalse sirve para garantizar que es posible dicho aprovechamiento, a pesar del régimen hidrológico variable del río incluso con épocas de estiaje. La capacidad de laminación de avenidas es una cualidad adicional del embalse. Por su parte, el aliviadero, al descargar de manera controlada los caudales de avenida, confiere seguridad a la presa.

En el caso del río Pilcomayo el aprovechamiento de las aguas altas y avenidas 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 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). 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. 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. 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.

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 Km², cifra relativamente menor en comparación con la extensión de los bañados naturales. Las Figuras. 15 y 16 son secciones tipo de un dique de 3 m por los vertederos y por una posible escala de peces.

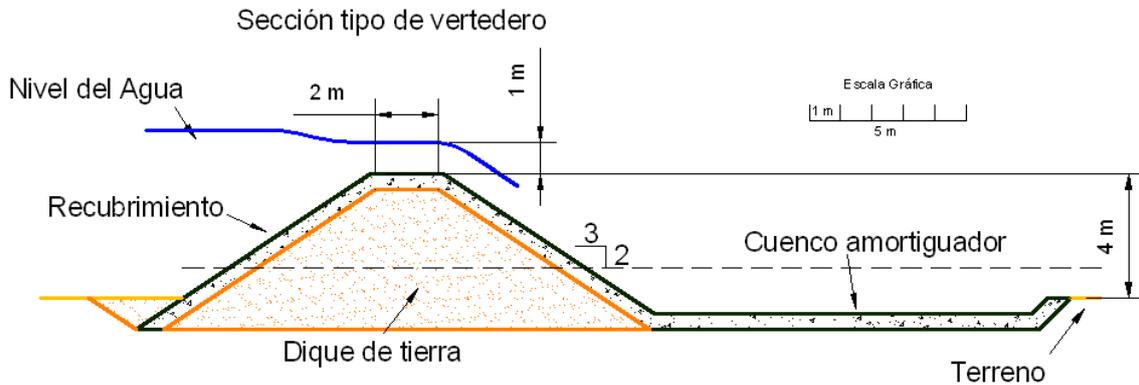


Figura 15.- Posible sección tipo de los vertederos del dique distribuidor. El dique mismo tendría obviamente al menos 1m más de altura.

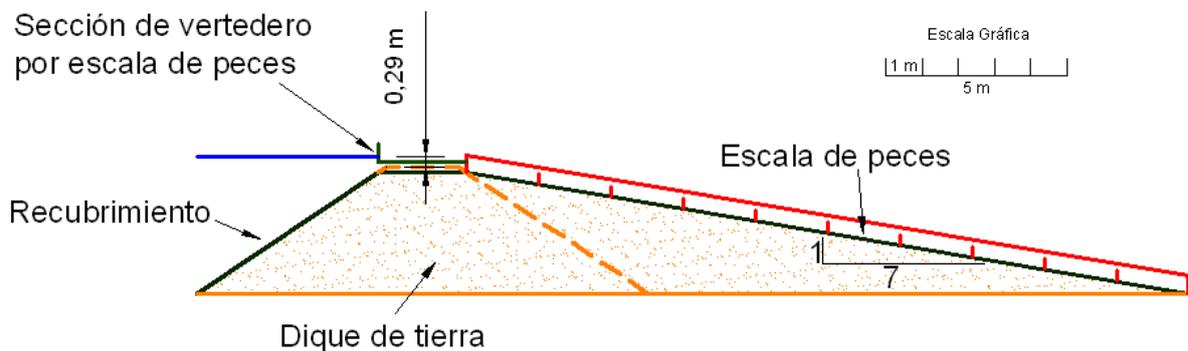


Figura 16.- Posible sección tipo de las escalas de peces que ocuparían el lugar central del dique distribuidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Martín Vide J. (2005). "La cuenca del río Pilcomayo". Misión Experto en Hidráulica Fluvial. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Martín Vide J. (2006). "Problemática del Río Pilcomayo en la Cuenca Baja: estado actual, historia, análisis y expectativas". Misión Experto en Hidráulica Fluvial. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Martín Vide J. (2006). "Dique Distribuidor". Misión Experto en Hidráulica Fluvial. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Halcrow & Serman Asociados (2007). "Estudio Línea Base Ambiental y Socioeconómica de la Cuenca del Río Pilcomayo". Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.

- [1] **Organización de Estados Americanos, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo** (1977). “Aprovechamiento múltiple de la cuenca del río Pilcomayo. II. Recursos hídricos”.
- [2] **Incyth** (1978). “Paleocauces del oeste formoseño- Estudio de sus posibilidades para la captación y utilización del agua”, Delegación Formosa.
- [3] **Empresa Nacional de Electricidad, S.A** (1979). “Estudio de factibilidad. Proyecto hidroeléctrico de Icla, Bolivia”. The Shawinigan Eng.Co.Ltd. para Canadian Int. Development Agency, I^o. Nal. de Preinversión.
- [4] **O.E.A. Programa de desarrollo regional**. (1981).“Aprovechamiento múltiple de la cuenca del río Pilcomayo”.3^a fase. Programación para una investigación de la fluviomorfología y sedimentación del río Pilcomayo y priorización de Obras Hidráulicas.
- [5] **Empresa Nacional de Energía, S.A.** (1982). “Feasibility report on Pilaya Hydro-Electric power Project”. Japan Intl. Cooperation Agency.
- [6] (1989). “Estudio de factibilidad Proyecto Villamontes Sachapera. Anejo II: Hidrología, Anejo III: Geología y Geotecnia”. Lahmeyer Int GmbH, Salzgitter consult GmbH, Agroprogress Kienbaum Int GmbH, para PROVISA Asociación Villamontes Sachapera.
- [7] (1989).“Evaluación de las mediciones de sedimento en suspensión en el río Pilcomayo – estación Villamontes- periodo Dic.88-May.89”.
- [8] **Bceom-Proser Consultores** (1990). “Estudio hidrológico para la protección contra las inundaciones de Villamontes (Bolivia)”, Hydro Consult Intl. Ribstein P., Peña J.
- [9] **Bouloc, J** (1991). “Misión de experto referente a las obras previstas sobre el río Pilcomayo”. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (Asunción). Con fecha 1992 y mismo título informe de la segunda misión de J. Bouloc.
- [10] **Kopaliani Z.D., Georgievsky V.Y.** (1993).“Informe técnico de la comisión rusa acerca del río Pilcomayo. Misión rusa de asesoramiento”. I^o Estatal de Hidrología de San Petersburgo.
- [11] **Meyer L.A.** (1995).“Proyecto del sistema distribuidor de aguas y atenuador del retroceso del cauce del río Pilcomayo. Sistema de Control. Informe/revisión 1”.
- [12] **Khobzi J., Ramette M., Roquero C.** (1997).“Misión de identificación y análisis para el Plan de Manejo Integrado. Anexo I: Geomorfología. Anexo II: Fluviomorfología”.
- [13] **Amarilla M.** (2005).“Defensa de El Potrillo debido a los desbordes del río Pilcomayo”. Proyecto final de carrera en la Universidad Nacional del Litoral. FICH.
- [14] (2005). “Informe de avance. Relevamiento e identificaciones para la intervención en la región de María Cristina”.
- [15] **Bernardo A.** (2005). “Caracterización de los sitios de embalse. Informe final”.
- [16] **Halcrow & Serman Asociados** (2006). “Estudio Línea Base Ambiental y Socioeconómica de la Cuenca del Río Pilcomayo”. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo.
- [17] **Amarilla, M y Amsler, M.** (2005). “Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Pilcomayo”. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Argentina.
- [18] **Guyot J.L., Calle H., Cortés J., Pereira M., Rodríguez H.** (1989). “Erosión, balance de sedimentos y materias disueltas en la cuenca alta del río Paraguay (ríos Pilcomayo y Bermejo, Bolivia)”. *Simposio sobre la preservación del medio ambiente*. La Paz.

[19] **Hopwood, H.J.** (2003). "Taponamiento progresivo del cauce del río Pilcomayo". *1^{er} Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Buenos Aires.

[20] **Justin Wilkinson M., Marshall L.G. Lundberg J.G.** "River behavior on megafans and potential influences on distribution and diversification of aquatic organisms". Sin fecha. Sin referencia.

[21] **Smolders A.J.P., Guerrero M.A., Van der Velde G., Roelofs J.G.M.**(2002). "Dynamics of discharge, sediment transport, heavy metal pollution and Sábalo (*Prochilodus lineatus*) catches in the Lower Pilcomayo River (Bolivia)". *River Research and Applications* 18: 415-427.

[22] **Vollmers H.J., Palenque G.** (1983) "Sediment measurements in the Pilcomayo river". *2nd Intl. Symp. on River Sedimentation*, Nanjing, 1050:1070.