

# EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL TRAMO MEDIO DEL RÍO PARANÁ

Juan J. ALARCÓN<sup>(1)</sup>, Ricardo SZUPIANY<sup>(1,2)</sup>, María D. MONTAGNINI<sup>(1)</sup>,  
Horacio GAUDIN<sup>(1,2)</sup>, Héctor H. PRENDES<sup>(1)</sup> y Mario L. AMSLER<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Universidad Nacional del Litoral  
C.C. 217, Santa Fe, Argentina. Fax: (54) (342) 4575224.

E-mail: [mamsler@fich1.unl.edu.ar](mailto:mamsler@fich1.unl.edu.ar), [hprendes@fich1.unl.edu.ar](mailto:hprendes@fich1.unl.edu.ar)

<sup>(2)</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

## Introducción

La magnitud anual del caudal sólido del Río Paraná en su tramo medio ha sido estimada por diversos autores desde hace tiempo (Soldano, 1947; Cotta, 1963; Depetris y Griffin, 1968) pero sin brindar demasiadas especificaciones en relación con los métodos usados para evaluarla y el tipo de sedimento considerado (carga de lavado, carga de fondo, de fondo en suspensión, carga total). Desde 1970 hasta el presente ha crecido la cantidad y calidad de la información disponible como para realizar o efectuar este tipo de cuantificación con un grado de confiabilidad y precisión mayores que los conocidos hasta ese momento. Sin embargo, en las publicaciones disponibles posteriores (revistas especializadas, congresos, libros) no se presentan resultados en este sentido, aunque se ha avanzado en cuanto a este tipo de cuantificaciones (Drago y Amsler, 1988; Amsler y Prendes, 2000, entre otros).

En esta contribución, se brinda una evaluación detallada del transporte total de sedimentos en el Tramo Medio del Río Paraná, discriminando entre la fracción fina (carga de lavado) y el material proveniente del fondo del cauce. Se han utilizado, en el primer caso, datos medidos de concentraciones y caudales en los principales tributarios del tramo medio obtenidos entre 1990 y 1999. Se plantea luego una discusión sobre el balance entre la carga de lavado que ingresa al tramo medio y la que se mide inmediatamente aguas arriba de la ciudad de Paraná.

En el caso del sedimento de fondo, las evaluaciones se efectúan en un tramo localizado entre la localidad de Villa Urquiza y el Túnel Subfluvial Hernandarias, utilizando fórmulas calibradas en la FICH para el Río Paraná en base a datos observados de este tipo de material.

## Aspectos metodológicos

Para la cuantificación del transporte anual de la carga de lavado, se dispuso de datos de aforos sólidos y líquidos realizados entre enero de 1990 y enero de 1999 en las siguientes secciones transversales: El Colorado (río Bermejo), Puerto Pilcomayo (río Paraguay), Itatí (río Alto Paraná), y Túnel Subfluvial "Hernandarias" (río Paraná Medio). En las secciones de aforos sólidos estaba discriminada la concentración media de carga de lavado (limo y arcilla) y la correspondiente de arena en suspensión. A ello se agregaron alturas hidrométricas diarias en cada uno de los hidrómetros correspondientes a esas secciones.

Con esa información se ajustaron curvas de descarga ( $H-Q$ :  $H$ , altura hidrométrica;  $Q$ , caudal líquido) y curvas de transporte sólido ( $Q-G_w$ :  $G_w$ , caudal de carga de lavado en la sección, en [ton/día]). Cabe destacar, con referencia a estas últimas relaciones, que en la sección de Itatí fue necesario agrupar los datos con un criterio estacional para obtener ajustes estadísticamente consistentes. Por su parte, en la sección Túnel Subfluvial se diseñó un procedimiento para tener en cuenta el retraso de las

concentraciones máximas de carga de lavado con respecto a los caudales líquidos (Drago y Amsler, 1988) en los períodos de mayores aportes, lo cual permitió mejorar sustancialmente el ajuste  $Q-G_w$ . Con estas herramientas fue posible determinar para cada día de cada año los  $G_w$  correspondientes y luego las cantidades anuales de esta fracción del transporte total. En la sección de Puerto Pilcomayo no fue factible obtener una relación estadísticamente consistente entre  $G_w$  y  $Q$ , por lo que no se pudieron aplicar aquí los criterios anteriores para establecer los transportes anuales respectivos.

En lo concerniente al transporte del material del lecho, se utilizaron dos fórmulas para evaluarlo: la de Engelund-Fredsøe (1976) para la carga de fondo ( $G_{sf}$ ), y la de Engelund-Hansen (1967) para el transporte total de sedimento de fondo ( $G_s$ ). Por diferencia se obtiene el transporte de arena en suspensión ( $G_{ss}$ ). Ambas fórmulas fueron calibradas para el río Paraná en su tramo medio en base a mediciones realizadas en su curso (Amsler y Prendes, 2000). Estas expresiones fueron aplicadas en el tramo comprendido entre Villa Urquiza (km 619) y Túnel Subfluvial (km 603), donde se cuenta con toda la información necesaria para ello: anchos y profundidades medias, distribuciones granométricas promedio del sedimento de fondo, pendientes de la superficie de agua para todos los estados del río y la curva de descarga mencionada en la sección del Túnel. Procediendo de manera similar a la indicada para  $G_w$ , se calcularon los valores diarios de  $G_{sf}$ ,  $G_s$  y  $G_{ss}$ , y luego las cantidades anuales transportadas.

## Resultados

### *Carga de lavado.*

En Fig. 1 se presenta la evolución de  $G_w$  en todas las secciones de medición entre 1993 y 1999. Las líneas uniendo los puntos datos en varias de las secciones se han dibujado al solo efecto de mostrar las tendencias. En Tabla 1, a su vez, se han agrupado los promedios de transporte de carga de lavado respectivos en los períodos de medición consignados. En relación con Puerto Pilcomayo, se optó por obtener un promedio general de los 50 datos disponibles entre 1993 y 1999, que resultó ser de: 14 010 ton/día (mín: 4 916 ton/día; máx: 36 730 ton/día;  $\sigma_{n-1}$ : 5 965 ton/día). De aquí resulta que el río Paraguay, aguas arriba de la desembocadura del Bermejo, transporta 5 113 650 ton/año de carga de lavado.

### *Sedimento de fondo.*

En Tabla 2 se ofrecen los resultados de los transportes anuales de sedimento de fondo en sus distintas modalidades: carga de fondo, en suspensión y total, y las proporciones entre  $G_{sf}/G_{ss}$  y  $G_{sf}/G_s$ .

### *Transporte total de sedimento en la sección del Túnel.*

Finalmente, en Tabla 3 se pueden apreciar los valores anuales de  $G_w$ ,  $G_s$ , y el transporte total de sedimento,  $G_T$ , en el río Paraná a la altura del Túnel Subfluvial entre 1991 y 1998, junto con los promedios correspondientes.

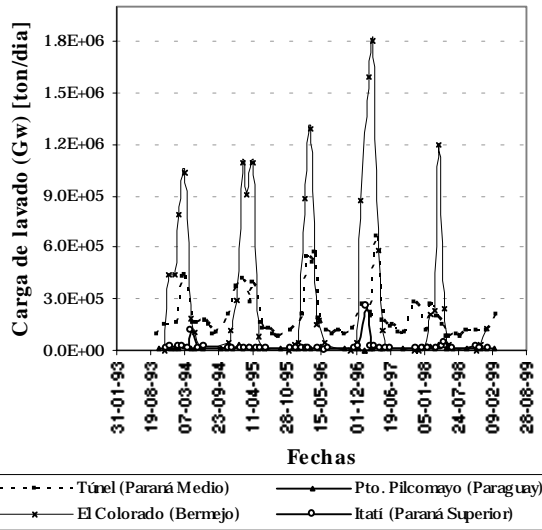


Figura 1.- Hidrograma de la carga de lavado en las secciones transversales de medición.

Tabla 1.- Transporte anual medio de carga de lavado en las secciones de medición. (Período: 1990-1998).

AÑO	G <sub>w</sub> (ton/año)		
	El Colorado	Itatí	Túnel
Promedio	109 249 718	4 563 208	91 090 180

Tabla 2.- Transporte de material de fondo en el tramo Villa Urquiza-Túnel

AÑO	G <sub>sf</sub> (ton/año)	G <sub>ss</sub> (ton/año)	G <sub>s</sub> (ton/año)	G <sub>sf</sub> /G <sub>ss</sub> (%)	G <sub>sf</sub> /G <sub>s</sub> (%)
1976	2284966	21537495	23822460	10.61	9.59
1977	1968571	19979199	21947770	9.85	8.97
1978	1533937	15152869	16686806	10.12	9.19
1979	1961303	20281413	22242715	9.67	8.82
1980	2225220	22776214	25001434	9.77	8.90
Promedio parcial	1994799	19945438	21940237	10.01	9.09
1981	1871644	18747437	20619081	9.98	9.08
1982	2845895	28572857	31418752	9.96	9.06
1983	4930831	53106387	58037219	9.28	8.50
1984	2326337	23181216	25507553	10.04	9.12
1985	2403091	23879405	26282496	10.06	9.14
1986	2182363	20865769	23048132	10.46	9.47
1987	2180932	21844020	24024952	9.98	9.08
1988	1958831	19170682	21129512	10.22	9.27
1989	2388050	23137381	25525430	10.32	9.36
1990	2595000	26151649	28746649	9.92	9.03
Promedio parcial	2568297	25865680	28433978	10.02	9.11
1991	1506433	16654017	18160450	9.05	8.30
1992	2398570	26654725	29053295	9.00	8.26
1993	1757595	19652949	21410544	8.94	8.21
1994	1551167	17301689	18852855	8.97	8.23
1995	1757832	19377670	21135502	9.07	8.32
1996	1589881	17489213	19079094	9.09	8.33
1997	2047300	22713287	24760586	9.01	8.27
1998	2852396	31148866	34001262	9.16	8.39
Promedio parcial	1932647	21374052	23306699	9.04	8.29
Promedio general	2222528	23016366	25238893	9.68	8.82

Tabla 3.- Transportes medios anuales en el Túnel

AÑO	G <sub>w</sub> (ton/año)	G <sub>s</sub> (ton/año)	G <sub>T</sub> (ton/año)	G <sub>w</sub> /G <sub>T</sub> (%)
1991	187 789 960	18 160 450	205 950 410	91.18
1992	97 109 567	29 053 295	126 162 862	76.97
1993	68 647 997	21 410 544	90 058 541	76.23
1994	74 873 099	18 852 855	93 725 954	79.89
1995	76 154 409	21 135 502	97 289 911	78.28
1996	79 157 777	19 079 094	98 236 871	80.58
1997	87 130 865	24 760 586	111 891 451	77.87
1998	57 857 763	34 001 262	91 859 025	62.99
Promedio	91 090 180	23 306 699	114 396 878	78.00

**Discusión y conclusiones.**

- a) La conocida influencia del río Bermejo en la carga de lavado en el río Paraná Medio está claramente evidenciada en Fig. 1 y Tabla 1. Si se tiene en cuenta que el G<sub>w</sub> en el Túnel es alrededor de un 83% del total, ya que el resto se deriva por el complejo Leyes-Setúbal y el río Colastiné, el transporte total de carga de lavado en el Paraná a la altura de esta sección es de 110 E+06 ton/año.
- b) Teniendo en cuenta esta última cifra y el G<sub>w</sub> promedio a la entrada del tramo medio (~119 E+06 ton/año), la diferencia está en el orden del error de los métodos utilizados para estimarla (aproximadamente 20% para grandes cuencas; Walling, 1977).
- c) El transporte total medio anual de material de fondo, G<sub>s</sub>, es un 18% (25 E+06 ton/año) del transporte total de sedimento del río Paraná a la altura del Túnel (135 E+06 ton/año), mientras que la carga de fondo, G<sub>sf</sub>, representa un 9% de G<sub>s</sub>.

**Referencias Bibliográficas**

Amsler, M.L. y Prendes, H.H. (2000). "Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados" (Capítulo 5: 233-306), en: *El Río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura, Tomo 1, Centro de Publicaciones, U.N.L., Santa Fe, Argentina.*

Cotta, R. (1963). "Influencia sobre el Río Paraná del material sólido transportado por el Río Bermejo". *Comisión Nacional del Río Bermejo.* Publ. No. 92 EH.

Depetris, P.J. y Griffin, J.J. (1968). "Suspended load in the Río de La Plata drainage basin", *Sedimentology*, Vol. 11, No. 1/2, pp. 53-60.

Drago, E.C. y Amsler, M.L. (1988). "Suspended sediment at a cross section of the Middle Paraná River: concentration, granulometry and influence of the main tributaries", *Sediment Budgets*, IAHS Publ. No. 174, pp. 381-396.

Engelund, F. y Fredsøe, J. (1976). "A sediment transport model for straight alluvial channels". *Nordic Hydrology*, Vol. 7, pp. 293-306.

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

Soldano, F. (1947). *Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina, Cimera, Buenos Aires, Argentina.*

Walling, D.E. (1977). "Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers". *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters.* IAHS Publ. No. 122.