



PROPUESTA DE SISTEMA DE REPARTO DE AGUAS EN UN RÍO INTERJURISDICCIONAL

Mabel Amarilla y Claudio Laboranti

Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (DE de CTN)
Fontana 840, Formosa, Argentina. Teléfono +54 03717 434037
E-mail: mabelym@yahoo.com – claudiolaboranti@gmail.com. Web: <http://www.pilcomayo.net/>

RESUMEN

El río Pilcomayo indudablemente es uno de los pocos casos en el mundo que tiene una combinación de procesos naturales altamente dinámicos, actores sociales muy diversos y realidades políticas y sociales directamente afectadas igualmente heterogéneas. La complejidad de la problemática no solamente radica – y ni siquiera en primer nivel de preocupación - en cuestiones hidráulicas o geomorfológicas, sino también en los intereses de los habitantes de la cuenca y sus gobiernos, ambas cuestiones dentro un marco de gestión y planificación política de tres estados independientes como lo son Argentina, Bolivia y Paraguay.

La colmatación anual de decenas de kilómetros de cauces naturales y artificiales debido a la enorme cantidad de sedimentos transportados, la divagación líquida y la formación de bañados son en líneas generales la descripción del fenómeno natural. Desde la década de los '90, se trabaja sobre este sistema cambiante, en la concepción de una obra de reparto equitativo. En los últimos tiempos se consiguieron algunos avances en el conocimiento y con ello se avanzó en la celebración de acuerdos.

El eje principal de este artículo se centra en los procedimientos seguidos en la búsqueda de una alternativa técnica para el problema. En él se narran los pasos dados para la construcción de una propuesta imparcial y objetiva.

ABSTRACT

The Pilcomayo River is undoubtedly one of the few cases in the world that has a combination of highly dynamic natural processes, different social subjects and heterogeneous social and political realities directly affected. The complexity of the problem lies not only in hydraulic and geomorphologic issues, not even as the most important matter, but also in the basin inhabitants and their governments' interests, two issues within a framework of management and political planning among three independent states such as Argentina, Bolivia and Paraguay.

The annual sedimentation of tens of kilometers of natural and artificial channels due to the enormous amount of transported sediments, the liquid digression and marshes formation are broadly described as the natural phenomenon. Since the early 90's, people work on this changing system, the construction of a building work of equal sharing. In recent years some progresses were achieved in knowledge and thus certain agreements were reached.

The main thrust of this article focuses on the followed procedures in the search for a technique alternative for the problem and tells the steps for building a fair and objective proposal.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Pilcomayo esta conformada por territorios de las Repúblicas de Argentina y del Paraguay, además del Estado Plurinacional de Bolivia. Figura N°1. Los dos primeros vienen trabajando desde 1939 con el objetivo de estudiar soluciones a problemas compartidos. En los 70's se suma a la iniciativa Bolivia dando los primeros pasos del camino que llevaría a la constitución de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Entre 1994 y 1995, los países firmaron la Declaración de Formosa para la creación y posterior conformación de la Comisión *“con el fin de lograr una solución consensuada a los problemas de la cuenca promoviendo su desarrollo integrado”*. Desde entonces, y con mayor continuidad durante la última década, se trabaja en pos de la gestión integrada de los recursos hídricos de la Cuenca unificando criterios e impulsando objetivos comunes.

Dentro de la institucionalidad vigente, la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (CTN) instruye a la Dirección Ejecutiva (DE) sobre la instrumentación técnica de sus decisiones.

La DE actualmente realiza el monitoreo sistemático de variables hidrológicas, de calidad de agua y sedimentos en la cuenca con recursos humanos y económicos de los tres países en algunos casos y por convenios con instituciones oficiales de los países miembros en otros. Asimismo figuran entre sus objetivos la realización de estudios y proyectos para intervenciones de carácter Trinacional, promoviendo la planificación participativa en la gestión del agua y la participación de la sociedad civil.



Figura N° 1.- Cuenca del río Pilcomayo

Un t3pico relevante de los estudios de integraci3n en la cuenca ha sido la colmataci3n y retroceso del cauce y la b3squeda de una distribuci3n equitativa de caudales en la cuenca baja. Un fen3meno natural altamente sensible a las expectativas de desarrollo de los pa3ses.

OBJETIVO

En el siguiente trabajo se resume la din3mica de los procesos de colmataci3n y retroceso del cauce y se pasa revista a los pasos dados en la b3squeda de una obra estable de reparto de agua y sedimentos que cuente con el consenso necesario entre los pa3ses miembros para lograr acuerdo en el desarrollo del estudio de factibilidad del sistema de reparto desde el punto de vista t3cnico, pol3tico y ambiental.

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

El r3o Pilcomayo forma parte del sistema fluvial de la cuenca del Plata y se extiende sobre los territorios de Argentina, Bolivia y Paraguay cubriendo un 3rea de 290.000 Km² aproximadamente. Las nacientes del r3o se encuentran en la cordillera de los Frailes en Bolivia a m3s de 5.000 msnm. En la cuenca baja "El Chaco", la cota llega hasta 50 msnm en inmediaciones de la ciudad de Formosa, Figura N3 1.

El relieve se caracteriza por Puna al oeste, siguiendo hacia el Este Sierras Subandinas y luego Llanura Chaque3a. Dentro de la cuenca se desarrollan diversas series de complejos litol3gicos y estratigr3ficos. La Puna est3 formada por sedimentos, rocas metam3rficas y granito; en la cordillera y sierras se encuentran dep3sitos esencialmente cl3sticos conformados por rocas sedimentarias.

El perfil longitudinal (Halcrow&Serman, 2007) del r3o muestra un marcado cambio de pendiente aguas arriba de (3000m en 600Km) de Villa Montes y aguas abajo (500 m en 700 Km). Esta variada topograf3a de serran3as y valles en el sector alto dista bastante de la zona de llanura donde se encuentra un r3o menandroso que transporta gran cantidad de sedimentos con consecuentes desbordes y anegamientos.

Las caracter3sticas clim3ticas de la cuenca est3n dominadas por el efecto de la cordillera de los Andes, que modifica la circulaci3n de los vientos tropicales y subtropicales en altura.

En general la precipitaci3n es escasa con marcada concentraci3n estival a medida que nos trasladamos hacia el oeste. Existen dos centros de alta precipitaci3n en la cuenca, uno sobre el r3o Paraguay (extremo este) y otra sobre las Sierras Subandinas (pr3ximos a la ciudad de Villa Montes). En el Chaco central la lluvia media anual es de 600 mm y en la Puna es de 300 mm. Ello permite tomar dimensi3n de los fen3menos y procesos de generaci3n de sedimentos que se suscitan como una consecuencia de estos episodios.

Las lluvias de verano son tormentas intensas con actividad el3ctrica, vientos y en forma de chaparr3n que generalmente tienen un ancho aproximado de 10 Km y pueden alcanzar un radio de 300 Km. En cuanto a la intensidad vale decir que puede ser alta registrando 100 mm en pocas horas.

PROCESOS FLUVIALES

En su cabecera en el altiplano boliviano, el río Pilcomayo funciona como río de montaña que al pasar por la ciudad de Villa Montes, próximo al ápice de su abanico aluvial, empieza su transformación progresiva en un río de llanura. (Figura N°1). Desde el puente internacional Misión La Paz (Salta, Argentina) - Pozo Hondo (Boquerón, Paraguay) existen 60 Km de cauce activo hasta el actual punto de división de caudales, que denominaremos, en adelante, “Embocadura” en razón de que allí se produce la embocadura del canal que conduce aguas del río Pilcomayo hacia territorio paraguayo (en adelante “Canal Paraguayo”). A partir de éste último los cambios son altamente dinámicos sobre todo en las líneas principales de escurrimiento, propiciando la formación de bañados, Figura N°1.

Las causas de los acelerados cambios morfológicos en la cuenca baja son la alta tasa de transporte de sedimentos (140 millones de toneladas como promedio anual), la gran variabilidad de caudales (entre 4500 y 5 m³/s) y la baja pendiente del terreno (del orden de 4 cm por Km), entre las más influyentes.

La geomorfología de la zona fue modelada casi exclusivamente por los procesos fluviales de los ríos Bermejo y Pilcomayo, Figura N°2. Prueba de ello denotan los respectivos abanicos aluviales que se observan a escala regional. Algunos especialistas especulan que en el pasado geológico reciente (de unos cuantos miles de años), los caudales líquidos y sólidos de estos cursos fueron mucho mayores que los actuales.

En cuanto al conoide fluvial del Pilcomayo propiamente dicho, existe una distribución radial en territorio de los tres países mencionados, con la particularidad de conos encajados uno dentro del otro en correspondencia con sus paleocauces. La búsqueda permanente de continuidad dinámica labró un sistema de canales de distribución radial que migran pivoteando lateralmente hacia el Norte y Sur. Figura N° 2.



Figura N° 2: Paleo ápices desplazados en el sistema de paleoconoide y subcono del río Pilcomayo,

Los últimos kilómetros de cauce activo (límite internacional entre Argentina y Paraguay) seguramente constituyen el tramo más inestable, con una acelerada evolución de meandros. Su ancho oscila entre 50 a 150 m siguiendo su propia sinuosidad. Dicho cauce está marginado por niveles de terraza de poca altura y albardones marginales de poco declive, de tal forma que en crecidas son fácilmente excedidos, aún con caudales ordinarios.

Un aspecto sustancial es la comprensión y descripción del mecanismo del taponamiento y cambio de curso de la corriente de agua.

Se considera que, actualmente, los depósitos de material sólido forman un delta de unos 15 Km de longitud por 10 Km de ancho, medido a partir del tapón o fin del cauce, según observaciones realizadas durante la última década.

La experiencia ha llevado a manifestar que las obstrucciones en cauces se originan esencialmente en crecidas cuando se forman las mallas o trabazón de empalizadas compuestas principalmente de “palo bobo” (tessaria integrifolia). Este bioestón funciona como estructura de atrape de las arenas que circulan por los cauces. Se generan desniveles del orden del metro. Posteriormente se completa el relleno con el material más fino. Según el arrastre de material el taponamiento puede completarse en una crecida o gradualmente, Figura N° 3.

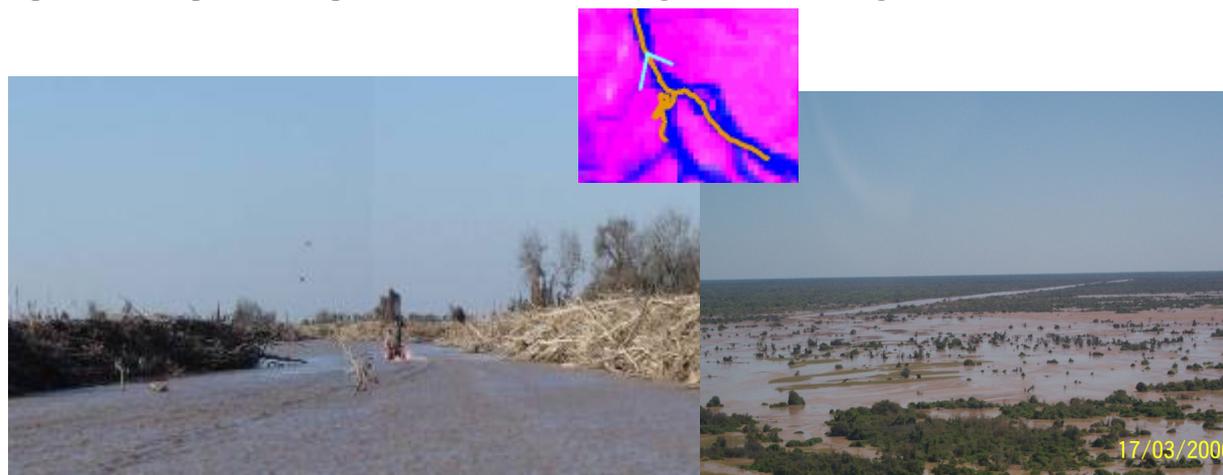


Figura N°3: Fotos del fin del tapón en 2006, en Formosa-Argentina

LA DIVISIÓN DE CAUDALES

Son conocidos los trastornos que causan los desbordes y anegamientos a pobladores, animales y las pérdidas en obras de infraestructura. Sin embargo, el mayor desafío es la solución al reparto equitativo de aguas del río Pilcomayo entre Argentina y Paraguay para distintos escenarios de su variado régimen.

En los años '90, se concertó una obra de reparto con el objetivo de detener el retroceso y alimentar la red hidrográfica de ambos países. Dicha obra consistía en la construcción de dos canales de derivación (uno a cada país) que por su forma peculiar se denominó “El Pantalón”. Se pretendía que tales canales tuvieran igual capacidad de conducción, Figura N° 4.

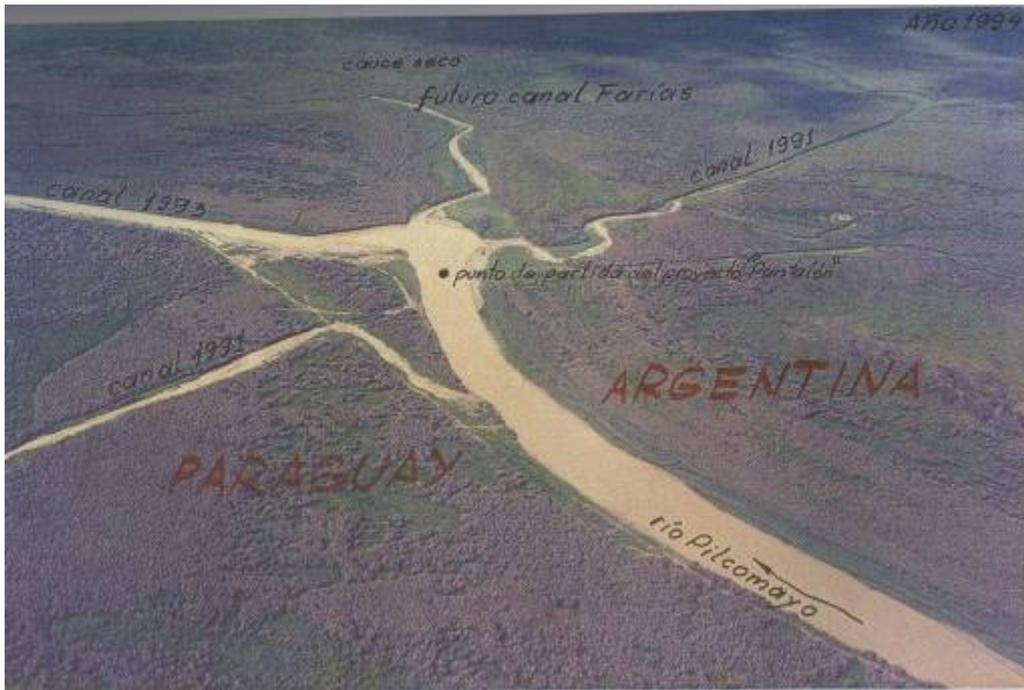


Figura N°4: Foto aérea 1994, del Pantalón, Argentina-Paraguay.

Con el paso del tiempo se pudo apreciar la dificultad de mantener la funcionalidad de la obra acordada (Figura N° 4, 5 y 6). El régimen del escurrimiento en estos canales es lento.



Figura N° 5.- a) Vista de El Pantalón”, Mayo 2003. b) Foto aérea de Embocadura – Noviembre 2006.



Figura N° 6.- a) Vista aérea Embocadura, Junio 2009. b)- Febrero 2011.

Numerosas y diferentes han sido las obras de canalización llevadas a cabo por ambos países. En todos los casos el resultado fue, al cabo de un tiempo, la colmatación (taponamiento) de los tramos finales con enormes cantidades acumuladas de sedimento y vegetación.

Cabe mencionar que en los días en que se está escribiendo este trabajo, técnicos y equipos de la provincia de Formosa, están trabajando en la construcción de 17 km de una canalización sobre el cauce del río Pilcomayo frente a la Embocadura del Canal Paraguayo, para lograr el ingreso de las aguas a territorio argentino interrumpido desde los primeros días de mayo del corriente año. Figura N° 6.

Este suceso - la falta de conectividad hidráulica en el cauce activo del río Pilcomayo hacia las obras de conducción (correderas) que dispone la República Argentina hacia las depresiones internas de la provincia de Formosa, muy en particular el bañado La Estrella, tuvo amplias y profundas implicancias en las comunidades ribereñas produciendo movilizaciones de sus organizaciones e intensas tratativas de sus autoridades nacionales que fueron canalizadas al seno de la Comisión Trinacional-.

Dicha vinculación es vital desde el punto de vista no sólo de la actividad productiva de las comunidades sino de su propia subsistencia, ya que permite no solamente el acceso al agua para su aprovechamiento como agua de bebida del ganado sino también la posibilidad de pesca principal fuente de sustento para muchos de sus pobladores.

CRONOLOGÍA DE ACONTECIMIENTOS

Con la premisa comprobada de inestabilidad y aleatoriedad de la estructura de reparto a través de dos canales, Figuras 4, 5 y 6. Con esta premisa, durante la gestión del Proyecto Pilcomayo se desarrollaron diversos estudios que contaron con calificada asistencia técnica local, regional e internacional. En este marco institucional se realizó el análisis técnico para hallar una solución políticamente aceptable.

La primera consigna de trabajo en 2005 fue la alternativa de un cauce único capaz de transportar el agua con su enorme carga de sedimentos hacia un área de reparto con menos posibilidad de una rápida colmatación, menos trabajo de limpieza y mantenimiento. Sin embargo las acciones que fueron ejecutando los dos países en la cuenca baja se inclinaron más hacia el sistema de reparto de agua a través del mecanismo de dos canales convergentes en un nudo (pantalón).

En 2006 se analizó el concepto de dique distribuidor de agua de mínima altura que tuviera la función de repartir equitativamente las aguas altas entre los dos países sin pretender la regulación del recurso.

En cuanto a ubicación se trabajó bajo los siguientes criterios:

- Que no se colmatara rápidamente, con una apreciable vida útil.
- Que el agua a repartir fuera relativamente clara
- Que el remanso causado por el dique no influyera en la tendencia al taponamiento y retroceso del cauce.

Desde entonces y hasta mediados de 2009, las repúblicas Argentina y del Paraguay siguieron trabajando individualmente en la construcción de canales que aseguraran el ingreso de agua a cada territorio.

La República Argentina ejecutó en Formosa entre esos años alrededor de 150 Km de correderas, por su parte la República del Paraguay, construyó cerca de 100 Kilómetros de canal.

Evidentemente las ejecuciones que se fueron llevando a cabo en estos últimos años fueron modificando la idea original de los países en lo referente a la estructura de reparto y fundamentalmente a su ubicación.

Primeramente se pensó que la posición del dique podía estar a unos 35 Km del delta final de depositación, teniendo en cuenta las dimensiones del tapón. Hoy, cinco años más tarde este se ha trasladado aguas abajo unos 65 Km en Argentina y 55 Km en Paraguay.

Para definir estas dimensiones se llevaron a cabo distintas mediciones, una de ellas fue el muestreo sistemático de concentración en suspensión y otros parámetros en seis puntos aguas abajo de la Embocadura durante el paso de crecida 2006- 2007. Donde las muestras de agua superficial se tomaban una vez por semana. Los resultados arrojados indican entre otras cosas que desde el primer punto y hasta otro ubicado a 75 km aguas abajo disminuyó un orden de magnitud (decenas de miligramos por litro). También se marcaron árboles con la intención de dimensionar espesores de depósitos. Figura N°7.

Durante el 2008-2009 se desarrolló el proceso licitatorio de un estudio de obtención de información básica necesaria para la obra. Dicho estudio se realizó entre noviembre de 2009 y junio de 2010 por la asociación de consultoras Halcrow-HydroControl de las Repúblicas Argentina y del Paraguay, respectivamente.

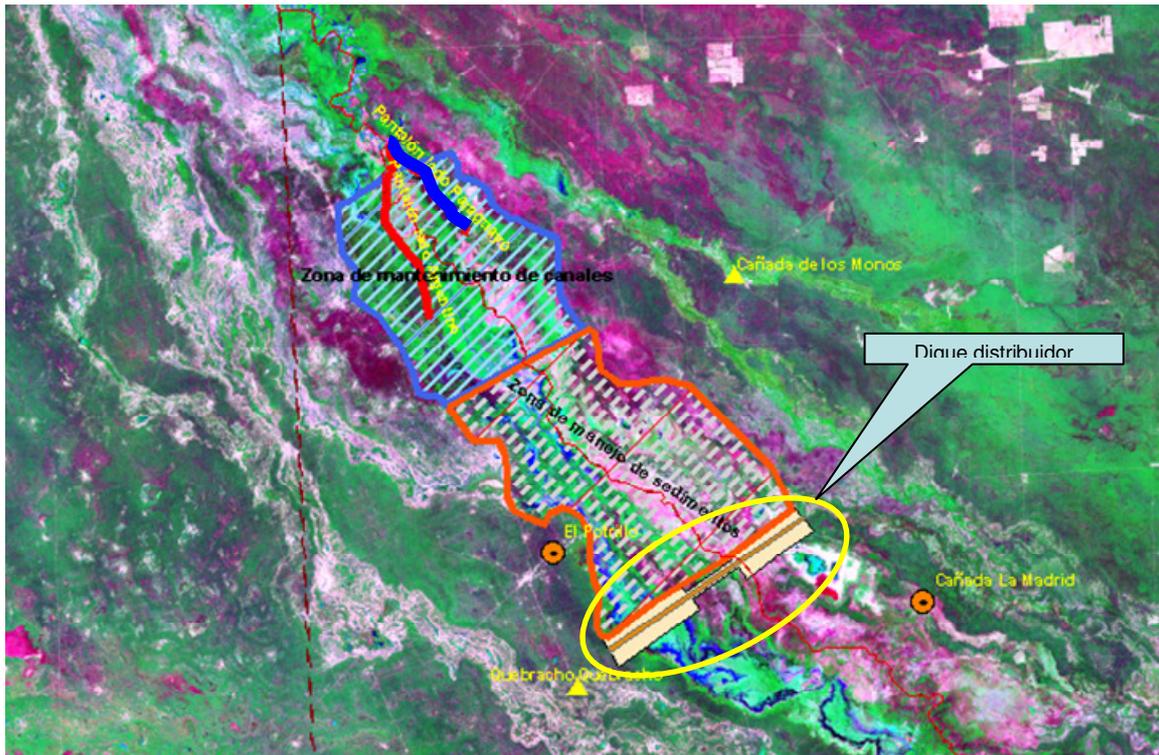


Figura N° 7.- Representación de las áreas de divagación y sedimentación, sitio propuesto para la ubicación del dique 2006.

DEFINICIONES TÉCNICO – POLÍTICAS

Las propuestas de solución para el reparto equitativo y el retroceso del cauce tienen dos abordajes diferentes el primero técnico y el segundo político.

Unas, de largo plazo, atacan el problema de la regulación de caudales en la alta cuenca, con intervenciones de gran magnitud que modifiquen la producción y transporte de sedimentos. Entre las actividades llevadas a cabo por la CTN en sus distintas gestiones se han identificado y se han iniciado las primeras etapas de la ingeniería de doce (12) sitios posibles de construcción de presas. A la fecha, los países miembros analizan dichas propuestas en el marco de sus propias políticas nacionales.

En un enfoque de mediano a corto plazo aparece la definición y construcción de un sistema distribuidor de aguas razonablemente estable para la cuenca baja para los diferentes escenarios de su variado régimen hidrológico, para lo cual la CTN ha llevado a cabo acciones en los planos técnicos y políticos de la cuenca.

Como se señaló precedentemente, en una primera instancia la CTN analizó la construcción de un dique distribuidor de baja altura que repartiera equitativamente aguas altas, sin procurar la regulación. Su ubicación se pensó aguas abajo de los actuales canales de reparto y en la zona denominada de divagación, asignándole grandes extensiones de territorio en ambos países como área de servidumbre para el manejo de sedimentos.

La CTN ha procurado realizar estudios y proyectos multi-transdisciplinarios que tuvieran en cuenta la diversidad de las facetas del problema – no sólo los aspectos ingenieriles tradicionales - para lograr una aproximación integral a la solución buscada.

En el estudio de información básica mencionado la idea original fue ubicar la obra en la zona de canales y correderas activos realizando un reparto de agua sin sedimentos. Un tema de especial consideración fue el análisis de los impactos ambientales que una obra de ese tipo podría ocasionar, en particular, la alteración de la ruta migratoria de los peces, como el caso del sábalo.

En el presente trabajo se presentan los avances producidos en esta última línea de pensamiento.

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En dicho estudio el área de estudio comprendió una franja de 135 Km de largo y 35 Km de ancho, tomando como eje central al río Pilcomayo y sus principales líneas de escurrimiento activas. La misma se extiende desde las canalizaciones argentino-paraguayas, más precisamente desde la zona de la Embocadura hasta proximidades de las localidades de La Rinconada, Argentina y Doña Pitita en Paraguay. Figura N° 8.

Las principales consignas fueron su ubicación, vida útil, agua relativamente clara e influencia del remanso causado por la obra. También se tuvieron en cuenta los esfuerzos de Argentina y Paraguay en la construcción y mantenimiento permanentes de sus canales y correderas con el fin de tener activas líneas de escurrimiento y manejo de sedimentos (área de sacrificio o servidumbre)

A las disposiciones anteriores se sumaron nuevas inquietudes como ser

- posibilidad de cambios bruscos del escurrimiento, que podrían dejar a la obra total o parcialmente fuera de servicio,
- la situación dominial de las tierras involucradas,
- la búsqueda de un razonable equilibrio de volumen de obra en ambos países,

Ante el alto impacto social ya mencionado, se procuró con la participación y contribución de los pueblos originarios de la región en todas las etapas de la ingeniería necesaria para la concreción de las obras.

SISTEMA REPARTIDOR

Durante el desarrollo el estudio de “Obtención de información básica para la realización del estudio de prefactibilidad de la obra del dique distribuidor” se analizó la dinámica hídrica de la zona a través de una batería de herramientas clásicas y modernas de geomorfología, hidráulica y sedimentología, asociada con modelos digitales del terreno (MDT) obtenidos en el año 2000. En una primera etapa se trabajó con el MDT de 90m de resolución del Shuttle Radar Tomography Mission (Nasa-USGS) desde Misión La Paz hasta La Rinconada-Doña Pitita. Del mismo modo se utilizó el modelo digital de superficie de 30m de resolución de ASTER-Global Digital Elevation Model, utilizado principalmente para el sector de canales y correderas. Seguidamente se contrastaron ambos MDT con la intención de detectar alteraciones. También se compararon resultados con datos topográficos reales obtenidos en distintas campañas en los últimos años.

De este procedimiento se concluyó que existe una diferencia entre 0 ± 2 m entre el modelo logrado y el MDT de 90 m. Considerando que dicha diferencia radica principalmente en la diferencia de las fechas de las fuentes y fundamentalmente a la activa sedimentación y

divagación del cauce en el área de estudio.

Con esta información topobatimétrica se construyó la malla de elementos finitos que alimentó los modelos de simulación aplicados para reproducir los procesos en el área de estudio.

Ante lo trascendente de esta información para las proyecciones futuras del funcionamiento del sistema natural, con y sin obra, se incluyó la adquisición y procesamiento de imágenes satelitales GeoEye-1 de alta resolución.

En la misma línea de pensamiento expresada inicialmente, se orientó la tipología de intervención hacia un esquema que permitiera un cauce único orientando el flujo de forma conducirlo hacia zonas de deposición, para luego promover la repartición entre los países de “aguas claras”, mediante una obra de cierre provistas de vertederos y descargadores.

Se instrumentó un modelo hidrodinámico mixto uni-bidimensional, para las condiciones actuales, definiendo la red de escurrimiento e identificando áreas de almacenamiento. Con el objetivo particular de establecer la red de flujo capaz de representar los sectores de conducción, obstrucción, retardo y almacenamiento. Se aplicó un modelo 2D simplificado para el proceso de esquematización en ramas múltiples del escurrimiento en la planicie de inundación, ante la gran extensión del área de estudio y la necesidad de aumentar la eficiencia del cálculo se propuso un modelo mixto 1D-2D en régimen variable.

El modelo implementado realiza el análisis del comportamiento de la planicie inundación, ocurrencia de regulación y atenuación de pico de crecida, desbordes del cauce principal hacia el valle fluvial e incluyendo los cauces menores y paleocauces menores. También considera la vinculación entre los procesos fluviales y formas del terreno, en particular representa las correderas y sus respectivas llanuras de inundación.

Los resultados de la modelación hidrodinámica 1D y 2D realizada mostraron condiciones iniciales de fuerte dificultad, logrando la distribución espacial de la velocidad y la dirección de la corriente.

Para el sistema acoplado se utilizó ISIS 1D-2D (by Halcrow) con el que se simuló hidrodinámicamente el flujo con sedimentos.

Esto logró la implementación del modelo sedimentológico donde esencialmente se trabajó en el transporte del material en suspensión.

Los resultados fueron tomados a modo indicativo de los órdenes de magnitud de los procesos y muestran la extrema variabilidad de la sedimentación como función directamente proporcional a las condiciones hidráulicas. Se realizaron simulaciones para 200, 500 y 1000 m³/s y concentraciones asociadas de 200, 500 y 1000 Kg/m³, manteniendo las proporciones de arena 3%, limo 43% y arcilla 54%, de cada fracción granulométrica.

Las tendencias arrojadas de tasas mensuales de deposición oscilan entre 0,19 m/mes, 0,32 m/mes y 1,23 m/mes. Donde la mayor sedimentación se produce sobre el eje del canal en su extremo final, superando los límites del área de estudio por lo que resulta difícil sostener el argumento del reparto de agua clara.

Con los resultados de la modelación de flujo y el comportamiento hidrosedimentológico de la zona de intervención, inicialmente se pensó en un esquema de cauce único para conducir flujo hacia una zona de deposición para luego promover la repartición entre los países “agua clara” mediante una obra de cierre con vertederos. Pero los resultados mostraron que es difícil alcanzar este diseño ya que en creciente se desarrollan dos trazas de escurrimiento (separados por el viejo cauce colmatado) unos pocos kilómetros aguas abajo del Pantalón.

Como consecuencia de dichos análisis, en un Taller realizado en Formosa a fines de 2009 se presentaron cinco (5) trazas de las cuales tres (3) estaban ubicadas en un sector inferior del tramo en estudio (esquema original) y dos (2) en un sector superior que implicaban modificaciones en la filosofía de la obra. Figura N° 8.

Dichas opciones se presentaron a las delegaciones quienes discutieron los beneficios y perjuicios de cada una de ellas, definiendo una, denominada A_{1,0} en el sector superior, para profundizar los estudios sobre dicha alternativa y llevarla a nivel de prefactibilidad.

El acuerdo logrado en esta reunión consistió en avanzar en la localización de las trazas en los primeros 25 Km aguas abajo del Pantalón. Con lo cual se abandona la idea de reparto de agua clara.

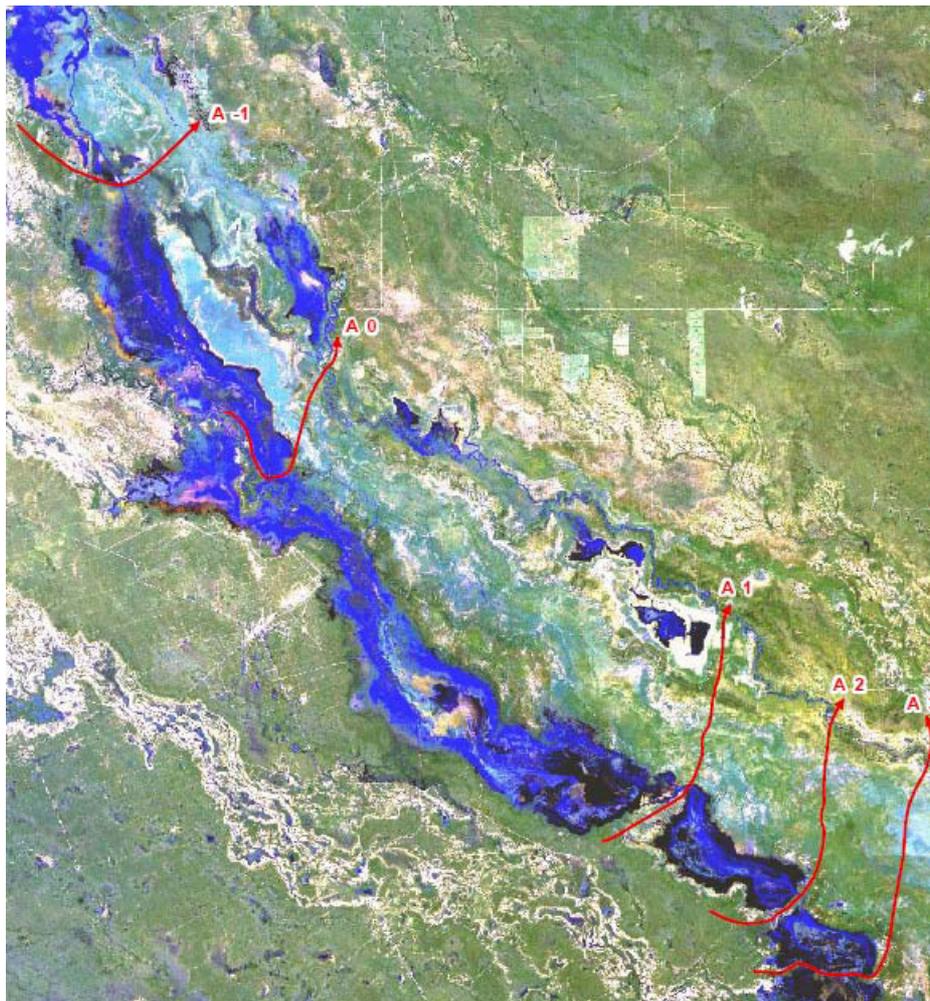


Figura N° 8.- Esquema de trazas alternativas propuestas.

La nueva consigna consiste en planear una alternativa de obra capaz de permitir el pasaje de agua y sedimentos para diversos estados en creciente, bajo las mejores condiciones de pendientes naturales como así también las más beneficiosas condiciones hidrodinámicas.

Los trabajos realizados a partir de dicha definición comprendieron distintos sistemas de obras: La alternativa I, en la traza A-1 (Figura N°8): una obra de manejo de aguas bajas hasta $100 \text{ m}^3/\text{s}$, a través de una bifurcación de canales iguales, conectado al cauce único. Un canal paraguayo de traza corta hasta lograr una buena conducción con una cañada natural “San Antonio”, utilizando como cierre lateral un albardón natural “El Viejo Tucumancito”. La derivación argentina se conectaría a un bajo natural “El Nuevo Tucumancito”.

En cuanto a las aguas medias y altas se distribuirían mediante un umbral de baja caída ubicada a los laterales de cada bifurcación contenido por dos muros con ala y planta convergente, el cual se vincularía con el canal principal aguas debajo de la obra.

El vertedero de cada país tendrá una ancho de 800 m, con un caudal máximo de pasaje de $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, cada uno. Figura N° 9.

Para aguas mínimas (hasta $30 \text{ m}^3/\text{s}$) se operan a través de un canal con sección de control de hormigón con compuertas, de forma de poder regular la descarga y mantener la equidad con un canal hidroequilibrante.

En cuanto a los caudales medios y máximos se operan a través de sendos aliviaderos superficiales de 700 m de longitud y una capacidad máxima de $2500 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura N° 9.- Esquema de alternativa I propuesta.

Con la aplicación de la simulación hidrodinámica en los lugares establecidos con y sin estructuras de reparto permitieron estimar el comportamiento del sistema y de las obras propuestas.

Las aguas medias y altas se distribuirían mediante un umbral de muy baja caída ubicada de forma lateral a cada uno de la bifurcación. Para el manejo de aguas bajas se promueve la partición del flujo por dos canales iguales. Los resultados advierten que la obra sobreelevada, transversal al flujo no resulta eficiente para repartir derrames ya que siguen prevaleciendo las vías de circulación actuales y la pendiente general.

Se plantearon otras alternativas de del sistema distribuidor, como ser la construcción de un terraplén de cierre para centrar los escurrimientos en una zona intermedia. Luego los derrames sobre el territorio argentino serian contenidos por un segundo terraplén. Dichos flujo después seria orientado por un terraplén partidior (alternativa II, Figura N°10).Otro esquema presentado fue la construcción de un cierre central y de contención en continuo (alternativa III, Figura N° 11).

Cada una de las alternativas llevaron a la estimación de depósitos considerando cada escenario, los resultados arrojaron valores máximos en zonas de detención del orden de los 0,60 m y espesores menores de 10 a 20 cm en sectores de escurrimiento mas rápido. De esto último, se sugiere que de mantenerse la misma tendencia de escurrimiento/depósitos en 10 años la elevación de la cota en las zonas aguas arriba de la distribución provocaría un colapso que limitara el reparto de caudales.

Cabe mencionar que durante el estudio no solamente se tuvieron en cuenta cuestiones hidráulicas sino ambientales, políticas, económicas y de tenencia de la tierra, entre las más relevantes.

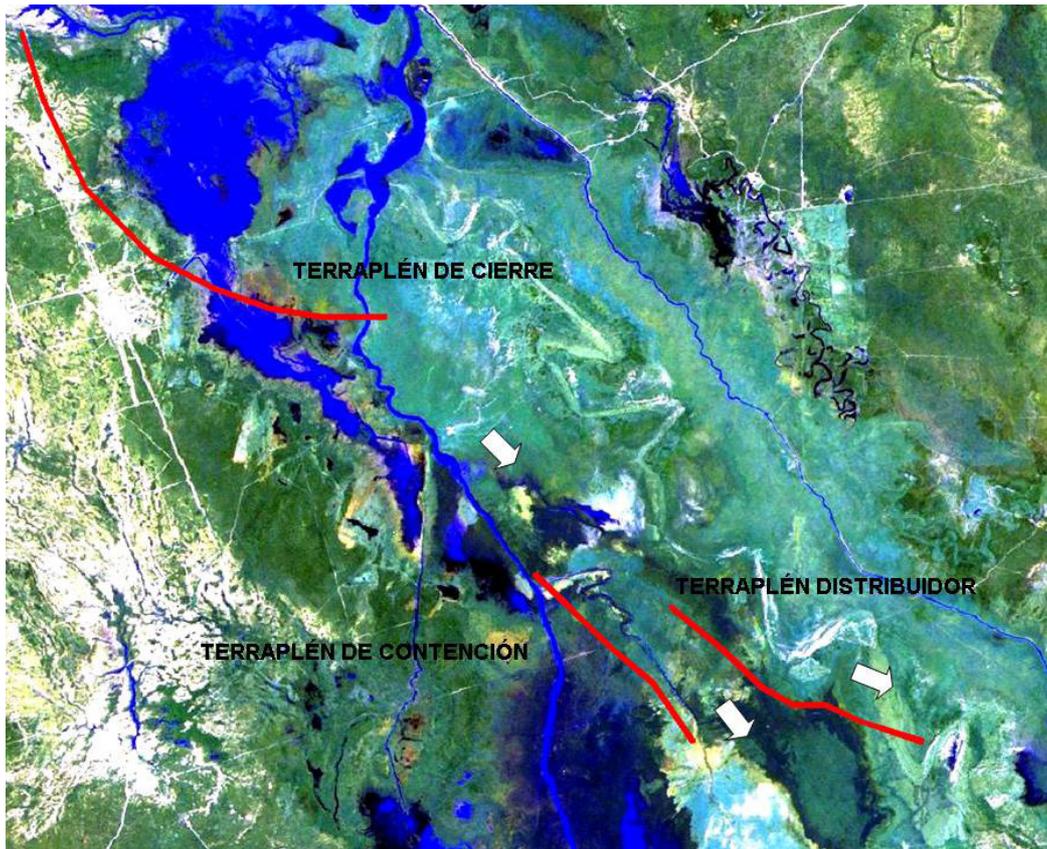


Figura N° 10.- Esquema de alternativas II, propuestas.



N° 11.- Esquema de alternativas III, propuestas.

CONCLUSIONES

Como se puede observar en el desarrollo de todo el trabajo es necesario concebir al Sistema Distribuidor como un elemento que se incorpora al paisaje natural y que va a incidir sobre el escurrimiento del agua que ingresa a la cuenca baja pero también – indiscutiblemente – de la carga sólida y de los detritos vegetales asociados al mismo. Nos encontramos frente a un desafío de características singulares.

La información topobatimétrica es clave para todo el proceso de estimación y simulación. Por ello se han volcado considerable tiempo y recursos económicos a la obtención de información actualizada de precisión submétrica: imágenes de alta resolución GeoEye-1, con las que se obtuvo un modelo digital del terreno resultante de 2m de resolución.

Es necesario, en consecuencia explotar dicha valiosa información profundizando diversos aspectos vinculados con la dinámica hidrosedimentológica del sistema.

Se espera que para la próxima etapa de este emprendimiento singular se logre simular cada uno de los escenarios propuestos para el sistema de obras previsto y así dar mayor certidumbre al comportamiento hidrodinámico y sedimentológico.

La Dirección Ejecutiva está trabajando en los Términos de Referencia para la realización del Estudio de Factibilidad del sistema de obras definido, así como en estudios complementarios asociados sobre ictiología y migración del Sábalo, evolución de puntos críticos, protección de márgenes (Obra de protección para la estación Misión La Paz), etc.

La realidad actual del reparto de agua del Pilcomayo no plantea un problema de ingeniería convencional.

Por ello es que su solución, en el lapso de vida útil que se determine, no será convencional. Se tratará de una propuesta acorde al sistema natural, pero también a los conocimientos, realidades y expectativas de las comunidades e instituciones del área involucrada donde hay vida que depende directa o indirectamente de él.

Las alternativas de obra que se expongan, cada vez más acotadas en función del mayor nivel de ingeniería adquirido, deberán ser analizadas y evaluadas por los países integrantes de la cuenca, ya que dicho emprendimiento es un claro exponente de cooperación e integración regional que arrancó desde la concepción y desarrollo del proyecto pero que deberá profundizarse y expandirse con las actividades de definición de la alternativa técnico – económica pero también social y ambientalmente más conveniente, su construcción , operación y mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cordini R. (1947) “Los ríos Pilcomayo en la región del Patiño”. Dirección de Minas y Geología. Ministerio de Agricultura de la Nación. Buenos Aires, Argentina.

Consejo Federal de Inversiones (CFI). (1976). “Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo”. Informe Intermedio. Tomo Resumen.

Hopwood, H.J.(2003) “Taponamiento progresivo del cauce del río Pilcomayo”. 1er Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Buenos Aires 2003.

Halcrow&Serman (2007). “Línea Base Ambiental y Socioeconómica de la Cuenca del Río Pilcomayo”. Informe Final. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Martín Vide J. P, Amarilla M, Gamarra M, Zarate F. (2007). “Problema de sedimentación en el río Pilcomayo”. Simposio Regional de Ríos. Córdoba 2007.

Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo (2008).“Plan Maestro de Gestión Integrada de la Cuenca del Río Pilcomayo Documento Base”.

Martín Vide J. P, (2009). Informe de Misión sobre el Dique Distribuidor. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Halcrow&Hidrocontrol (2010). “Obtención de Información Básica para la Relación del Estudio de Prefactibilidad de la Obra del Dique Distribuidor”. Informe Final. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



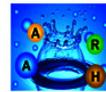
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERIA CIVIL E HIDRAULICA

