

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

María Elizabeth Amarilla⁽¹⁾ y Mario Luis Amsler⁽²⁾

⁽¹⁾ Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional Para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, 03717 434037 (Int.110)

⁽²⁾ Instituto Nacional de Limnología (INALI) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) & Universidad Nacional del Litoral (UNL), Tel.: 0342 4511645/48 (Int. 107)
E-mail: mabelym@yahoo.com, mamsler2003@yahoo.com.ar

Introducción

El río Pilcomayo está afectado por un proceso de colmatación progresiva de sedimentos a lo largo de su cauce natural, involucrando aproximadamente 300 Km, de límite internacional entre Argentina y Paraguay. Estos depósitos son consecuencia de la gran variabilidad de caudales líquidos junto 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.

En este trabajo se presentan parte de los estudios básicos realizados en el proyecto de defensa para la localidad de El Potrillo y su zona de influencia debido a los desbordes del Pilcomayo al noroeste de la provincia de Formosa. El proyecto implica la construcción de un terraplén en forma de semi-anillo tomando como eje central el camino de las localidades de Palmar Largo – El Potrillo, ubicadas en el Departamento de Ramón Lista. 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 criterios y supuestos basados en información recolectada en una campaña a 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

Estudios hidráulicos y sedimentológicos

Utilizando datos observados en estación La Paz (Salta) de caudales, Q y concentraciones (totales en suspensión, C_T , 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: G_T vs Q , G_{ss} vs Q y G_w vs Q . En base a estas curvas esos autores establecieron que los G_T medios anuales para los periodos 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 $100\mu\text{m}$, 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, es necesaria la estimación de 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 frente a El Potrillo. 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. El método de Engelund (1967), seguido por el de Manning 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 disponibles, corroboraron esta suposición.

Para establecer los Q en crecienta sobre llanura aluvial se utilizó el método de Manning para distintos valores del coeficiente n habituales en planicies aluviales. Para verificación se emplearon datos disponibles de una sección transversal frente a El Potrillo (Figura 3), de derivación de Q en crecienta hacia Argentina, caudales en La Paz para la crecienta de 1983-1984 y cotas máximas alcanzadas frente a El Potrillo en base a marcas dejadas en el paisaje (mencionadas en los antecedentes). Esto último permitió también calcular pendientes de pelo de agua que se contrastaron con las predichas por el método. La fracción de Q encauzada en crecienta se determinó con la información mencionada adoptando un coeficiente n apropiado. En base a ello se comprobó que aproximadamente el 80% del Q en La Paz se derivaba hacia Argentina para esos niveles máximos. Para estados intermedios entre el desborde y el $Q_{\text{máx}}$ se consideró una función lineal (se carecía de información al respecto) a fin de establecer los Q derivados hacia nuestro país.

Sedimentaciones frente a la zona de obras

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 G_w anuales en La Paz mencionados más arriba, imágenes satelitales, una planimetría de detalle entre los canales binacionales y El Potrillo, y los espesores aproximados de los depósitos dejados por las crecientes: 2001-2002 y 2002-2003, frente a El Potrillo observados en campo (0,40 – 0,60 m).

En base a la cartografía disponible, se definieron cuatro zonas de trabajo 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 Km^2 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 $\approx 179 \text{ Km}^2$.

II.- Sector “delta Canal Tucumancito”: Constituye un sistema con varios cursos activos con y sin sedimentos. Se contabilizaron unos 98 Km^2 de planicie como eventuales zonas de sedimentación.

III.- Sector “zona de obra”: Área de unos 93 Km^2 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 se determinaron los G_w en La Paz en esos períodos, para los caudales que pudieron generar desbordes. Se supuso en todos los cálculos que el G_w que va por los cauces del sistema no deposita. Luego, con las condiciones y criterios presentados y, empleando un cómputo 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 G_w 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 juego de coeficientes seleccionado se estimó un espesor total medio del depósito de $0,30\text{m}$ 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 cuánto deposita del G_w que ingresa a la llanura aluvial en cada sector, a fin de definir la cota de coronamiento del terraplén de modo de obtener un diseño y vida útil económicamente aceptables.

Para ese diseño, se definió un “hidrograma sedimentológico” que transporte por lo menos la cantidad de sedimento medio anual para el Pilcomayo de 140 millones ton/año, de los cuales 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 $140 \cdot 10^6$ ton/año. Con este hidrograma y los coeficientes de

ajuste anteriores, se aplicó un procedimiento de cálculo similar al explicado a fin de distribuir los $126 \cdot 10^6$ ton/año de carga de lavado desde La Paz hasta el sector III. El espesor medio del depósito frente a El Potrillo resultó de $0,30 \text{ m/año}$.

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 cómputo de la sedimentación aguas abajo). En la bifurcación la cantidad de G_{ss} que se deriva hacia Argentina en situación de desborde, se estimó con el ábaco de Garde y Raju (1977). 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 del ábaco. El 40% de G_{ss} 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 $9 - 10 \text{ cm/año}$.

Conclusiones

Un perfil transversal actualizado de la llanura aluvial frente a El Potrillo, reveló que la sección se redujo en un 55 a 60 % entre 2003 y 2010, a razón de $0,35 \text{ m/año}$. Ello implica la razonabilidad de los criterios anteriores para el diseño de obras de defensa (terraplenes) en ríos como el Pilcomayo y escasos datos de partida.

En tales ríos, con muy elevados transportes de sedimento y consecuentes deposiciones en la planicie, la vida útil de la obra, a considerar, no sería mayor a ≈ 10 años.

Referencias

Amarilla, M. y Amsler, M. (2005). “Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Pilcomayo”. *XX Conagua 2005*. Mendoza.

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 Vorlag*. Copenhagen. Denmark.

Garde, R.J. y Raju, K.G. (1977). *Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems*, Wiley Eastern Ltd., New Dlehi, India, 483p.