



EVALUACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN EN EL DISEÑO DE TERRAPLENES DE DEFENSA EN RÍOS CON TRANSPORTE MUY ELEVADO

Mabel Elizabeth Amarilla ⁽¹⁾, **Mario Luis Amsler** ⁽²⁾

(1) Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.

Fontana 840, Formosa, Argentina; Tel 54-3717-434037 -110.

(2) Instituto Nacional de Limnología - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional del Litoral (INALI – CONICET/UNL)

Ciudad Universitaria – Paraje "El Pozo" – Santa Fe – Argentina; Tel 54 342 4511645/648 - 107

E-mail: mamarilla@pilcomayo.net , mamsler2003@yahoo.com.ar

RESUMEN

Desde la primera mitad del siglo pasado se han estudiado las transformaciones de los tramos medio e inferior del río Pilcomayo. Una de las más significativas es el continuo retroceso del cauce principal, este fenómeno en un futuro cercano, puede llevar a importantes cambios ambientales.

Las modificaciones apuntadas están entre las causas que originan los frecuentes anegamientos que sufren las poblaciones ribereñas. Para evitar los efectos de inundaciones fue necesario proyectar obras de defensa en localidades como El Potrillo y Palmar Largo, en el noroeste de Formosa. En este trabajo se presentan parte de los estudios básicos realizados en el proyecto de defensa de esos lugares y zona de influencia. El proyecto implica la construcción de un terraplén en forma de semi-anillo tomando como eje central el camino a Palmar Largo - El Potrillo. Concretamente se ofrecen los criterios utilizados para estimar las sedimentaciones en la llanura aluvial frente a la zona de obras y su relación con la vida útil del terraplén. Al momento del proyecto se contaban con muy escasos datos hidráulicos, sedimentológicos y batimétricos lo que obligó a plantear supuestos y diseñar métodos basados en información recolectada en la zona de obras, todos ellos enmarcados en los principios de la hidráulica fluvial clásica. Por último los resultados se contrastan con mediciones efectuadas luego de la construcción del terraplén y se brindan las conclusiones pertinentes.

ABSTRACT

Transformations on the middle and lower parts of the Pilcomayo River have been studied since the first half of the last century. One of the most significant transformations is the steady decline of the main channel. In recent decades this phenomenon markedly increased its size to the point that in the near future, it can lead to significant environmental changes.

The pointed modifications are among the causes of frequent flooding suffered by waterfront populations. To avoid the effects of flooding, it was necessary to plan defense works in locations such as *El Potrillo* and *Palmar Largo*, to the northwest of Formosa.

In this paper we present some of the basic studies carried out in the defense project of these places and catchment area, needed by the floods of the Pilcomayo. This project also involves the construction of a semi-ring embankment where the main point is the road to *Palmar Largo – El Potrillo*. Specifically, we provide the criteria used to estimate sedimentation in the floodplain in front of the building site and its relationship to the life of the landfill. At the project time there were very limited hydraulic, sedimentological and bathymetric data which force to raise assumptions and design methods based on collected information in a the work zone campaign, all framed by the principles of classical river hydraulics. Finally the results are compared with measurements made after the riverbank construction and relevant conclusions are provided.

INTRODUCCIÓN

A largo del curso medio e inferior del río Pilcomayo (Figura 1), se viene produciendo un proceso de sedimentación progresiva que comprende aproximadamente 300 Km, de límite internacional entre Argentina y Paraguay. El fenómeno es consecuencia de la gran variabilidad de caudales líquidos en conjunto con los extraordinarios aportes de sedimentos generados en la alta cuenca, como respuesta a las intensas y concentradas lluvias que lavan el altiplano boliviano en los meses de verano. La elevada deposición de material fino en la planicie aluvial, es una de las causas de los frecuentes anegamientos que suelen padecer las poblaciones ribereñas durante los períodos de máximos caudales del río en la cuenca baja.



Figura 1: Cuenca del río Pilcomayo.

En este trabajo se presentan parte de los estudios básicos realizados en el proyecto de defensa de dos localidades afectadas por los desbordes del Pilcomayo: El Potrillo y Palmar Largo en el Dpto. Ramón Lista, al noroeste de Formosa (Figura 2). La obra consistió en la construcción de un terraplén en forma de semi-anillo tomando como eje central al camino de acceso a las poblaciones citadas.



Figura 2: Ubicación de El Potrillo y Palmar Largo en el Departamento Ramón Lista - Formosa.

Al momento del proyecto se contaban con muy escasos datos hidráulicos, sedimentológicos y batimétricos lo que obligó a diseñar métodos y plantear supuestos basados en información recolectada en campaña realizada en la zona de obras, todos ellos en el marco de los principios de la hidráulica fluvial clásica. Concretamente se ofrecen aquí las descripciones de esos criterios utilizados para estimar las sedimentaciones en la llanura aluvial frente a la zona de obras, los resultados correspondientes y su relación con la vida útil del terraplén. Por último, las predicciones realizadas se contrastan con mediciones efectuadas luego de la construcción del terraplén y se enumeran las conclusiones pertinentes.

ASPECTOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS GENERALES

Se ofrece en lo que sigue una descripción cualitativa de los procesos de sedimentación producto de la dinámica del río Pilcomayo. La intención es contar con un panorama más completo sobre este particular antes de abordar el análisis de los cálculos específicos de depositación. Se espera con ello al confrontar la complejidad del fenómeno natural con las simplificaciones inevitables adoptadas en los cálculos, se aprecien los alcances de los resultados logrados para representar esa realidad.

En Villa Montes, Bolivia (Figura 1), el río atraviesa las últimas estribaciones de la Cordillera de los Andes y entra a la Llanura Chaqueña. En proximidades al punto trifinio Argentina-Bolivia-Paraguay se encuentra el vértice del cono de deyección donde el río cambia abruptamente su pendiente. A partir de este punto comienza una amplia zona de configuración entrelazada, luego meandriforme y finalmente de divagación. En esta última se produce una sedimentación progresiva, con depósitos formados por sedimentos finos (fundamentalmente limos y arcillas) provenientes de la suspensión y que se extienden ocupando todo el valle de inundación durante los desbordes. Conforman los denominados “enlames” con espesores que pueden alcanzar desde decenas de centímetros a un metro por año. La planicie está cubierta de vegetación cuya permanencia y crecimiento está condicionada por la estabilidad del substrato suelo, los enlames. Se desprende que el régimen de inundaciones y la distribución del flujo en esos estados son variables principales en la dinámica de las poblaciones vegetales.

Esas variables controlan, a la vez, la distancia longitudinal (aguas abajo) en que se verifican los procesos de sedimentación y sus consecuencias.

El patrón en planta del cauce es otro de los atributos dependiente de las crecientes extraordinarias ya que lo pueden transformar abruptamente a través de mecanismos como el que se describe más abajo. Esas avenidas poseen recurrencias de 20 a 30 años. En períodos más secos, de 3 a 10 años, las grandes áreas abandonadas por el río suelen cubrirse de vegetación y pasan a formar parte de la planicie.

En síntesis, aguas abajo del frente del abanico y considerando períodos plurianuales, se aprecia en planta una planicie de inundación surcada por un cauce errático el cual se subdivide en múltiples cauces menores.

En lo referente al fenómeno de retroceso de aquel frente, las mediciones disponibles revelaron que durante el período 1940-1975 se desplazó 170 km aguas arriba a una tasa media de 5 km /año. En el período 1975-1993 el avance varió entre 45 km en 1984 hasta 3,5 km en 1990. Desde 2000 a 2007, se observaron varios kilómetros de cauce colmatado dentro del sistema de canales y correderas en la provincia de Formosa.

Existen varios enfoques para explicar los mecanismos de formación de los depósitos en cauce. Cordini (1947), atribuye el fenómeno a la formación de una malla o trabazón de vegetación arrastrada por la corriente durante las crecientes que facilita la deposición de las arenas. El tapón o depósito así generado, crece gradualmente y en épocas de aguas altas favorece los desbordes e inundación de la planicie (Figura 3).



Figura 3: Vista de la malla o trabazón vegetal en el cauce.

En síntesis, el proceso eleva la cota de fondo del cauce disminuyendo su capacidad de conducción con el tiempo pudiendo, inclusive, cegar lo completamente.

Las arenas se depositan rápidamente en forma de fajas alargadas y angostas cuando el agua desborda. A medida que son superadas aumentan su espesor y se extienden lateralmente. Esta expansión lateral es frenada por diques naturales de material grueso depositado junto al cauce en crecientes pasadas. De este modo la corriente va construyendo un terraplén (o albardón de espesor considerable) que la contiene en aguas bajas y medias. Como la corriente escurre por las zonas más altas debido a la elevación de la cota de fondo el río se va transformando en un “río colgado” sujeto a frecuentes avulsiones durante las crecientes para repetir luego el proceso descrito. Los niveles topográficos, a su vez, tienden a controlar la ubicación de los nuevos depósitos. El modelo explicaría las continuas divagaciones del cauce hacia una y otra margen y la conformación progresiva del abanico aluvial (Figura 4).



Figura 4: Vista aérea de un delta típico del río Pilcomayo en la cuenca baja.

Las mediciones disponibles de sedimentos transportados por el río, todas de material en suspensión, revelaron que los tamaños presentes se encuadran dentro de los rangos de arenas finas y muy finas, limos y arcillas, estos últimos predominando marcadamente. Las concentraciones pueden variar entre 60 Kg/m^3 (en creciente) y 1 Kg/m^3 (en estiaje). Las diferencias se deben a los aportes de toda la cuenca alta durante los períodos de creciente como producto de la erosión de su superficie por la acción de las lluvias. En aguas bajas se incrementa la proporción del sedimento proveniente del cauce.

ESTUDIOS HIDRÁULICOS Y SEDIMENTOLÓGICO

La zona de estudio (Figura 2) está ubicada aguas abajo del frente del abanico en pleno sector de divagación y afectada por los fuertes procesos de deposición mencionados. Ello obligó a estimar de algún modo el recrecimiento del fondo de la planicie y también del cauce mismo (Canal El Reventado), ya que esto altera el nivel que puede alcanzar la creciente de diseño con

el tiempo. Es decir, el fenómeno de sedimentación afecta directamente la vida útil de la obra prevista de defensa.

Dada la escasez de datos de todo tipo a la altura de El Potrillo se efectuó una campaña en diciembre de 2003 donde se obtuvo información de diverso tipo y calidad pero de suma importancia a la hora del diseño de la obra. Se llevaron a cabo búsquedas de señales en la vegetación dejadas por crecientes de diversa magnitud, estimaciones de sus alturas con respecto al suelo natural, localización de puntos fijos, verificaciones topográficas de datos antecedentes, toma de muestras (suelo en valle de inundación, sedimento suspendido y de fondo en cauce), caracterización de taludes y albardones, anchos de secciones transversales, entrevistas con lugareños, etc. De lo recolectado, las mediciones más valiosas fueron los espesores medios de los sedimentos dejados en planicie por las crecientes de 2001-2002 y 2002-2003.

A continuación se ofrece una síntesis de los estudios hidráulicos y sedimentológicos efectuados a fin de estimar los espesores medios anuales de los depósitos frente a las localidades a defender con el terraplén.

Utilizando datos observados en estación La Paz (Salta) de caudales, Q y concentraciones (totales en suspensión, CT , entre 1963-1993 y separando material de fondo en suspensión, C_{ss} y carga de lavado, C_w entre 1993-2003), Amarilla y Amsler (2005), construyeron las correspondientes curvas de transporte: GT vs Q , G_{ss} vs Q y G_w vs Q . En base a estas curvas esos autores establecieron que los GT medios anuales para los períodos 1967-2003 y 1967-1986 fueron 141×10^6 t/año y 135×10^6 t/año, respectivamente. En ambos casos la carga de lavado representa el 90% del total.

En cuanto al sedimento grueso transportado, G_{ss} ($d > 0,063$ mm), que representa un 10% del total, ajustaron la fórmula de Engelund - Hansen (1967) a los datos observados de este tipo de material desde 1993. El muy buen ajuste con un diámetro de sedimento del lecho de $100\mu m$, permitió utilizar esa fórmula, para predecir el transporte grueso en la zona de interés, donde no se tiene información de este tipo.

En cuanto al G_{sf} (carga de fondo), no se contaban datos de ningún tipo para ajustar una fórmula, a fin de estimarlo. Como la bibliografía sobre este particular, menciona valores para G_{sf} que van entre el 3 - 5% del G_s , se decidió no tenerlo en cuenta en los cálculos ya que esos porcentajes están dentro de los errores implícitos al aplicar fórmulas de transporte.

Conocidos los caudales líquidos y los transportes de sedimento en la estación La Paz, fue necesario estimar la proporción de ellos que se derivan para el sector argentino (que incluyen los escurrimientos en forma encauzada y por llanura aluvial en situaciones de desborde), para el cálculo final de los espesores de los depósitos, en la zona de obra. Debido a la falta de información sobre ambas cuestiones, se construyó en primer término la curva de descarga líquida en el lugar, para caudales (Q) encauzados, comparando los resultados de diversos métodos de predicción y luego verificando con estimaciones realizadas en los trabajos de campo. Los datos de pendiente de energía o de fondo (I) eran desconocidos por lo que se tomó para los primeros cálculos un valor deducida de las marcas de máximas crecidas dejadas en el paisaje informada en los antecedentes disponibles. Dado que este valor de I correspondía a una situación extrema, se repitió el cálculo para otra serie de pendientes, utilizada en todos los procedimientos, aplicados en una sección transversal disponible frente a El Potrillo (Figura 5).

Ellos fueron: Engelund (1967), fórmula de Manning con la adopción del coeficiente de rugosidad, “n” (0,028 y 0,030; Chow, 1959) y Van Rijn (1984) empleado en dos variantes.

El método de Engelund (1967), seguido por el de Manning con una pendiente de 2×10^{-5} fueron los que mejor predijeron los Q para distintos niveles, inferiores al desborde ($Q < \approx 160 \text{m}^3/\text{s}$). En esas condiciones se consideró que el 100 % del caudal que pasaba por La Paz llegaba a la sección de El Potrillo. Esta suposición implica que con río encauzado todo el caudal del Pilcomayo se derivaba a nuestro país, al momento de la campaña (10-12/12/2003). Los antecedentes consultados y evidencias fotográficas (Figura 6), corroboraron esta suposición.

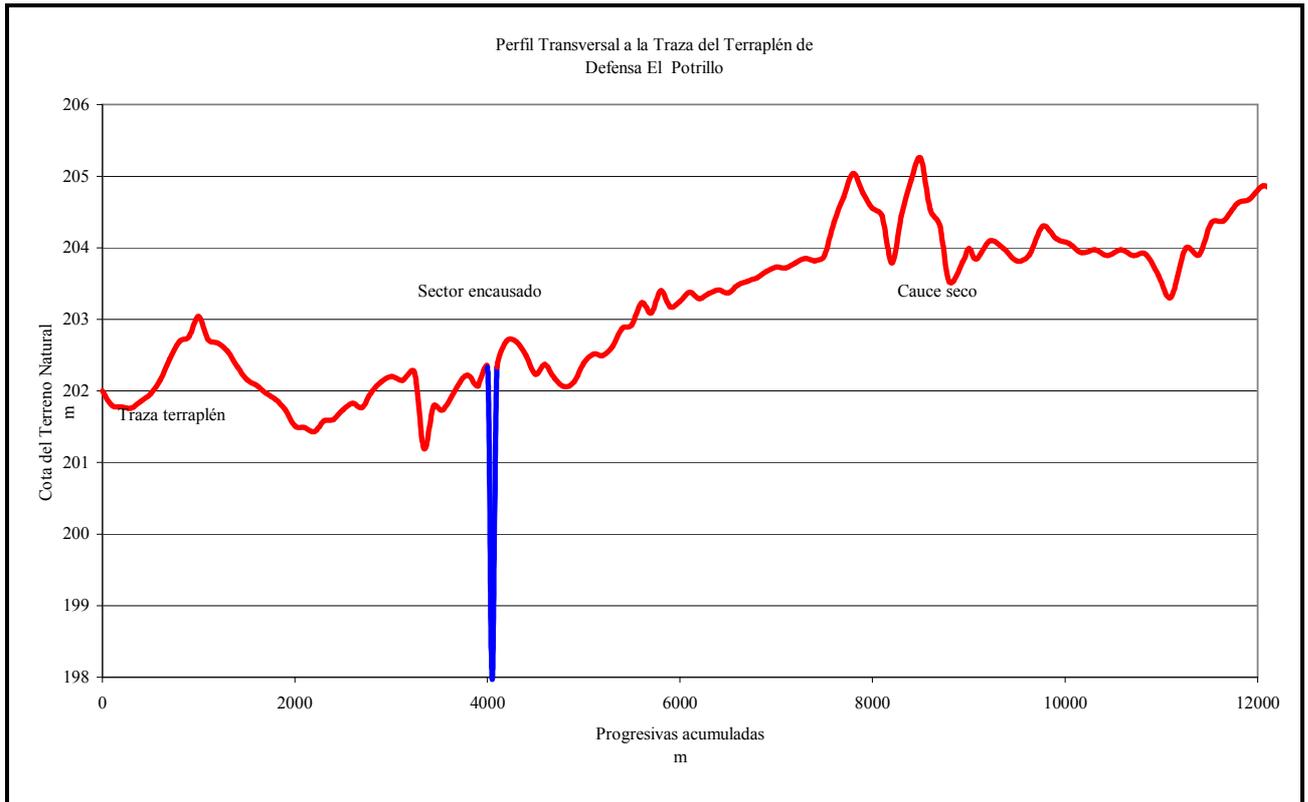


Figura 5: Perfil transversal de la sección transversal frente a la zona de obra utilizada para la estimación de caudales



Figura 6: Vista aérea de los canales binacionales “El Pantalón” (2003).

Los Q en creciente sobre llanura aluvial en la sección de Figura 5, se determinaron mediante la ecuación de Manning utilizada con distintos valores del coeficiente n habituales en planicies aluviales ($n_{\min} = 0,10$, $n_{\text{nor}} = 0,12-0,13$, $n_{\max} = 0,16$; Chow, 1959) y dos pendientes: 3×10^{-4} y 4×10^{-4} , esta última obtenida de antecedentes consultados. Para verificación de los resultados se tuvieron en cuenta las siguientes evidencias:

- ❖ De todos los antecedentes consultados y entrevistas realizadas, se logró establecer, al menos de manera aproximada, que entre el 70%-80% del caudal en creciente se deriva hacia Argentina.
- ❖ Las máximas crecientes registradas en La Paz fueron de 5500 m³/s (máximo instantáneo el 22/03/1984) y 4585 m³/s (máximo diario para la creciente 1983-1984).
- ❖ Las cotas máximas alcanzadas por esas crecientes (marcas dejadas en el paisaje referidas en los antecedentes) fueron del orden de los 205 m.

Con todos estos elementos como base, se estableció que un $n \approx 0,12$ correspondiente a la curva de $I = 3 \times 10^{-4}$ y cota 205 m, por la sección de Figura 5 escurría un $Q_{\max} \approx 4400$ m³/s, es decir $0,80 * Q_{\max}$ instantáneo en La Paz.

Para determinar los caudales intermedios sobre la planicie, es decir entre el de desborde y el máximo de 4400 m³/s, se consideró una función lineal entre ambos (se carecía de otra información al respecto).

Cabe agregar, en relación con este punto, que se ensayaron distintos criterios de división de caudales (propuestos en la literatura específica), entre los que escurren por el sector del cauce después del desborde en relación a los que lo hacen por la llanura de inundación (Figura 7). Se comprobó que las distintas variantes de división no originaban diferencias significativas en los resultados, por lo que se adoptó una sección rectangular para la separación de caudales luego del desborde.

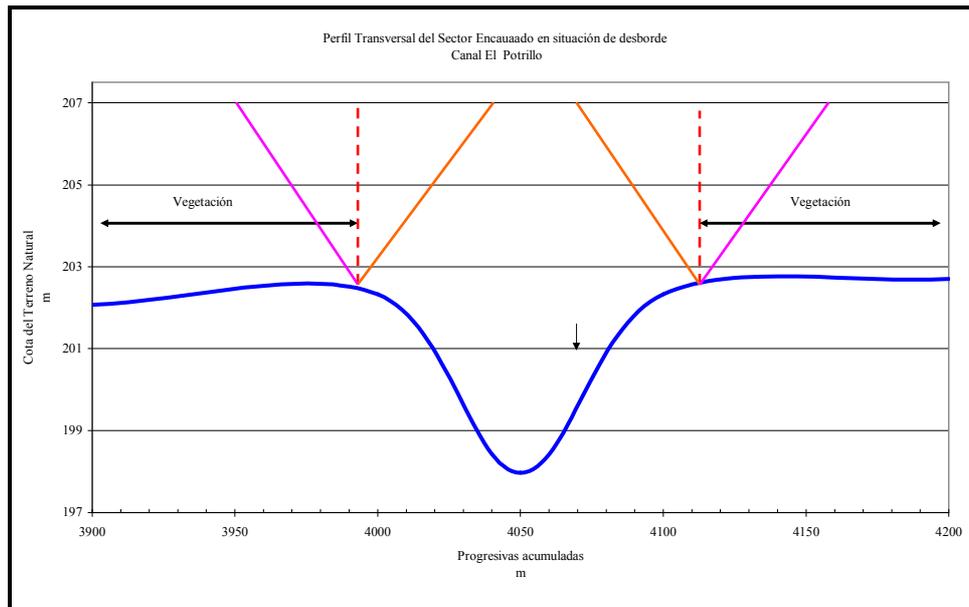


Figura 7: Esquema de los criterios ensayados de división de caudales.

SEDIMENTACIONES FRENTE A LA ZONA DE OBRA

Los volúmenes de depósitos en la llanura aluvial frente a El Potrillo, están formados por el material más fino en suspensión, la carga de lavado (limo y arcilla). En el sector encauzado, en cambio, se produce deposición de la arena fina a muy fina. No fue posible utilizar herramientas clásicas de modelación para efectuar este cómputo ya que se carecía de batimetrías y topografías detalladas del tramo entre estación La Paz y la zona de obras. Para el cálculo se contaba con los GW anuales en La Paz mencionados más arriba, imágenes satelitales, una planimetría de detalle entre los canales binacionales y El Potrillo, y los espesores aproximados medidos en campo, ya mencionados, de los depósitos dejados por las crecientes: 2001-2002 y 2002-2003, frente a El Potrillo (0,40 – 0,60 m).

En base a la cartografía se definieron cuatro zonas de trabajo entre La Paz y El Potrillo para los últimos años hidrológicos, teniendo en cuenta factores tales como: zonas deprimidas/elevadas en la planicie aluvial; existencia o no de terrazas y su mayor o menor cercanía al cauce principal; densidad de la red de drenaje conformada por cauces secundarios, lagunas, esteros, etc; cualquier otra información consignada en los mapas utilizados o en antecedentes que contribuyen, en conjunto, a arrojar luz sobre las eventuales zonas de sedimentación sobre una base físicamente consistente. Las cuatro zonas de sedimentación establecidas fueron las siguientes:

Sector “La Paz - Canales Binacionales”: Existen terrazas a diferentes alturas a lo largo de su cauce que se van activando con Q crecientes. Presenta un área de 340 Km² de mayor frecuencia de inundación y sedimentación probable de los finos.

I.- Sector “ingreso a los Canales Distribuidores - primer tramo del Canal Tucumancito”: Posee un cauce bien definido con circulación de caudales en aguas bajas a medias. La planicie comprende una extensa zona de bañados con un área de ≈179 Km².

II.- Sector “delta Canal Tucumancito”: Constituye un sistema con varios cursos activos con y sin sedimentos. Se contabilizaron unos 98 Km² de planicie como eventuales zonas de sedimentación.

III.- Sector “zona de obra”: Area de unos 93 Km² de zona de deposición frente a la zona de obra y con un número de cursos menor que los observados en el sector II.

Las crecientes 2001-2002 y 2002-2003, con los espesores de depósitos dejados por ellas en el sector III, se utilizaron para establecer y verificar los criterios de sedimentación en las zonas fijadas. Con los hidrogramas correspondientes y las curvas de transporte ajustadas en La Paz, se determinaron los Gw en esos períodos, para los caudales que pudieron generar desbordes. Se supuso en todos los cálculos que el Gw que va por los cauces del sistema no deposita. Luego, con las condiciones y criterios presentados y, empleando un cálculo de balance, se determinó la deposición diaria del material fino transportado por las crecientes citadas en cada uno de los sectores presentados de llanura aluvial. Se trataba de aproximar los valores de espesores de depósitos observados frente a la zona de obra mediante la suma de todos los espesores diarios dejados por esas crecientes. La aproximación consistía en afectar al Gw calculado que ingresa a cada sector, por juegos de coeficientes (≤ 1), que reducen los depósitos e incrementan la transferencia aguas abajo y seleccionados en función del área de aquellos y de su mayor o menor red de drenaje. Con el siguiente juego de coeficientes seleccionado:

- ❖ La Paz-canales binacionales = 0,30.
- ❖ Sector I = de 0,25.
- ❖ Sector II = 0,10.
- ❖ Sector III = 1.

Se estimó un espesor total medio del depósito de 0,30m en la planicie aluvial frente a la zona de obra, dejado por las dos crecientes mencionadas y en el orden de los observados. Estos coeficientes se utilizaron para establecer qué volumen de carga de lavado que va ingresando a cada sector considerado de llanura aluvial, se deposita a medida que se traslada aguas abajo para un dado “hidrograma sedimentológico”. El depósito en el Sector III permitió definir un espesor medio anual de sedimento en base al cual se fijó la cota de coronamiento del terraplén con un criterio de diseño y vida útil económicamente aceptables.

El “hidrograma sedimentológico” para el diseño se determinó de modo que con él se transporte por lo menos la cantidad de sedimento medio anual para el Pilcomayo de 140 millones ton/año en estación La Paz. De ella, el 90% (126 millones ton/año) es carga de lavado. Ese hidrograma, se obtuvo como promedio de hidrogramas registrados en la serie 1967-2003 que transportaron cantidades del orden de 140 106 ton/año. Con este hidrograma y los coeficientes de ajuste anteriores, se aplicó un procedimiento de cálculo similar al ya explicado a fin de distribuir los 126x106 ton/año de carga de lavado desde La Paz hasta el Sector III. El espesor medio del depósito en este último, frente a El Potrillo, resultó de 0,30 m/año.

Para la estimación del depósito de material grueso y frente a la zona de obra, se utilizó también el “hidrograma sedimentológico” de diseño. La descarga de este tipo de sedimento entre La Paz y la bifurcación de los canales binacionales se consideró en equilibrio (implica un criterio conservativo en el cálculo de la sedimentación aguas abajo). En la bifurcación la cantidad de Gss que se deriva hacia Argentina en situación de desborde, se estimó en base a

procedimiento sugerido por Garde y Raju (1977: p. 359, Figura 13.10). Esa cantidad resultó ser $\approx 40\%$. Según antecedentes y consultas, Paraguay debe dragar permanentemente su canal para atenuar la intensa deposición en la entrada lo cual avala cualitativamente los resultados de la división del transporte. El 40% de Gss se repartió en los 55 Km desde la bifurcación hasta El Potrillo, en base a la sectorización anterior y aplicando la fórmula de Engelund-Hansen (1967) con un criterio de balance. Se supusieron distintas alternativas de deposición en cada sector y la más razonables revelaron un espesor de depósito del material grueso en el cauce frente a El Potrillo de 9 - 10 cm/año.

Cabe destacar por último, con respecto a este punto, que dada la carencia ya señalada de toda información batimétrica en los sectores I y II no fue posible aplicar los métodos clásicos de modelación para determinar la sedimentación en cauce. Ello obligó a diseñar el procedimiento de cálculo explicado que permitió estimar espesores de depósitos de gruesos en el sector III sobre bases físicas razonables.

OBSERVACIONES FINALES

Dados los alcances de este estudio, no fue posible en su momento realizar otros aforos para distintos estados del río a fin de ajustar las estimaciones realizadas. No obstante luego de ejecutada la obra de defensa (septiembre 2004 a julio 2005), se obtuvieron nuevos registros topo-batimétricos en junio de 2010 (Figura 8). En base a ellos se comprobó que la sección de la planicie aluvial frente a El Potrillo se redujo en un 55 a 60 % entre 2003 y 2010, a razón de 0,35 m/año. Esto significa que la vida útil del terraplén no sería mayor a ≈ 10 años, tal como se recomendó en el estudio para un diseño económicamente aceptable. En definitiva, el resultado avala la consistencia de los criterios utilizados, que podrían utilizarse en el proyecto de este tipo de obras en ríos con transporte de sedimento, deposiciones en planicies aluviales extremadamente elevados y con muy escasos datos de partida.

Nótese también en Figura 8 la característica morfológica de río “colgado” del Pilcomayo, típica en la región según lo descrito. Esta singularidad obligaría a monitoreos periódicos del río a fin de detectar con anticipación la posibilidad de procesos avulsivos, que podrían atentar contra la estabilidad del terraplén.

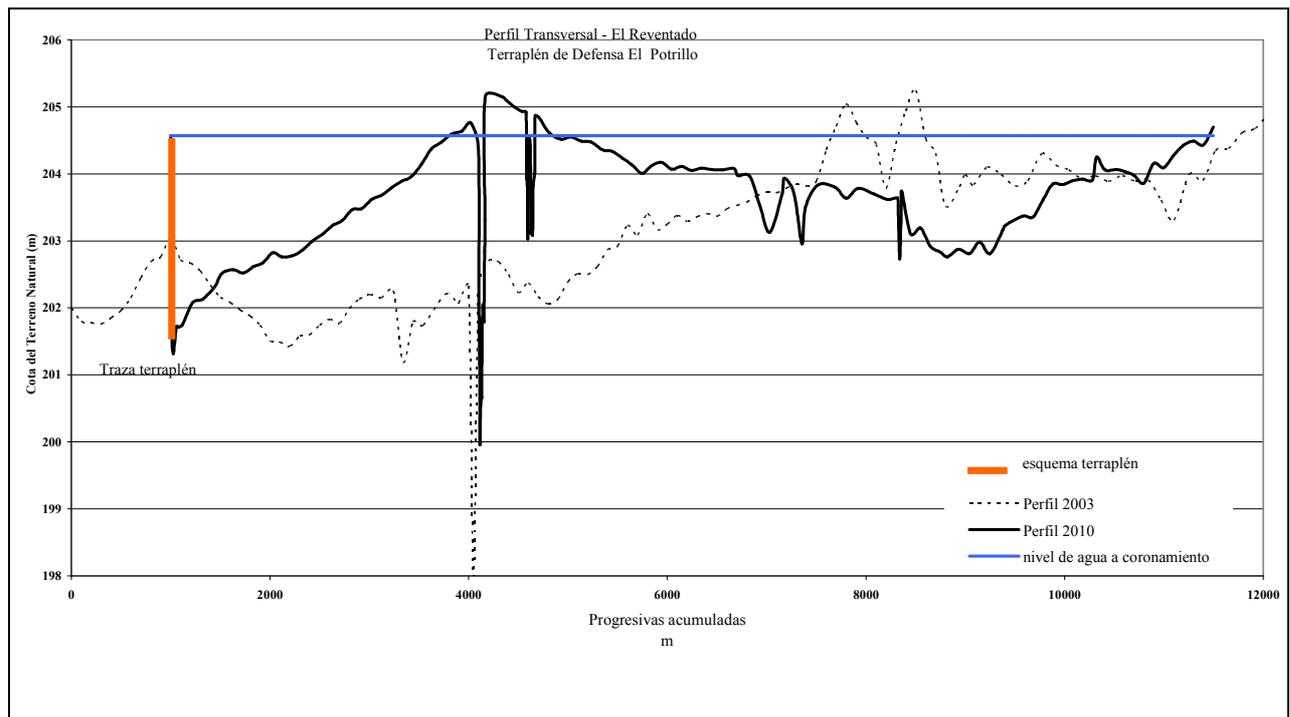


Figura 8: Perfiles transversales de la sección tipo frente a la zona de obra en 2003 (utilizada en las estimaciones descriptas) y en 2010 luego de construido el terraplén de defensa en 2004-2005.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua y Energía Eléctrica** (1987). “Estadísticas hidrológicas hasta 1986”. Sedimentológica - Nivología. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Argentina.
- Amarilla M y Amsler M** (2005). “Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Pilcomayo”. Congreso Nacional del Agua Conagua 2005. Mendoza, Argentina.
- Chow, VT** (1959). “Open-Channel Hydraulics”. Mc Graw-Hill, Kogakuha, Ltd.: 680 p.
- Consejo Federal de Inversiones (CFI)**. (1976). “Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo”. Informe Intermedio. Tomo Resumen.
- 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.
- Garde, R.J. y Raju, K.G.** (1977). “Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems”. Wiley Eastern Ltd.. New Delhi. India: 483p.
- Kodialiani Z. y GeorgusvsKy V. Y** (1993). “Informe técnico Río Pilcomayo”. Dirección Nacional de Recursos Hídricos.

Engelund, F. (1967). "Hydraulic resistance of alluvial streams". Journal of the Hydraulics Division. ASCE. Vol. 93. N° HY4, pp. 287-296.

Engelund, F. y Hansen, E. (1967). "A monograph on sediment transport in alluvial streams". Teknisk Forlag. Copenhagen. Denmark.

Van Rijn, L.C. (1984). "Sediment transport, Part I: Bed load transport". Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 110. N°10, pp 1431-1456.



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



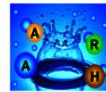
Secretaría del Agua



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 HIDRÁULICA

