



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS
SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
REPÚBLICA ARGENTINA

**PROYECTO “SIMULACIÓN Y PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO
DEL FRENTE DEL DELTA DEL RÍO PARANÁ”**

**PROYECTO
PICT 9351 BID 1201/OC-AR**

DELTA DEL PARANÁ: BALANCE DE SEDIMENTOS



Proyecto LHA 235
Informe LHA 02-235-04
Ezeiza, Junio de 2004

LABORATORIO DE HIDRÁULICA

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE:

Ing. Oscar V. LICO

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS:

Dr. Raúl A. LOPARDO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA:

Ing. Julio C. DE LÍO

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL:

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

INFORME PRODUCIDO POR

Sr. Alejo SARUBBI

Ing. Marcos G. PITTAU

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 DESCRIPCIÓN DE ANTECEDENTES	
2.1 EL LARGO CAMINO DE LOS SEDIMENTOS: Consideraciones Previas	4
2.2 RÍO BERMEJO: El Tributario de Mayor Incidencia	
2.2.1 CARACTERIZACIÓN.....	5
2.2.2 CARGA SÓLIDA.....	6
2.3 RÍO PARAGUAY: El Nexo entre el Bermejo y el Paraná	
2.3.1 CARACTERIZACIÓN.....	8
2.3.2 CARGA SÓLIDA.....	9
2.4 RÍO PARANÁ: El Gran Protagonista	
2.4.1 CARACTERIZACIÓN.....	9
2.4.2 CARGA EN SUSPENSIÓN	11
2.4.2.1 CONCENTRACIONES.....	17
2.4.2.2 GRANULOMETRÍA.....	20
2.4.2.3 MINERALOGÍA.....	22
2.4.3 CARGA DE FONDO	24
3 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	
3.1 INFLUENCIA DE LOS TRIBUTARIOS DEL RÍO PARANÁ	25
3.2 TRANSPORTE DE SÓLIDOS DEL RÍO PARANÁ	
3.2.1 CARGA EN SUSPENSIÓN	31
3.2.2 CARGA DE FONDO	34
4 BALANCE DE SEDIMENTOS	
4.1 VALORES REPRESENTATIVOS A ADOPTAR	36
4.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA	38
5 CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	42

FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Delta del Río Paraná y estuario del Río de la Plata

Figura 2: Vista aérea del Delta del Río Paraná

Figura 3: Carga suspendida anual del Río Paraná, antes y después de la construcción de la presa de Itaipú (EVARSA et al. 2002)

Figura 4: Balance de sólidos totales en suspensión (valores en millones de toneladas anuales)

Tabla 1: Carga en suspensión del Río Paraná de acuerdo a mediciones realizadas por el INALI (Drago & Amsler 1988)

Tabla 2: Concentración de carga de lavado del Río Paraná según mediciones realizadas por el INALI (Amsler 1995)

Tabla 3: Gasto sólido en suspensión a lo largo de todo el sistema (Brea et al. 1999)

Tabla 4: Carga suspendida del Paraná para distintas secciones a lo largo del río

Tabla 5: Concentración de sedimentos suspendidos en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

Tabla 6: Concentración de carga de lavado en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler 1995)

Tabla 7: Concentración de carga suspendida del Paraná para distintas secciones a lo largo del río

Tabla 8: Clasificación granulométrica de los sedimentos que transporta un río

Tabla 9: Composición granulométrica de la carga suspendida del Paraná (Orfeo 1995)

Tabla 10: Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler & Drago 1984)

Tabla 11: Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla del Paraná medio para el período octubre 1976 - diciembre 1977 (Amsler & Drago 1984)

Tabla 12: Composición granulométrica de la carga suspendida del Paraná (Orfeo 1995)

Tabla 13: Gasto sólido en suspensión a lo largo de todo el sistema (Brea et al. 1999)

Tabla 14: Concentración promedio de sedimentos suspendidos totales en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

Tabla 15: Transporte de sedimentos suspendidos totales en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

Tabla 16: Transporte de sedimentos suspendidos totales en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler & Drago 1988)

Tabla 17: Concentración de carga de lavado en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler 1995)

Tabla 18: Carga total en suspensión del Río Paraná de acuerdo al tamaño de las partículas

Tabla 19: Transporte de arenas del Río Paraná

Tabla 20: Transporte de sedimentos del Río Paraná de acuerdo al tamaño de las partículas

Tabla 21: Composición de la carga sólida del Río Paraná

Tabla 22: Composición de la carga suspendida total del Río Paraná

Tabla 23: Carga de lavado del Río Paraná

1 INTRODUCCIÓN

Los ríos erosionan el terreno de varias formas. El agua disuelve ciertos minerales de las rocas, y a su vez, cuando entra en las grietas de las mismas, desprende fragmentos de piedra, que arrastra y sigue desmenuzando a lo largo del curso de la corriente. Todos estos materiales disgregados acaban por depositarse aguas abajo.

El curso superior de un río es un torrente que baja a gran velocidad (dada la gran pendiente) entre montañas, salpicando y burbujeando el lecho de piedras. Toda la energía del río se emplea en erosionar y abrir el valle que adquiere por eso perfil profundo, estrecho y en forma de “V”. El río joven es fácilmente desviado por todo tipo de obstáculos, por lo que sigue un curso sinuoso.

En su curso medio, el río aún sigue erosionando el valle, pero la pendiente es menos pronunciada y el agua desgasta más la orilla que el fondo. Los meandros son más abiertos porque la corriente es más fuerte por su lado exterior.

El curso bajo del río transcurre sobre una llanura aluvial con muy poca pendiente, sobre la que describe amplios meandros o curvas. A veces el río corta directamente el cuello de uno de estos meandros y deja una laguna o brazo muerto. En esta parte del curso hay muy poca erosión, porque el agua emplea casi toda su energía en transportar los materiales que va depositando en el lecho. Cuando el río se inunda parte de esta carga se distribuye por la llanura, que queda así cubierta de un fango de aluvión muy fértil. El resto de los materiales arrastrados por el río se depositan en la desembocadura (del océano, mar o laguna) en forma de estuario o en forma de delta.

El estuario se puede definir como un cuerpo de agua costero semi-cerrado que tiene una conexión libre con el mar abierto al menos en forma intermitente, y dentro del cual la salinidad es mensurablemente diferente de la salinidad del mar abierto adyacente. (UNESCO)



Figura 1: Delta del Río Paraná y estuario del Río de la Plata

El delta de un río se forma cuando el material sedimentario transportado por el curso de agua se deposita en la desembocadura debido a una disminución de la velocidad de la corriente. (UNESCO)

El Delta del Paraná presenta una superficie de 14.000 km² (1.400.000 ha) que lo ubica en Sudamérica como el tercer delta en importancia luego de los del Amazonas y del Orinoco (20.000 km²). Posee una longitud de 320 km y un ancho muy variable, que va desde 18 km frente a Baradero hasta más de 60 entre los Ríos Luján (Buenos Aires) y Gutiérrez (Entre Ríos). (<http://www.lahueya.com.ar/index/parques/deltadelparana.htm>)

Luego de recorrer en toda su longitud un terreno de suave pendiente, las aguas se vuelcan a través de catorce bocas, entre las que se destacan, de norte a sur:

- Río Paranacito
- Arroyo Martínez
- Arroyo de La Tinta
- Arroyo Brazo Largo
- Río Gutiérrez
- Río Paraná Bravo
- Río Sauce
- **Río Paraná Guazú**
- Río Barca Grande
- Río Paraná Miní
- **Río Paraná de las Palmas**
- Río Luján

La compleja red hídrica definida por el delta, está sometida a periódicas inundaciones, de mayor o menor magnitud, que tienen a veces graves consecuencias para la población, pero que funcionan como reguladores naturales de la vida silvestre (transportando nutrientes, semillas, plantas y animales) y como agente modelador del paisaje. Las precipitaciones varían entre 1.600 y 2.000 mm distribuidas en todo el año. (<http://www.lahueya.com.ar/index/parques/deltadelparana.htm>)

El Delta del Paraná, desde Diamante hasta su desembocadura se divide en tres grandes regiones:

- **Delta Superior** (desde Diamante, Entre Ríos, hasta Villa Constitución, Santa Fe)
- **Delta Medio** (desde Villa Constitución hasta Ibicuy, Entre Ríos)
- **Delta Inferior ó en formación** (desde Ibicuy hasta la desembocadura)

Cada una de estas regiones presenta diferencias basadas en su historia y evolución geológica, que se ven reflejadas también en el tipo de vegetación que cada una sustenta. De esta manera, las islas del Delta Inferior son las más altas y poseen la forma de una

"palangana" o "plato hondo", con las márgenes elevadas (los albardones) cubiertos de bosques, sólo alcanzado por las grandes y breves crecidas, y con un interior bajo, pantanoso, con aguas estancadas, ocupado mayormente por el pajonal. En el Delta Medio y Superior, las islas son distintas, más planas y surcadas por madrejones, lagunas, albardones y médanos fijos, que tienen un sentido paralelo a los grandes cursos de agua. (<http://www.lahueya.com.ar/index/parques/deltadelparana.htm>)

A partir de la ciudad de Diamante, en su tramo inferior, el Paraná ofrece un magnífico motivo de asombro: un delta vivo de 14.000 km², originado por la deposición de sedimentos provenientes de toda la cuenca del Plata. La carga de sedimentos en suspensión sorprende por su magnitud: más de 100 millones de toneladas por año, que son en su mayor parte aportadas por el Río Bermejo y que determinan el permanente “**avance**” del delta. En la actualidad es posible distinguir dos frentes principales de avance, uno en torno al Paraná Guazú y otro asociado al Paraná de las Palmas. Para el primero las tasas de avance están comprendidas entre 0 y 25 m/año, mientras que para el Paraná de las Palmas se llegan a valores entre 50 y 100 m/año. (Pittau et al. 2003)



Figura 2: Vista aérea del Delta del Río Paraná

De lo expuesto anteriormente se desprende la importancia de conocer el balance sedimentario del sistema Paraná-Paraguay para poder entender así el comportamiento del delta.

2 DESCRIPCIÓN DE ANTECEDENTES

2.1 EL LARGO CAMINO DE LOS SEDIMENTOS: Consideraciones Previas

Parte de los sedimentos transportados por el Paraná son depositados en el delta que el mencionado río forma en su desembocadura con el Río de la Plata. Dichos sólidos se depositan luego de haber recorrido los distintos caminos definidos por la gran cantidad de ríos que el Paraná recibe en todo su recorrido.

De todos estos afluentes los más importantes son los siguientes: Río Paraguay, Iguazú, Salado del norte, Carcarañá, Arroyo del medio, Arrecifes, etc. Todos ellos, al desembocar en el Paraná, incorporan a este el material sólido que transportaban desde sus orígenes. Sin embargo, de todos los tributarios mencionados, sólo uno de ellos puede considerarse de relevancia respecto al aporte sólido: el Río Paraguay. Este último recibe en su tramo final a dos ríos muy conocidos: el Pilcomayo y el Bermejo. De estos dos, el segundo, es el que tiene la mayor influencia en la carga sólida del Paraguay y consecuentemente en la del Río Paraná. Prácticamente se puede decir que los sólidos transportados por el Río Paraná provienen de su propio cauce y del aporte sedimentario del Río Paraguay. Como se dijo, la carga de este último viene dado en su gran mayoría por la del Bermejo. De esta forma quedan definidos los actores principales del sistema: el **Río Bermejo**, el **Río Paraguay**, y por supuesto, el **Río Paraná**.

La forma en que son transportados los sedimentos da lugar a que la carga sólida de un curso de agua pueda dividirse básicamente en dos partes, la carga de fondo y la carga en suspensión:

- a) La **carga de fondo ó de arrastre** está conformada por los granos que se desplazan en contacto permanente con el lecho. Dicho desplazamiento puede ser por deslizamiento, rodamiento o saltación. En general viene dada por las partículas más gruesas.
- b) La **carga en suspensión ó en suspensión total** está conformada por las partículas que no se desplazan en contacto permanente con el lecho. Puede subdividirse a su vez en carga de lavado y carga de material de fondo en suspensión.
 - i) La **carga de material de fondo en suspensión** está conformada por los granos que se desplazan en el seno del flujo y que en ciertos instantes tienen contacto con el lecho. En general viene dada por las distintas variedades de arenas.
 - ii) La **carga de lavado, foránea ó en suspensión prolongada** está conformada por los granos que se desplazan en el seno del flujo y que nunca tienen contacto con el lecho. Está formada por los materiales más finos (limos y arcillas) y su comportamiento responde a fuerzas electroquímicas.

Resumiendo se tiene que:

Carga Sólida Total = Carga de Fondo + Carga en Suspensión

Carga en Suspensión = Carga de Lavado + Material de Fondo en Suspensión

Las cargas de arrastre y de material de fondo en suspensión están formadas por el material del lecho ó cauce, mientras que la carga de lavado está formada por el material

proveniente de la erosión de suelos, es decir que está dada como resultado de la erosión sobre la superficie de la cuenca imbrífera.

La concentración de la carga de lavado está determinada por la cantidad aportada a la corriente y no por la capacidad de esta para transportarla. En cambio la concentración del material del lecho que se transporta en suspensión está fijada por las fuerzas capaces de moverla.

2.2 RÍO BERMEJO: El Tributario de Mayor Incidencia

2.2.1 CARACTERIZACIÓN

El territorio cuyas aguas afluyen a un río determina la cuenca de este último. En particular, la cuenca del Río Bermejo abarca una superficie aproximada de 133.000 km² desarrollándose sus nacientes en las provincias argentinas de Salta y Jujuy y en el departamento de Tarija, en la República de Bolivia. En efecto, la cuenca tiene sus cabeceras en la cordillera oriental de Bolivia y los cauces que descienden de la sierra Santa Victoria, ocupando la porción NE del territorio argentino y SE boliviano. (Brea et al. 1996)

De la superficie total, aproximadamente 50.000 km² constituyen la parte hidrológicamente activa, llamada **alta cuenca o cuenca superior**, con cursos de agua de características de montaña. Está situada en el extremo NO de Argentina y extremo SSE de Bolivia. Tiene forma de elipse orientada de norte a sur, de 430 km de largo y 170 km de ancho medido en la latitud de la junta de San Francisco. A continuación se desarrollan las **cuencas media y baja** (llamadas también en su conjunto **cuenca inferior**), en la zona limítrofe entre las provincias de Chaco y Formosa, como un corredor con dirección NO/SE de unos 90 km de ancho, con características de llanura hasta la desembocadura del Río Paraguay. (Brea et al. 1996)

La **alta cuenca** es una zona montañosa con cauces y divisorias perfectamente definidas y de fuertes pendientes (puna, cordillera oriental y sierras subandinas). Los ríos corren entre barrancas altas, que en algunos casos pueden alcanzar los 60 m, de formación estratificada areno-arcillosa, asentadas sobre capas de arenisca poco compacta de fácil erosión. (Brea et al. 1996)

Es en la alta cuenca donde el Bermejo posee dos grandes fuentes de aporte de sedimento:

- La **Subcuenca Bermejo Superior**, con los afluentes Iruya y Pescado, la cual aporta al Bermejo entre el 70-80% del material sólido que transporta aguas abajo.
- La **Subcuenca San Francisco**, con los grandes afluentes San Francisco y Grande de Tarija, que aportan el 20-30% restante del material sólido. (Brea et al. 1995)

Las **cuencas media y baja** no constituyen áreas de aporte, sino por el contrario se producen pérdidas por infiltración, evaporación y desbordes en los picos de crecida hacia zonas bajas aledañas. (Brea et al. 1996)

Desde el punto de vista hidrológico, puede decirse que la cuenca del Bermejo presenta un prolongado período de recesión y otro muy acotado de elevados caudales provenientes de las intensas lluvias del período estival. En efecto, el período de altos caudales para el Río Bermejo corresponde a los meses del verano, y culmina en febrero-marzo, cuando ocurren las

máximas precipitaciones. El período de estiaje es de abril a octubre, con valores mínimos generalmente en este último mes. (Brea et al. 1996)

Teniendo en cuenta los aforos disponibles resulta que el caudal medio anual aguas abajo de la confluencia con el San Francisco es de unos 400 m³/s, mientras que el caudal máximo supera los 500 m³/s. Para el período 1968-1977, en la sección “El Colorado”, el derrame anual medio se estimó en unos 11.000 hm³. (Orfeo 1995)

Desde el punto de vista de la identificación del riesgo hídrico superficial, puede decirse que en la cuenca media el río no recibe aportes laterales significativos, siendo en cambio frecuentes los desbordes del cauce principal en épocas de crecidas. En tiempos de estiaje el curso recibe aportes de aguas subterráneas. En la cuenca baja, el río corre entre altas barrancas, no verificándose en general desbordes laterales. (Brea et al. 1996)

De acuerdo a los distintos antecedentes la pendiente media del cauce principal, que en la última parte de la cuenca alta es mayor a 1%, se reduce a menos del 0,24 ‰ en la cuenca inferior. Dicho cambio se da a lo largo de toda la longitud del Bermejo, la que se estima en aproximadamente 1.060 km. En particular para la zona de la confluencia con el Paraguay, el ancho medio del río es de unos 250 m, variando entre 150 y 400 m. (Orfeo 1995)

El tamaño del material del lecho va disminuyendo a medida que el Bermejo se aproxima a la desembocadura con el Paraguay, pasando de arenas a arcillas y limos (en especial este último). En efecto, en base a mediciones realizadas, se observa que en la zona de “El algarrobal”, Chaco, el lecho está conformado por arenas, de diámetro medio (d_{50}) de 210 μm , con ausencia de limos y arcillas. Ya en “San Camilo”, Formosa, se observa la presencia de partes iguales de fracción fina y gruesa, ubicándose el d_{50} en 63 μm , prácticamente el límite entre limos y arenas. En “Lucio Mansilla” (Puerto Vélaz), Formosa, la muestra de fondo arrojó un d_{50} de 35 μm , conteniendo un 20% de arenas y un 80% de fracción fina. (Brea et al. 1996)

En cuanto al material de las márgenes, las distintas muestras tomadas marcan un claro predominio de finos, con diámetros medios menores que los del lecho. Los d_{50} obtenidos fueron de 4,5 μm en “Fortín Belgrano”, Salta, 5 μm en “Puerto Lavalle”, Chaco y de 7,5 μm en “El Colorado”, Formosa. (Brea et al. 1996)

Todo esto deja a la luz el tipo de material predominante que transporta el Bermejo: **limos y arcillas** (en particular el primero).

El comportamiento morfológico de un río con alta proporción de transporte de limos y arcillas, debe ser distinto a otro cuyo transporte este dado básicamente por partículas de arena y tamaños mayores, ya que ambos tipos de sedimento tienen diferencias significativas en sus propiedades. En general, la forma de los canales, está relacionada con el tamaño del sedimento transportado. Así, sedimentos gruesos producen canales con una relación ancho-profundidad grande, mientras que sedimentos finos, producen secciones transversales más angostas y profundas. (Brea et al. 1996)

2.2.2 CARGA SÓLIDA

La mayor parte de los sedimentos del Río Bermejo son transportados en **suspensión** y es este tipo de carga la que tiene una significativa influencia con la correspondiente a la del Río Paraná. En cuanto a la carga de fondo ó arrastre, prácticamente no hay información alguna, aunque podemos afirmar que la misma es despreciable frente a la carga en suspensión.

Esta última está conformada en su gran mayoría por material fino. En efecto, desde que se computa la fracción fina y gruesa de los sedimentos suspendidos (1993), se observa en la estación “Pozo Sarmiento” una altísima variación de las proporciones de ambas fracciones. Para aguas altas (sobre 72 datos), se tiene en promedio un 77% de finos y un 23% de gruesos, mientras que para aguas bajas (22 datos), los porcentajes son del 73% y 27%, respectivamente. Pese a la dispersión, a partir de dichos promedios se observa un aumento del porcentaje de la fracción gruesa con respecto a la fina en aguas bajas, lo que indica la asociación directa entre la carga de lavado y la alta pluviosidad en la cuenca. (Brea et al. 1999)

En la cuenca inferior del Río Bermejo, la única estación de aforos operativa es la ubicada en “El Colorado”, Formosa. Allí la proporción de arena en suspensión varía entre un 10 y un 20%, en promedio, de la carga total suspendida. La fracción fina está fundamentalmente compuesta por limos. (Brea et al. 1999)

En correspondencia con la desembocadura del Río Bermejo en el Río Paraguay, la particulometría de los sólidos suspendidos viene dada en la siguiente proporción: limos 66%, arcillas 27% y arenas 7%. (Orfeo 1995) En dicha zona se verifica la existencia de un banco de arena, que constituye un paso de navegación llamado Paso Desembocadura Río Bermejo.

De acuerdo a Halcrow & Partners (1973), si bien la concentración de arenas en suspensión en el Bermejo es muy reducida si se la compara con la de limos, no obstante constituye la mayor concentración de arena encontrada en cualquier estación del Río Paraguay hacia aguas arriba. Esto está indicando que la participación de la arena aportada por el Bermejo es altamente significativa en la sedimentación del citado paso. Como consecuencia, puede afirmarse que aguas abajo de dicho paso, de las arenas en suspensión aportadas por el Bermejo, sólo queda una pequeña proporción. (Brea et al. 1996)

En referencia a la cuantificación de la carga suspendida, la misma varía principalmente según el período que comprendan los aforos líquidos y sólidos considerados. De esta forma, Brea et al. (1999) cuantificaron la carga en suspensión de tres maneras distintas:

1. Considerando toda la serie de datos disponibles. (registro histórico)
2. Mediante la recopilación de aforos líquidos y sólidos provistos por EVARSA.
3. Utilizando las mediciones de caudales medios mensuales según el último anuario hidrológico de EVARSA (1994) y determinando el caudal sólido total en suspensión mediante las relaciones entre el caudal líquido (**Ql**) y el caudal sólido (**Qs**) obtenidas de los aforos.

En el primer caso la carga en suspensión del Bermejo resultó ser de aproximadamente **90.000.000** de toneladas anuales, de los cuales **70.000.000** de toneladas (75%) fueron aportadas por la subcuenca Bermejo Superior (Iruya y Pescado) y los restantes **20.000.000** (25%) por la subcuenca San Francisco. En el segundo caso, donde los aforos sólidos contemplan el período 1993-1998, el valor resultante fue de unos **100.000.000** de toneladas anuales. De la última forma, donde se analizó el período 1969-1989, la carga suspendida resultó ser de unos **107.000.000** de toneladas anuales.

En la sección “Zanja del Tigre” (subcuenca Bermejo Superior), el valor de la carga en suspensión varió entre 15,1 y 175,7 millones de toneladas anuales. El valor medio fue de **71.000.000** de toneladas anuales. (Orfeo 1995)

En época de crecida, la concentración de los sólidos suspendidos puede llegar a ser muy alta. En efecto, para el período Diciembre-Mayo de los años comprendidos entre 1971 y 1974, el valor de concentración promedio alcanzó los 6.500 mg/l. (Drago & Amsler 1988)

La mineralogía de la fracción arcilla transportada por el Bermejo en las inmediaciones de su desembocadura con el Paraguay, presenta un marcado dominio de illita (60%) y en menor medida esmectitas (25%) y caolinita (15%). (Orfeo 1995) La predominancia de illita se atribuye a la erosión procedente de los terrenos áridos y semiáridos, típicos de los ambientes andinos. (Bertoldi de Pomar 1984)

2.3 RÍO PARAGUAY: El Nexo entre el Bermejo y el Paraná

2.3.1 CARACTERIZACIÓN

El Río Paraguay nace en la región central del Estado de Mato Grosso (Brasil) y desemboca en el Río Paraná, luego de recorrer unos 2.600 km.

Su cuenca, de 1.095.000 km² de superficie, corresponde en una tercera parte a Brasil, una fracción similar al Paraguay y el resto, en porciones aproximadamente iguales, a la Argentina y Bolivia. (Orfeo 1995)

En la porción superior de la cuenca sus márgenes son bajas e inundables, presentando una zona de expansión denominada “Pantanal”. Se trata de un extenso lecho mayor de 60.000 km² de superficie, periódicamente cubierto por aguas. Entre el Pantanal y la desembocadura, la pendiente media es de 0,037 m/km. (Orfeo 1995)

Una vez que recibe al Bermejo, el lecho del Río Paraguay se caracteriza por su movilidad. Esta es producida por la importante descarga sólida suspendida del mencionado afluente y pérdida de competencia del canal colector. (Orfeo 1995)

Dicha disminución de la capacidad de carga del Río Paraguay, se debe al remanso hidrodinámico que producen los mayores caudales del Río Paraná, provocando reducción de velocidad desde la zona de confluencia hasta más de 340 km aguas arriba. (Orfeo 1995)

De acuerdo a aforos líquidos del período 1910-1990, se obtuvo para la sección “Puerto Bermejo”, un caudal medio anual de 3.700 m³/s. Para esa misma sección (es decir después de recibir al Bermejo), el caudal máximo mensual fue de 4.600 m³/s, mientras que el derrame anual medio se acercó a los 118.000 Hm³. (Orfeo 1995)

Según otras fuentes, para el período Diciembre-Mayo de los años comprendidos entre 1971 y 1974, el caudal del Río Paraguay, antes y después de recibir al Bermejo, alcanzó los siguientes valores: 3.721 y 4.186 m³/s respectivamente. (Drago & Amsler 1988) Dichos valores contemplan al Río Bermejo en período de crecida.

El ciclo hidrológico del Río Paraguay se caracteriza por presentar crecidas en otoño-invierno y bajantes en primavera-verano, con régimen laminar y de variaciones lentas. (Orfeo 1995)

Su tramo final, en correspondencia con la desembocadura en el Paraná, merece ser destacado debido a la interacción que se da con el Bermejo.

En dicha zona, la morfología del Río Paraguay presenta un aspecto meandroso. El ancho medio del río en esta zona es de unos 0,6 km, pudiendo variar entre 0,3 y 1,4 km.

El material del lecho está compuesto por arenas medianas a muy finas (menores que las del Paraná) con un 5 a un 20% de limos y arcillas. (Orfeo 1995)

En correspondencia con la citada desembocadura del Bermejo en el Paraguay, se verifica en este último la existencia de un banco de arena. (Halcrow & Partners 1973) Si bien la concentración de arenas en suspensión en el Bermejo es muy reducida si se la compara con la de limos, no obstante constituye la mayor concentración de arena encontrada en cualquier estación del río Paraguay hacia aguas arriba. (Brea et al. 1999)

Las formas de fondo vienen dadas por ondulaciones simétricas (dunas con rizos superpuestos), y en cuanto a la profundidad, esta se estima en unos 10 m. En particular, en la zona de la confluencia con el Paraná puede llegar a los 43 m. (Orfeo 1995)

2.3.2 CARGA SÓLIDA

El comportamiento de la carga sólida del Río Paraguay está vinculado íntimamente a la descarga que impone el Bermejo.

En efecto, para el período Diciembre-Mayo de los años comprendidos entre 1971 y 1974, la concentración de los sólidos en suspensión del Paraguay, aguas arriba de la confluencia con el Bermejo, resultó ser de 89 mg/l, mientras que luego de recibir al Bermejo ascendió a 576 mg/l. (Drago & Amsler 1988)

Considerando el período 1910-1990, esa variación de concentraciones fue de 37 a 528 mg/l. (Orfeo 1995) Para ese mismo período, en la sección “Puerto Bermejo”, la carga de lavado se computó en unos **60.000.000** de toneladas anuales, mientras que la carga de material de fondo (arrastre y suspensión) fue de apenas **1.000.000** de toneladas por año. (Orfeo 1995)

A partir de aforos sólidos del período 1993-1998, se cuantificó la carga sólida en suspensión del Paraguay antes de recibir al Bermejo (sección “Puerto Pilcomayo”) en unos **8.000.000** de toneladas por año (251 kg/s). (Brea et al. 1999)

Según la misma fuente, pudo estimarse la carga sólida en suspensión del Paraguay, vinculando las mediciones de caudales medios mensuales con las relaciones entre caudal líquido y sólido obtenidas de los aforos. El valor obtenido para la sección “Puerto Pilcomayo” fue de **8.125.000** toneladas anuales. Luego de recibir al Bermejo dicho valor ascendió a unos **115.000.000** de toneladas.

En cuanto a la particulometría de los sólidos suspendidos, a la latitud de Formosa, predomina la fracción arcilla (>90%), mientras que a pocos kilómetros de confluencia con el Paraná, la carga sólida está compuesta principalmente por limos (64%) y arcillas (29%), con presencia significativa de arenas. (Orfeo 1995)

La mineralogía de la fracción arcilla a la latitud de Formosa está integrada por illita (40%) y proporciones semejantes de caolinita, clorita y esmectitas. (Orfeo 1995)

2.4 RÍO PARANÁ: El Gran Protagonista

2.4.1 CARACTERIZACIÓN

Su nombre de origen indígena significa “pariente del mar”, y desde su nacimiento en Brasil hasta su desembocadura mide 3.780 km. Su tramo argentino comienza en la

desembocadura del río Iguazú y desde este punto hasta su desembocadura su longitud es de 1.710 km.

La cuenca del Río Paraná ocupa alrededor de 1.500.000 km² de superficie, distribuidos de la siguiente manera: 890.000 km² (59%) son de jurisdicción brasileña, 565.000 km² (37%) pertenecen a la Argentina y 55.000 km² (4%) al Paraguay.

El Paraná toma su nombre a partir de la confluencia de los ríos Paranaíba y Grande (Brasil), principales tributarios de la cuenca superior, de 1.200 km y 1.300 km de longitud, respectivamente. Ambos cursos delimitan una zona mesopotámica reconocida en Brasil como “Triángulo Mineiro”, aproximadamente a 1.900 metros sobre el nivel del mar, con numerosos rápidos y cascadas. (Orfeo 1995)

Por más de 500 km aguas abajo de dicha confluencia, el Paraná recibe tributarios de importancia, destacándose el Tieté y el Paranapanema, también con gran cantidad de saltos en su recorrido. Aproximadamente 200 km después de recibir a este último, un salto de 40 m da lugar a la formación de las cataratas del Guayrá (conocidas en Brasil como “Salto das sete Quedas”). (Orfeo 1995)

Aguas abajo, el río fluye encajonado con rumbo general NNE-SSO de alta velocidad, que se mantiene hasta 140 km después de la desembocadura del Iguazú. A partir de este punto el curso toma dirección al oeste, cambiando también su fisonomía. Aumenta su ancho, y el thalweg adquiere una pendiente aproximadamente uniforme hasta llegar al Salto de Corpus. (Orfeo 1995)

En el tramo Posadas-Ituzaingó el cauce aloja las extensas islas del Ibicuy, Talavera, Yacyretá y Apipé, entre otras menores, registrando un ancho de 25 km frente a Ituzaingó. En los últimos 160 km de recorrido del alto Paraná (llamado así desde la desembocadura del Iguazú hasta la confluencia con el Paraguay), el cauce se estrecha aunque sin formar un lecho único, con un ancho variable entre 1,5 y 5 km, pendiente media que no supera 0,08 m/km y velocidad media entre 0,7 m/s en bajante y 2,1 m/s en crecida. (Orfeo 1995)

La confluencia con el Río Paraguay marca un cambio importante para las características hidrodinámicas, hidrosedimentológicas y morfogenéticas del Paraná. Alrededor de esta zona, el Paraná presenta un ancho medio de 3,5 km, pudiendo variar entre 1 y 9 km. La pendiente disminuye hasta alcanzar aproximadamente un valor de 1×10^{-5} . En este sector, el río presenta un aspecto entrelazado con predominio de tramos rectos. (Orfeo 1995)

El material del lecho está conformado por arena muy gruesa a fina, y las formas de fondo van desde ondas de arena a dunas y megaóndulas (las longitudes de onda llegan a superar los 120 m y las alturas de onda los 7 m). (Orfeo 1995)

Antes de recibir al Paraguay, la profundidad se estima en 15 a 20 m, y luego de recibirlo en 10 a 12 m (2 m en el tramo central). Particularmente en el lugar de la confluencia la profundidad puede llegar a los 43 m. (Orfeo 1995)

Luego de recibir al Paraguay, el río continúa con rumbo dominante NNE-SSO. En todo este recorrido la margen izquierda es más elevada que la derecha, la cual es deprimida e inundable, desarrollándose allí la planicie aluvial cuyo ancho varía entre 10 y 40 km. Mientras que el ancho del canal de navegación disminuye desde Corrientes hacia Rosario, la llanura de inundación aumenta desde 13 km hasta 56 km en la sección Rosario-Victoria. (Orfeo 1995)

El delta terminal del Paraná comienza aguas debajo de la localidad de Diamante, ocupando una superficie inundable de 14.000 km². Esta área deltaica tiene un avance variable hacia el Océano Atlántico, mencionándose entre 60 y 100 metros por año según la zona y el período que se considere. Ello implica el dragado de 21.000.000 m³ de sedimentos por año en el Paraná y canales de acceso en el Río de la Plata, para mantener la ruta de navegación en condiciones operables. (Orfeo 1995)

Desde el punto de vista hidrológico puede distinguirse, una época de crecida que corresponde al verano, con niveles hidrométricos máximos entre Febrero y Marzo, debido a la acumulación de lluvias estivales. La bajante se inicia a fines del otoño, con niveles máximos en Agosto y Septiembre (pudiéndose prolongar hasta Noviembre-Diciembre). (Orfeo 1995)

En el período 1904-1990 el caudal medio anual del Paraná en Corrientes fue aproximadamente de 17.000 m³/s, con un mínimo de 10.785 m³/s y un máximo de 37.833 m³/s. En el mismo período el derrame anual medio fue calculado en 530.364 Hm³. (Orfeo 1995)

Para el período Diciembre-Mayo de los años comprendidos entre 1971 y 1974, el caudal del Río Paraná, antes y después de recibir al Paraguay, alcanzó los siguientes valores: 13.684 y 17.869 m³/s respectivamente. (Drago & Amsler 1988)

Dichos valores contemplan al Río Bermejo en período de crecida.

2.4.2 CARGA EN SUSPENSIÓN

El establecimiento de concentraciones de carga de lavado representativas y la determinación de los caudales sólidos correspondientes que se verifican en el Río Paraná en su desembocadura representa un inconveniente a pesar de la importancia del tema, pues no existen publicados resultados de estudios específicos basados en mediciones sistemáticas, confiables y durante períodos suficientemente prolongados.

La absoluta mayoría de las fuentes que evalúan concentraciones y transporte, lo hacen sin discriminar entre carga de lavado y material de fondo (arenas). Con relación a este último sedimento, los datos disponibles son todavía más escasos. (Amsler 1995)

Los valores de carga sólida en suspensión varían según el período que se considere. No sólo porque tengan en cuenta o no la influencia de las grandes presas, las cuales actúan como grandes instrumentos de retención sedimentaria, sino también por el hecho de que algunos períodos se corresponden a las mínimas o máximas descargas sólidas del sistema fluvial.

La documentación existente en cuanto a la entrega de sedimento fluvial a los océanos a escala mundial provee algunas estimaciones históricas.

Holeman (1968) infirió que el rendimiento del Río Paraná en Argentina era de **82 millones** de toneladas al año. Milliman & Meade (1983) aumentaron esa estimación a **96 millones** de toneladas anuales. La estimación de Milliman & Meade estuvo basada en un estudio del estuario La Plata por Urien (1972). Prendes (1983) estimó la carga de sedimento suspendido en **109,5 millones** de toneladas al año en el sitio propuesto de la presa Chapetón, localizada 600 km aguas abajo de la confluencia del Río Paraguay con el Río Paraná. (EVARSA et al. 2002)

En la misma fuente puede observarse, en el gráfico que reproducimos a continuación, la variación de la carga suspendida total anual, antes y después de la construcción de la presa de Itaipú.

En dicha figura puede observarse que aguas abajo de la confluencia del Río Paraguay y el Río Paraná, ocurre una pérdida significativa de sedimentos, representada por la pendiente descendente de las líneas. Según la citada fuente, dicho tramo del río es considerado como un delta tierra adentro. Este comportamiento no es señalado en ninguno de los trabajos analizados, por lo que no será considerado, ya que resulta algo extraño.

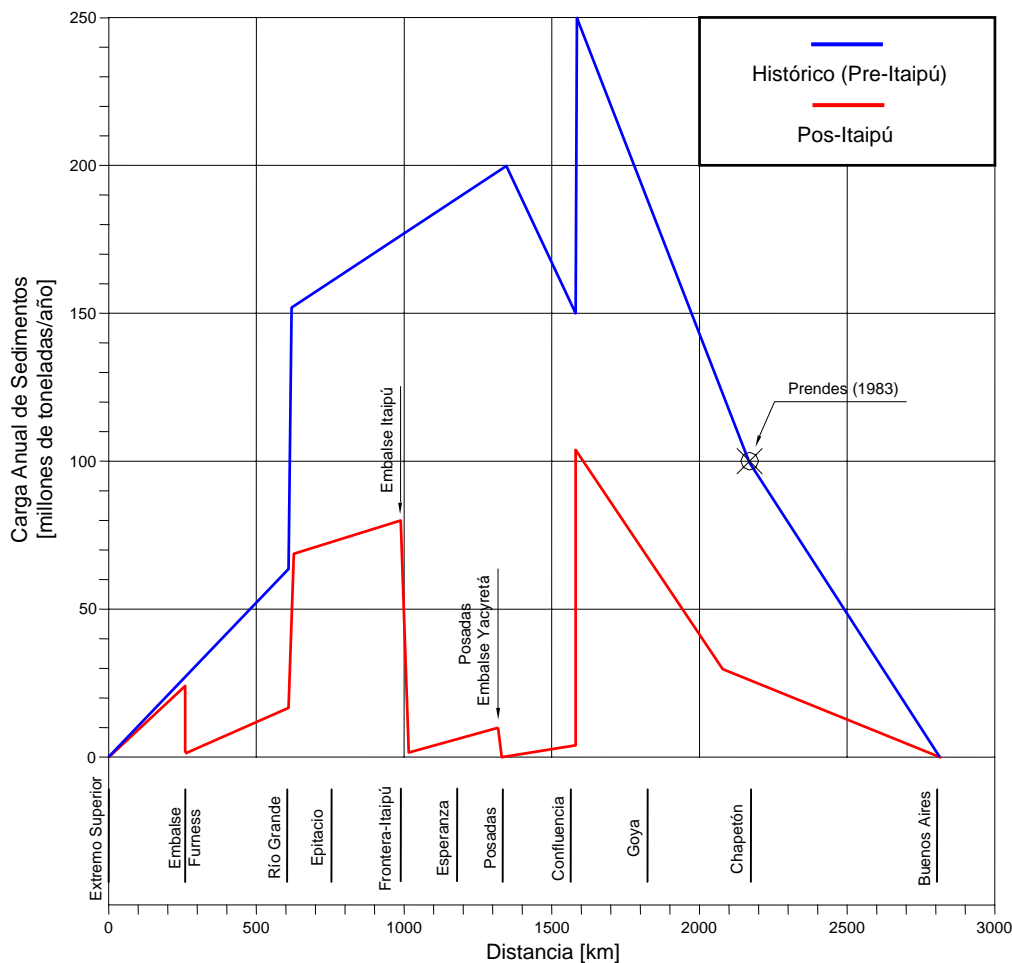


Figura 3: Carga suspendida anual del Río Paraná, antes y después de la construcción de la presa de Itaipú (EVARSA et al. 2002)

Según Orfeo (1995), la carga de lavado del Río Paraná en el área de su confluencia con el Río Paraguay llega a los **120 millones** de toneladas anuales.

Por su parte la carga de material de fondo (tanto por arrastre como suspensión) fue estimada en unos **40 millones** de toneladas al año.

Mediciones realizadas por el Instituto Nacional de Limnología (INALI), en referencia al plan de estudios limnológicos llevado a cabo en la sección “Toma de Aguas Corrientes” en Paraná, Entre Ríos, concluyeron en los siguientes valores para la carga en suspensión:

Transporte de sedimentos suspendidos [t/año]				
Año	Río Bermejo Sección “Juntas de San Antonio”, Salta	Río Paraná medio + Río Colastiné Sección “Toma de Aguas Corrientes”, Entre Ríos		
		Período de Concentraciones Pico	Período Restante	Total
1976-1977	127.646.000	56.056.482	36.316.451	92.372.933
1977-1978	79.931.950	75.089.907	32.642.772	107.732.679
1978-1979	106.285.000	88.377.530	34.873.522	123.251.052
1979-1980	100.847.000	62.127.531	45.418.125	107.454.656
1980-1981	191.920.000	67.561.351	45.601.311	113.162.662

(*) El transporte sólido de la sección de estudio fue incrementado en un 9.3% para considerar los sedimentos transportados por el **Río Colastiné** (LHA-UNESCO 1974), el cual es el principal canal secundario del valle aluvial del Paraná en el área citada.

Tabla 1: Carga en suspensión del Río Paraná de acuerdo a mediciones realizadas por el INALI (Drago & Amsler 1988)

En el mismo cuadro puede apreciarse también el transporte anual de los sedimentos suspendidos del Río Bermejo para la sección “Juntas de San Antonio” en Salta, en base a información de Agua y Energía Eléctrica (1987). (Drago & Amsler 1988)

Si bien en este trabajo no es aclarado si los valores de la carga en suspensión corresponden sólo a la carga de lavado o a la carga suspendida total, en el mismo se concluye que los valores referidos a la magnitud de la carga suspendida se atribuyen esencialmente a la carga de lavado dado el gran porcentaje que esta representa (alrededor del 80% de la carga total suspendida). En efecto, el transporte en suspensión del **material de fondo** sólo es de importancia bajo ciertas condiciones del río como altos caudales y bajas cargas de lavado. (Amsler & Drago 1984)

Amsler (1995), determinó en uno de sus trabajos, que el transporte total anual de sedimentos del Río Paraná en su desembocadura está conformado de la siguiente manera:

Transporte Total Anual de Sedimentos del Río de la Plata en su Desembocadura

Carga de Lavado	130-160 millones t/año
Carga de Material de Fondo (arena en suspensión y arrastre)	25 millones t/año
Total	155-185 millones t/año

Dicha estimación se basó en las siguientes consideraciones:

Para la carga de lavado se analizaron las siguientes mediciones de concentraciones realizadas por el INALI:

Concentración de Carga de Lavado [mg/l]					
	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981
Máxima	450	575	450	550	610
Mínima	60	60	70	90	100
Media Anual	185	215	285	230	220

Tabla 2: Concentración de carga de lavado del Río Paraná según mediciones realizadas por el INALI (Amsler 1995)

El valor promedio de las concentraciones medias anuales del cuadro anterior, que resultó de **230mg/l**, se comparó con el valor de **250 mg/l** determinado por Drago & Amsler (1998), para el período diciembre-mayo de 1971 a 1974.

Drago & Amsler llegaron a establecer, asimismo, que algunos de los valores máximos consignados en el cuadro anterior, probablemente estén subestimando a los reales ocurridos a raíz de una inadecuada frecuencia de muestreo durante los meses de mayores aportes sólidos. Ello tuvo un principio de verificación para el período 1976-1977, a partir de datos obtenidos en un tramo aguas abajo de Corrientes por el Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL). Durante la época de máximos aportes sólidos de 1976-1977 el CECOAL midió concentraciones de carga de lavado que alcanzaron los **1000-1500 mg/l**.

Teniendo en cuenta todos estos elementos de juicio y reanalizando los datos del INALI, se llegó al valor de **130-160 millones t/año** como referente a carga de lavado del Río Paraná en su desembocadura.

Para la carga de fondo, Amsler (1993) señala que Lelievre & Navntoft (1977), produjeron la serie de datos de arena en suspensión en el Paraná medio más confiables de entre los existentes disponibles. Resultaron de mediciones llevadas a cabo a la altura de la ciudad de Corrientes durante la creciente de 1977. De allí fue posible estimar un transporte anual de aproximadamente 30 millones de arena en suspensión, que podría considerarse un valor algo exagerado teniendo en cuenta que se calculó con concentraciones de un estado de aguas altas del río. En este sentido, la fórmula de Engelund-Hansen utilizada frecuentemente por los ingenieros fluviales dada su confiabilidad en el Río Paraná, predice transportes de arena totales (en suspensión más arrastre de fondo) de alrededor de **23 millones t/año**, si se la aplica con parámetros medios del río.

En la misma fuente pudo estimarse también la distribución de caudales líquidos y sólidos del curso principal entre el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas, resultando:

	Paraná Guazú	Paraná de las Palmas
Caudal Líquido	79%	21%
(según datos informados por LHA -1991-)	(del caudal en Rosario)	(del caudal en Rosario)
Caudal Sólido	120-145 millones t/año	33-39 millones t/año
(considerando la misma proporción)		

Un dato puntual sobre la distribución de caudales sólidos entre los dos brazos principales del Delta del Paraná, fue presentado por Amsler (1993), en base a información de concentraciones totales de sedimento suspendido obtenidas por el INALI. Los registros se realizaron en los meses de noviembre-diciembre de 1990 para un estado de aguas altas del río.

	Paraná Guazú	Paraná de las Palmas
Caudal Sólido	320.000 t/día	47.000 t/día

Brea et al. (1999) determinaron el caudal sólido en suspensión mediante los caudales medios mensuales (EVARSA 1994) de acuerdo a la relación **QI-Qs** obtenida de los aforos. Se analizó el período 1969-1989, obteniéndose los siguientes valores de gasto sólido en suspensión:

Río	Estación	QsT [1.000 t/año]
Bermejo superior	Z. del Tigre-P. Sarmiento	87.199
San Francisco	Caimancito	25.159
Bermejo inferior	El Colorado	106.913
Paraguay	Puerto Pilcomayo	8.125
Paraná superior	Itatí	8.005
Paraná	Túnel	99.477

Tabla 3: Gasto sólido en suspensión a lo largo de todo el sistema (Brea et al. 1999)

Si se compara el total aportado por el Paraná superior y el Paraguay luego de recibir al Bermejo (**123.043.000 t/año**), con el resultado en la estación “Túnel Subfluvial” (**99.477.000 t/año**), la diferencia resulta del orden del 20%. En esta estación existen algunas dudas sobre los registros recopilados, en relación con saber si realmente representan el total del caudal pasante en la sección en épocas de crecida (parte del caudal se estima que pasa por el Colastiné). Esto puede explicar la diferencia señalada, que de todos modos se ubica dentro de los márgenes de error esperables al tratar con aforos sólidos.

En la misma fuente se cuantificó también el gasto sólido suspendido de acuerdo a las estaciones de aforo para el período 1993-1998, obteniéndose para las distintas estaciones los siguientes valores:

“Puerto Pilcomayo” (Paraguay antes de recibir al Bermejo)	251 kg/s	8.000.000 t/año
“Itatí” (alto Paraná)	506 kg/s	16.000.000 t/año
“Túnel” (Paraná inferior)	3.150 kg/s	100.000.000 t/año

A modo de resumen, en la siguiente tabla, se presentan los valores de carga suspendida para las distintas secciones, ordenadas a medida que el río llega a su desembocadura.

Sección		Tipo de Carga Suspendida	Transporte Anual de Toneladas	Período Analizado	Observaciones
Localidad	km				
Itatí, Corrientes	1080	Total (*)	8.005.000	1969-1989	Valor obtenido con caudales medios mensuales según la relación QI-Qs. Sólo los últimos años del período consideran la influencia de la presa de Itaipú
		Total (*)	16.000.000	1993-1998	Valor obtenido de aforos sólidos. El período contempla la influencia de las presas de Itaipú y Yacyretá
Aguas arriba de la confluencia con el Río Paraguay	-	Total (*)	5.000.000	-	Pos-Itaipú
Confluencia con el Río Paraguay	-	Carga de lavado	120.000.000	1984	Valor obtenido de acuerdo a la estimación de la concentración de carga de lavado. Pre-Itaipú
		Material de fondo	Menos de 40.000.000	-	Valor obtenido mediante gráficos empíricos
		Total (*)	105.000.000	-	Pos-Itaipú
Chapetón, Entre Ríos	635	Total (*)	109.500.000	1983	Pre-Itaipú
Aguas Corrientes, Entre Ríos	606	Carga de lavado (*)	110.000.000	1976-1981	Pre-Itaipú
Túnel Subfluvial, Paraná, Entre Ríos	600	Total (*)	99.477.000	1969-1989	Valor obtenido con caudales medios mensuales según la relación QI-Qs. Sólo los últimos años del período consideran la influencia de la presa de Itaipú

Túnel Subfluvial, Paraná, Entre Ríos	600	Total (*)	100.000.000	1993-1998	Valor obtenido de aforos sólidos. El período contempla la influencia de las presas de Itaipú y Yacyretá
Desembocadura	-	Total (*)	82.000.000	1968	Pre-Itaipú
		Total (*)	96.000.000	1972	Pre-Itaipú
		Carga de lavado	130.000.000 160.000.000	1971-1974 1976-1981	El período 1971-1974 considera sólo los meses de diciembre a mayo
		Material de fondo	Menos de 25.000.000	-	Valor obtenido según la fórmula de transporte de Engelund-Hansen

(*) Si bien en los respectivos trabajos no es aclarado a que tipo de carga suspendida se hace referencia, se infiere de los mismos, que se trata del tipo de carga señalado en el presente cuadro.

Tabla 4: Carga suspendida del Paraná para distintas secciones a lo largo del río

2.4.2.1 CONCENTRACIONES

Como se indicó en el punto anterior, el establecimiento de concentraciones representativas de la carga suspendida del Río Paraná resulta de significativa complejidad. Pese a esto, pueden encontrarse diversos trabajos relacionados con el tema.

En uno de ellos, el Instituto Nacional de Limnología (INALI) desarrolló el plan “Estudios limnológicos en el cauce principal del Río Paraná Medio – Plan Perfil Toma de Aguas Corrientes (Paraná, Entre Ríos)”, cuyo objetivo era conocer el probable impacto ambiental que tendría la construcción de grandes presas en la zona.

Los trabajos se llevaron a cabo durante cinco años (octubre 1976 – octubre 1981) y la sección de estudio correspondió al mencionado perfil “Toma de Aguas Corrientes” en Paraná, Entre Ríos.

Durante ese lapso de tiempo se realizaron varias series de muestras paralelas. En una de ellas, llevada a cabo por Hetty Bertoldi de Pomar, se muestrearon tres puntos del cauce: ribera izquierda, centro y ribera derecha. En dicho muestreo, el rango de concentraciones de los sólidos suspendidos totales para las distintas situaciones del ciclo hidrológico quedó comprendido entre 33,7 y 893 mg/l. Vale decir que en dicho estudio no se evaluó la incidencia de otros factores ambientales como clima, topografía, geología, etc., si bien ha sido demostrado que las cantidades de sólidos transportados en suspensión por los ríos varían ampliamente en el mundo en función de aquellos.

Los promedios de concentraciones de sedimentos suspendidos obtenidos en cada ciclo hidrológico del período 1976-1981, pueden resumirse en la siguiente tabla:

Concentración Promedio de Sedimentos Suspendedos Totales [mg/l]						
	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981	Promedio
Ribera Izquierda	150,90	174,10	180,45	182,25	157,90	169,10
Centro	185,60	216,90	240,15	226,40	217,75	217,35
Ribera Derecha	168,50	189,44	221,60	195,15	195,05	193,95
Promedio en la sección	168,35	193,50	214,05	201,25	190,25	193,50

Tabla 5: Concentración de sedimentos suspendedos en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

El material suspendedo presentó una distribución vertical desigual, preferentemente con incrementos de la concentración total hacia el fondo.

En otra de las series de mediciones realizadas por el INALI, se determinaron las siguientes concentraciones de carga de lavado: (Amsler 1995)

Concentración de Carga de Lavado [mg/l]					
	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981
Máxima	450	575	450	550	610
Mínima	60	60	70	90	100
Media Anual	185	215	285	230	220

Tabla 6: Concentración de carga de lavado en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler 1995)

Amsler & Drago llegaron a establecer, asimismo, que algunos de los valores máximos consignados en el cuadro anterior, probablemente estén subestimando a los reales ocurridos a raíz de una inadecuada frecuencia de muestreo durante los meses de mayores aportes sólidos. Ello tuvo un principio de verificación para el período 1976-1977, a partir de datos obtenidos en un tramo aguas abajo de Corrientes por el Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL). Durante la época de máximos aportes sólidos de 1976-1977 el CECOAL midió concentraciones de carga de lavado que alcanzaron los **1000-1500 mg/l**.

Precisamente Amsler (1995), considerando lo dicho en el párrafo anterior y reanalizando esos datos del INALI, concluye en una de sus publicaciones, que la concentración media anual de carga de lavado del Río Paraná en su desembocadura está comprendida entre **250 y 300 mg/l**.

En otro de sus trabajos, el mismo autor, junto a Drago, determinó también la concentración de la carga suspendida del Paraná para el período diciembre-mayo de 1971 a 1974. Antes de recibir al Paraguay, en correspondencia con la sección “Candelaria” la concentración promedio de sólidos suspendidos fue estimada en **93 mg/l**. Luego de confluir con el Paraguay (sección “Corrientes”) dicho valor asciende a **250 mg/l**. En dicho trabajo no se aclaró si los valores de las concentraciones se corresponden sólo a la carga de lavado o la carga suspendida total. Sin embargo, en el mismo se concluye que los valores referidos a la magnitud de la carga suspendida se atribuyen esencialmente a la carga de lavado dado el gran porcentaje que esta representa (alrededor del 80% de la carga total suspendida).

La concentración de carga de lavado para la sección Corrientes-Resistencia, fue estimada según Bonetto & Orfeo (1984) en **224 mg/l**.

En uno de los trabajos referentes al Río de la Plata, se menciona que a partir de ciertas muestras de sedimento suspendido en “Paso Alvear” (Rosario), sobre el Río Paraná, el limo surge como componente principal, con una concentración media de alrededor de 300 mg/l, siguiéndolo la arcilla, con una concentración apenas superior a 100 mg/l, y finalmente, la arena con valores que pueden alcanzar hasta 50 mg/l, pero que también pueden caer prácticamente a cero. (Menéndez 2001) Esto estaría diciendo que la concentración de sólidos suspendidos totales está entre **400 y 450 mg/l**.

Nuevamente, a modo de resumen, se presentan en el siguiente cuadro los valores de concentraciones de la carga suspendida para las distintas secciones a lo largo del río.

Sección		Tipo de Carga Suspendida	Concentración [mg/l]	Período Analizado	Observaciones
Localidad	km				
Candelaria, Misiones	1105	Carga de lavado	93	1971-1974	El período analizado considera sólo los meses de diciembre a mayo
Corrientes, Corrientes	1040	Carga de lavado	224	1984	Pre-Itaipú
		Carga de lavado	250	1971-1974	El período analizado considera sólo los meses de diciembre a mayo
Aguas Corrientes, Entre Ríos	606	Total	194	1976-1981	Pre-Itaipú
		Carga de lavado	230	1976-1981	Pre-Itaipú
Rosario, Santa Fe	300	Total	400-450	-	-
Desembocadura	-	Carga de lavado	250-300	1971-1974 1976-1981	El período 1971-1974 considera sólo los meses de diciembre a mayo

Tabla 7: Concentración de carga suspendida del Paraná para distintas secciones a lo largo del río

2.4.2.2 GRANULOMETRÍA

Los distintos materiales que transporta un río, de acuerdo al tamaño que tengan, se denominan de la siguiente manera:

Denominación		Rango de Tamaños	
		mm	µm
GRAVA	muy gruesa	64-32	64.000-32.000
	gruesa	32-16	32.000-16.000
	mediana	16-8	16.000-8.000
	fina	8-4	8.000-4.000
	muy fina	4-2	4.000-2.000
ARENA	muy gruesa	2-1	2.000-1.000
	gruesa	1-0,500	1.000-500
	mediana	0,500-0,250	500-250
	fina	0,250-0,125	250-125
	muy fina	0,125-0,062	125-62
LIMO	Grueso	0,062-0,031	62-31
	mediano	0,031-0,016	31-16
	fino	0,016-0,008	16-8
	muy fino	0,008-0,004	8-4
ARCILLA	gruesa	0,004-0,002	4-2
	mediana	0,002-0,001	2-1
	fina	0,001-0,0005	1-0,5
	muy fina	0,0005-0,00025	0,5-0,25

Tabla 8: Clasificación granulométrica de los sedimentos que transporta un río

Conocer la granulometría de la carga sólida de un río nos brinda gran información sobre su comportamiento.

Para el Río Paraná en particular, la composición de la carga suspendida varía notablemente luego de recibir al Paraguay.

Aguas arriba de la mencionada confluencia, los sólidos suspendidos del Paraná son muy homogéneos y están compuestos por altos porcentajes de arcillas (82%) y menor proporción de limos (18%). Aguas abajo de la confluencia, en su margen izquierda se mantienen las mismas proporciones, mientras que en margen derecha se observa un notable incremento de los limos (63%) y disminución de las arcillas (32%), destacándose la presencia de arenas (5%). (Orfeo 1995)

Todo esto puede apreciarse en el siguiente cuadro extraído de la citada referencia:

Lugar	% Arenas	% Limos	% Arcillas
Itatí	0	15	85
Paso de la Patria ⁽¹⁾	0	22	78
Paso de la Patria ⁽²⁾	5	63	32
Corrientes	4	66	30
Empedrado	3	67	30

(1) Aguas arriba de la confluencia Paraguay-Paraná

(2) Aguas abajo de la confluencia Paraguay-Paraná

Tabla 9: Composición granulométrica de la carga suspendida del Paraná (Orfeo 1995)

Amsler & Drago realizaron una de las series de mediciones llevadas a cabo por el INALI, en el marco del plan “Estudios limnológicos en el cauce principal del Río Paraná Medio – Plan Perfil Toma de Aguas Corrientes” en Paraná, Entre Ríos.

En dicho trabajo, durante el período octubre 1976 – diciembre 1977, se tomaron 169 muestras que fueron utilizadas para el estudio de las características y variaciones de la granulometría de los sedimentos suspendidos.

Los porcentajes medios de la carga de lavado y de la fracción arcilla obtenidos en las verticales muestreadas del perfil investigado pueden observarse en la **Tabla 10**. A partir de dichas mediciones pudieron obtenerse los siguientes resultados:

La mayor proporción de los diámetros medios de las distribuciones analizadas, se halló comprendida dentro de los rangos de los **limos finos y muy finos**, indicando que la carga de lavado (constituida por partículas menores de 31 μm para el perfil investigado) es preponderante en el sedimento suspendido transportado por el río en esta sección.

En efecto, tomando el promedio de todo el período considerado resulta que la carga foránea constituye alrededor del 80% de la carga total suspendida, mientras que la fracción arcilla se encuentra en una proporción del 40%.

Cuando pasaron por la zona los picos de concentración provenientes del Río Bermejo, con altos porcentajes de arcilla, se detectaron los diámetros medios más pequeños.

Durante el resto del período examinado, los diámetros medios del material transportado en suspensión se desplazaron hacia el rango de limos finos.

Los diferentes tipos de material en suspensión que se incorporan al cauce principal del Paraná en su tramo medio, son mezclados por el río de una manera tal, que conforman un sedimento suspendido pobremente seleccionado salvo, cuando se transportan los picos de concentraciones aportados por el Río Bermejo.

Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla						
Fecha	Ribera Izquierda		Centro del Cauce		Ribera Derecha	
	Carga de Lavado	Arcilla	Carga de Lavado	Arcilla	Carga de Lavado	Arcilla
28/10/76	63	28	66	22	83	15
22/01/77	84	49	73	36	70	33
01/03/77	73	48	66	31	64	36
28/03/77	97	59	97	55	90	47
13/04/77	97	51	93	51	97	51
25/04/77	95	57	92	51	88	49
09/05/77	95	54	92	49	92	53
23/05/77	96	51	94	47	95	50
06/06/77	94	48	92	47	98	52
25/07/77	83	37	77	31	74	30
08/08/77	83	37	73	23	72	20
31/10/77	77	29	67	22	64	18
14/11/77	73	17	81	26	88	40
Promedio	85	43	82	38	83	38

Tabla 10: Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler & Drago 1984)

2.4.2.3 MINERALOGÍA

El análisis mineralógico de los componentes más finos de la carga suspendida resulta de gran importancia para el conocimiento de la incidencia que presentan los distintos tributarios en el Río Paraná.

De los dos componentes más finos, es decir limos y arcillas, resulta más usual encontrar estudios sobre estas últimas.

Según Orfeo (1995), en la zona de la confluencia con el Río Paraguay, se identificaron para las arcillas los siguientes argilominerales: illita, caolinita, clorita y esmectitas, variando la proporción de cada uno de ellos según la ubicación del sitio de muestreo.

Antes de recibir al Paraguay los minerales dominantes son clorita y caolinita en proporciones semejantes (80 a 90%). El resto corresponde a illita (20%) sobre margen derecha y esmectitas (10%) sobre la margen izquierda.

Luego de la confluencia, sobre la margen derecha se presenta predominio de illita (con algo de caolinita) y sobre la margen opuesta caolinita (con algo de clorita).

De acuerdo a Depetris (1968), las arcillas suspendidas del alto Paraná, aguas abajo de la confluencia con el Paraguay, presentan abundante cantidad de illita y montmorillonita, con menores proporciones de caolinita y clorita. Mientras que la montmorillonita y la caolinita provienen de la región tropical (escudo brasileño), la illita y la clorita son suministrados por el río Bermejo.

El predominio de illita (60%) constituye una característica distintiva, ya que dicho componente, ausente en los sedimentos suspendidos aguas arriba de la confluencia Paraná-Paraguay, tiene sus orígenes en la erosión de terrenos áridos y semiáridos típicos de regiones andinas, lo que indica su procedencia.

Las características mencionadas se mantienen por el río, hacia aguas abajo. A la altura de la ciudad de Paraná, se encuentran los mismos componentes en las arcillas en suspensión: illita, caolinita, montmorillonita y clorita. (Amsler & Drago 1984, Bertoldi de Pomar 1984) Se observa el mismo porcentaje de illita (60%), correspondiendo el resto a las otras componentes.

En efecto, en uno de los trabajos realizados por el INALI en el Paraná medio (1976-1981), a cargo de Bertoldi de Pomar, se determinaron los componentes minerales tanto de las arcillas como de los limos suspendidos.

Para los últimos se encontraron, dentro de los minerales de origen ígneo, **cuarzo, micas y feldspatos**. En cuanto a los de origen netamente metamórfico podemos citar, **anfíboles y clorita**.

En cuanto a los componentes arcillosos, se encontró un predominio de **illita y caolinita**, acompañado por cantidades variables de **montmorillonita y clorita**.

Como se mencionó anteriormente, a predominancia de illita puede atribuirse al hecho de que a través de los Ríos Pilcomayo y **Bermejo**, se produce un aporte suplementario procedente de la erosión de terrenos áridos y semiáridos típicos de los ambientes andinos, recordando que el Paraná superior proporciona esencialmente caolinita.

Por su parte, la presencia de montmorillonita puede atribuirse a aportes producidos por degradación de barrancas y aún de los suelos de la región misionera por efecto de lavado por lluvias intensas.

Al llegar al Río de la Plata, las muestras de sedimentos suspendidos y de fondos oceánicos adyacentes, muestran también predominio de illita (44%), seguida por la montmorillonita (30%), quedando el resto conformado por caolinita y clorita. (Depetris 1968) En muestras de lecho del Río de la Plata exterior se encuentran partes iguales de illita, caolinita y montmorillonita, por influencia de corrientes oceánicas. (Siegel et al. 1968)

En base a todo lo dicho, y si se tiene en cuenta que del total de illita aportada al Río de la Plata el 95% proviene del Río Paraná y el 5% restante del Río Uruguay, y que, el 100% de la clorita que llega al Río de la Plata proviene también del Paraná (Depetris 1968), se puede concluir que la mayor parte de estos materiales son aportados por el Río Bermejo. (Brea et al. 1996)

2.4.3 CARGA DE FONDO

La información existente sobre la carga de arrastre ó de fondo del Río Paraná es prácticamente nula. Pese a esto, podemos mencionar lo siguiente:

El lecho del Río Paraná está formado casi en su totalidad por arena, correspondiendo menos del 5% a limos y arcillas. Esto implica que todo el material que es transportado por **arrastre** sea prácticamente **arena**.

La fórmula de transporte de Engelund-Hansen, utilizada frecuentemente por los ingenieros fluviales dada su confiabilidad en el Río Paraná, predice transportes de arena totales (en suspensión más arrastre de fondo) de alrededor de **23 millones t/año**, si se la aplica con parámetros medios del río.

Según Orfeo (1995), mediante la utilización de gráficos empíricos, dicho valor asciende a unos **40.000.000** de toneladas anuales.

Según el mismo autor, estos valores, que consideran la arena transportada tanto por arrastre como suspensión, representan una proporción mayor del 11% respecto de la carga total, dada la modalidad **tractiva** que presenta el transporte del Río Paraná.

En efecto, son las corrientes de esta naturaleza las responsables de la génesis y distribución de las barras que presenta el Paraná a lo largo de su curso, las que a su vez le dan la característica forma entrelazada.

3 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

3.1 INFLUENCIA DE LOS TRIBUTARIOS DEL RÍO PARANÁ

Como pudo verse hasta el momento, el Río Bermejo aporta una gran cantidad de sedimentos suspendidos al Paraguay inferior, y a través de este al Paraná medio, ejerciendo así, una gran influencia en las características de la carga sólida transportada por el último río.

En efecto, las copiosas lluvias orográficas que se producen en el período estival (de octubre a abril) sobre la alta cuenca del Bermejo en las sierras subandinas, originan una intensa erosión hídrica de donde proviene la mayor parte del limo y la arcilla que es aportada luego al Paraná a través de la vía Bermejo-Paraguay.

Observando el comportamiento sedimentológico del Río Bermejo, puede notarse que las máximas descargas sólidas aportadas por su cuenca superior coinciden con los picos de caudales del mencionado río.

A su vez, análisis granulométricos de los sedimentos suspendidos del Río Bermejo muestran que cuando ocurren las máximas descargas sólidas, los porcentajes de la fracción fina suspendida se incrementan notablemente.

La diferencia de caudales entre los ríos Paraguay y Bermejo llevan a una importante dilución de las concentraciones de los sedimentos suspendidos del Bermejo.

Con lo que respecta al comportamiento sedimentológico del alto Paraná, Scartascini (1971) demostró, para el período abril 1970 – Marzo 1971, que las máximas concentraciones coinciden con los picos de caudal.

Las altas concentraciones del bajo Paraguay caen notablemente al confluir con el alto Paraná debido a las diferencias de caudal entre ambos ríos.

Drago & Amsler analizaron durante 1976-1981 la relación de las características hidrosedimentológicas del régimen del Río Bermejo con el período de ocurrencia de las máximas concentraciones de carga de lavado en el tramo medio del Paraná.

Una de las características encontradas fue el retraso de los picos de concentración con respecto a los máximos caudales. Este comportamiento puede explicarse debido a lo siguiente:

El movimiento medio anual de alturas hidrométricas del Río Bermejo en Presidencia Roca, 254 km. antes de la desembocadura en el Paraguay, muestra que los niveles máximos ocurren en el mes de marzo y los mínimos en septiembre-octubre.

Cuando los máximos caudales del alto Paraná llegan a la sección “Corrientes”, los picos de descarga líquida del Bermejo todavía no llegan a la citada sección de “Presidencia Roca”.

Como en el Río Bermejo, los picos de concentración y máximos caudales, son prácticamente eventos simultáneos, es esperable que en el Río Paraná las concentraciones más grandes de carga de lavado ocurran normalmente un cierto tiempo después de fines de marzo o abril, produciéndose así, el retraso mencionado anteriormente. Este último fue cuantificado en 22 días para dos de los ciclos muestreados.

Las concentraciones de carga de lavado en el resto del año alcanzan valores mínimos, puesto que el Río Bermejo fuera del período de crecidas, transporta cargas de sedimento muy

reducidas. (AyEE 1987) Por otra parte, los aportes del Alto Paraná y del Paraguay aguas arriba de la desembocadura del Bermejo, no alcanzan en ningún momento la significación de los de este último. (Drago & Amsler 1988)

La concentración de los sedimentos suspendidos del Río Paraná sufre un notorio incremento aguas abajo de la confluencia con el Paraguay. Como este río no tiene un transporte en suspensión significativo antes de recibir al Bermejo, se verifica que es este último es el causante de esta situación. (Orfeo 1995)

Según mediciones de Drago & Amsler (1988) y de otras fuentes, pudo cuantificarse la influencia del Río Bermejo sobre la carga sólida del Río Paraná en su tramo medio: 60-65% de la carga de lavado del Río Paraná está dada por la del Bermejo.

Desde el punto de vista granulométrico, en una de las series de mediciones realizadas por el INALI, Drago & Amsler estudiaron la granometría de los sedimentos suspendidos del Paraná medio.

Allí determinaron que la mayor proporción de los diámetros medios de las distribuciones analizadas, se halló comprendida dentro de los rangos de los **limos finos y muy finos**, indicando que la carga de lavado (constituida por partículas menores de 31 μm para el perfil investigado) es preponderante en el sedimento suspendido transportado por el río en esta sección.

En efecto, los porcentajes medios de la carga de lavado y de la fracción arcilla obtenidos en las verticales muestreadas para todo el período considerado (octubre 1976-diciembre 1977), determinaron que la carga foránea constituye alrededor del 80% de la carga total suspendida. A su vez la fracción arcilla se encuentra en una proporción del 40%.

Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla						
	Ribera Izquierda		Centro del Cauce		Ribera Derecha	
	Carga de Lavado	Arcilla	Carga de Lavado	Arcilla	Carga de Lavado	Arcilla
Promedio del período	85	43	82	38	83	38

Tabla 11: Porcentajes medios de carga de lavado y fracción arcilla del Paraná medio para el período octubre 1976 - diciembre 1977 (Amsler & Drago 1984)

Los diámetros medios comprendidos en un entorno de ϕ 7,5 -grados phi- (5,5 μm) reflejan el tamaño modal del material aportado por el Río Bermejo, compuesto en gran medida por partículas inferiores a 4 μm (ϕ 8), dado los marcados incrementos en la fracción arcilla detectados en el período en que pasan por la sección los picos de concentración suministrados por aquel río (segunda quincena de marzo-primera mitad de junio, 1977). Es durante este evento cuando el sedimento en suspensión presenta la mejor selección.

Exceptuando el período anterior con neta influencia del Río Bermejo, el sedimento en suspensión se presenta pobremente seleccionando al ser el resultado de la mezcla del material

originado en el propio cauce del río, en su llanura aluvial y en los Ríos alto Paraná y Paraguay. La moda principal en la distribución de los diámetros medios, se desplaza hacia el rango de los limos finos, indicando una granometría más gruesa.

Resumiendo, los diferentes tipos de material en suspensión que se incorporan al cauce principal del Paraná en su tramo medio, son mezclados por el río de una manera tal, que conforman un sedimento suspendido polimodal, pobremente seleccionado salvo, cuando se transportan los picos de concentraciones aportados por el Río Bermejo.

Según Orfeo (1995), aguas arriba de la confluencia con el Paraguay, los sólidos suspendidos del Paraná son muy homogéneos y están compuestos por altos porcentajes de arcillas (82%) y menor proporción de limos (18%). Aguas abajo de la confluencia, en margen izquierda se mantienen las mismas proporciones, mientras que en margen derecha se observa un importante incremento de los limos (63%), disminuyendo las arcillas (32%), con un 5% de arenas.

La relación porcentual de tamaños que presentan los sólidos suspendidos del Bermejo puede ser adecuadamente reconocida en el Paraná, permitiendo identificar su incidencia sobre este último, hasta la localidad de Empedrado (Corrientes), como puede apreciarse en el siguiente cuadro, extraído de la citada referencia:

Lugar	% Arenas	% Limos	% Arcillas
Itatí	0	15	85
Paso de la Patria ⁽¹⁾	0	22	78
Paso de la Patria ⁽²⁾	5	63	32
Corrientes	4	66	30
Empedrado	3	67	30

⁽¹⁾ Aguas arriba de la confluencia Paraguay-Paraná

⁽²⁾ Aguas abajo de la confluencia Paraguay-Paraná

Tabla 12: Composición granulométrica de la carga suspendida del Paraná (Orfeo 1995)

Como se mencionó anteriormente, los diferentes tipos de material en suspensión que se incorporan al cauce principal del Paraná en su tramo medio, son mezclados por el río de una manera tal que conforman un sedimento suspendido polimodal, pobremente seleccionado, excepto cuando se transportan los picos de concentración aportados por el Bermejo.

Los sedimentos finos transportados en suspensión por el Paraná, salvo situaciones particulares, sólo encuentran condiciones favorables de deposición al llegar al Río de la Plata y sus canales de navegación. (Hopwood et al. 1991)

Muestras del lecho extraídas de los pasos de navegación del Paraná inferior demuestran una existencia preponderante de arenas, arrojando un diámetro medio de aproximadamente 250 μm . (Brea et al. 1996)

Recién en los canales de navegación del Río de la Plata se encuentran altas proporciones de limos en las muestras del lecho, que demuestran que recién en estas zonas las condiciones de velocidad de la corriente son tales que permiten la depositación de los sólidos suspendidos. Los diámetros medios de las muestras de lecho extraídas del canal Mitre (19 μm), canal de acceso (10 μm) y canal Punta Indio (10 μm) confirman lo expresado. (Brea et al. 1996)

De esta manera, en base al análisis de concentraciones y granulometrías, queda reflejado el hecho que los sedimentos del Bermejo son en gran medida los que se depositan en los canales de navegación del Río de la Plata, demostrándose así, la gran incidencia de este tributario en la carga suspendida del Paraná.

Un análisis complementario de lo anterior, resulta de estudiar la composición mineralógica de la fracción arcilla de los sedimentos suspendidos en una corriente fluvial, que proporciona información sobre el origen de las mismas.

El sedimento suspendido del Bermejo, muestreado en Puerto Vélaz, presenta una composición mineralógica de la fracción arcilla con marcado dominio de illita (60%), con presencia de esmectitas (25%) y caolinita (15%). (Orfeo 1995)

De acuerdo a Depetris (1968), las arcillas suspendidas del alto Paraná, aguas abajo de la confluencia con el Paraguay, presentan abundante cantidad de illita y montmorillonita, con menores proporciones de caolinita y clorita. Como se ha dicho, la montmorillonita y caolinita provienen de la región tropical (escudo brasileño), mientras que la illita y la clorita son suministrados por el río Bermejo.

El predominio de illita (60%) constituye una característica distintiva, ya que dicho componente, ausente en los sedimentos suspendidos aguas arriba de la confluencia Paraná-Paraguay, tiene sus orígenes en la erosión de terrenos áridos y semiáridos típicos de regiones andinas, lo que indica su procedencia.

Las características mencionadas se mantienen por el río, hacia aguas abajo. A la altura de la ciudad de Paraná, se encuentran los mismos componentes en las arcillas en suspensión: illita, caolinita, montmorillonita y clorita. (Amsler et al. 1984) Se observa el mismo porcentaje de illita (60%), correspondiendo el resto a las otras componentes.

Al llegar al Río de la Plata, las muestras de sedimentos suspendidos y de fondos oceánicos adyacentes, muestran también predominio de illita (44%), seguida por la montmorillonita (30%), quedando el resto conformado por caolinita y clorita. (Depetris 1968) En muestras de lecho del Río de la Plata exterior se encuentran partes iguales de illita, caolinita y montmorillonita, por influencia de corrientes oceánicas. (Siegel et al. 1968)

En base al análisis efectuado, y si se tiene en cuenta que del total de illita aportada al Río de la Plata el 95% proviene del Río Paraná y el 5% restante del Río Uruguay, y que, el 100% de la clorita que llega al Río de la Plata proviene también del Paraná (Depetris 1968), se puede concluir que la mayor parte de estos materiales son aportados por el Río Bermejo.

La conclusión surgida acerca de que los sedimentos del Bermejo son en gran parte los que se depositan en los canales del Río de la Plata, basada en las granulometrías y concentraciones, se ve reforzada por el análisis de la composición mineralógica de las arcillas, que arroja una conclusión en el mismo sentido.

En efecto, Brea et al. (1999), determinaron la incidencia del Río Bermejo en la carga de sólidos suspendidos totales del Río Paraná, de tres maneras distintas:

1. Considerando toda la serie de datos disponibles (registro histórico)
2. Mediante la recopilación de aforos líquidos y sólidos provistos por EVARSA
3. Utilizando las mediciones de caudales medios mensuales según el último anuario hidrológico (EVARSA; 1994) y determinando el caudal sólido total en suspensión mediante las relaciones entre el caudal líquido (**Ql**) y el caudal sólido (**Qs**) obtenidas de los aforos

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1. La carga sólida total en suspensión del Paraná en Corrientes se corresponde en un 70% a la del Bermejo (**90.000.000** de toneladas anuales), 24% a la del alto Paraná y el 6% restante a la del Paraguay.

El período de tiempo considerado, tiene **tanto en cuenta como no**, la incidencia de las presas en los ríos alto Paraná e Iguazú.

2. Para las secciones “Puerto Pilcomayo”, “Ita Cuá”, “Itatí” y “Túnel” se utilizó la serie de aforos líquidos y sólidos dada por EVARSA. El período contemplado por los aforos sólidos fue 1993-1998, es decir considerando la existencia de las presas de Itaipú y Yacyretá.

La proporción de los aportes sólidos en suspensión en este caso fue del 81% para el Bermejo (**100.000.000** de toneladas anuales), 13% para el alto Paraná y 6% para el Paraguay.

Estos se obtuvieron considerando los valores medios registrados en los aforos, a saber:

“Puerto Pilcomayo” (Paraguay antes de recibir al Bermejo)	251 kg/s	8.000.000 t/año
“Itatí” (alto Paraná)	506 kg/s	16.000.000 t/año
“Túnel” (Paraná inferior)	3.150 kg/s	100.000.000 t/año

El efecto de Itaipú y Yacyretá se refleja en la **disminución** de participación del alto Paraná.

3. Estimando la relación **Ql-Qs** de los aforos, se determinó el caudal sólido en suspensión mediante los caudales medios mensuales. Estos últimos se obtuvieron a partir del último anuario hidrológico. (EVARSA 1994)

El período de análisis fue 1969-1989, es decir que prácticamente una mitad de él contempla la influencia de las grandes presas en el alto Paraná, mientras que la otra no lo hace.

Las proporciones de los aportes sólidos totales en suspensión en este caso fueron del 87% para el Bermejo (**107.000.000** de toneladas anuales), 6% para el alto Paraná y 7% para el Paraguay. Aquí disminuyó aún más la participación del Alto Paraná.

Se obtuvieron los siguientes valores de gasto sólido en suspensión:

Río	Estación	QsT [1.000 t/año]
Bermejo superior	Z. del Tigre-P. Sarmiento	87.199
San Francisco	Caimancito	25.159
Bermejo inferior	El Colorado	106.913
Paraguay	Puerto Pilcomayo	8.125
Paraná	Itatí	8.005
Paraná	Túnel	99.477

Tabla 13: Gasto sólido en suspensión a lo largo de todo el sistema (Brea et al. 1999)

Al comparar los puntos **2.** y **3.** debe tenerse en cuenta que los valores obtenidos en **2.** deberían ser los más cercanos a los actuales, ya que los mismos fueron obtenidos de mediciones directas de caudales sólidos y el período analizado fue 1993-1998, es decir contemplando la influencia de las presas Itaipú y Yacyretá.

Por lo tanto el punto **3.** que considera el período 1969-1989, debería concluir con aportes del alto Paraná algo mayores que los obtenidos en **2.** Sin embargo, como se vio anteriormente no fue así, aunque es oportuno señalar que en **3.** el período considerado fue más extenso y las características de las variables analizadas (en especial, la alta dispersión de los aforos sólidos), y la metodología empleada (determinación de relaciones entre caudales líquidos y sólidos aforados y su aplicación con caudales medios mensuales) hacen que los resultados obtenidos no puedan considerarse numéricamente exactos, aunque sí absolutamente válidos para el análisis llevado a cabo en el trabajo.

A pesar de todo esto, puede verse que los porcentajes de aporte son del mismo orden de magnitud. Por lo tanto, es razonable considerar al aporte del Bermejo comprendido entre los valores de **90.000.000** y **110.000.000** de toneladas anuales, siendo el material prácticamente todo **fino**.

De la misma forma, el aporte del Paraguay estaría dado por unos **8.000.000** de toneladas al año y el del alto Paraná comprendido entre **8.000.000** y **16.000.000** de toneladas anuales.

Sobre la incidencia en el Delta del Paraná en particular, puede mencionarse lo siguiente:

La carga de sedimentos finos inyectada por los tributarios en la cabecera del Río de la Plata conduce a un proceso de sedimentación aguas abajo del frente del delta, debido a que la brusca expansión del ancho produce una drástica reducción de la capacidad del flujo a transportar sedimento en suspensión. (Menéndez, Á.; 2001)

Toda la zona del Delta del Paraná se encuentra afectada por la onda de marea que penetra en el Río de la Plata. Dicha onda está alterada, entre otros factores, por la descarga fluvial, la resistencia al escurrimiento por la baja profundidad, la morfología del estuario, y la configuración de la red de canales que conforma el delta. Hacia aguas arriba, la onda de marea remonta los brazos del delta y el Río Paraná, considerándose que su efecto es totalmente despreciable recién a la altura de la ciudad de Rosario. (Brea et al. 1999)

Vale mencionar que, en términos generales, las corrientes del Río de la Plata no tienen

capacidad de arrastre suficiente para el transporte de arenas, lo que implica que **las arenas que ingresan al delta por transporte fluvial son depositadas en esa zona**, pudiendo ser redistribuidos en algunos casos por acción del viento y/o por procesos litorales (acción del oleaje sobre playas). (Brea et al. 1999)

En cuanto a la deposición de limos y arcillas, resulta conveniente caracterizar el comportamiento del sistema **en aguas bajas y en aguas altas**.

En el caso de **aguas bajas**, los limos son transportados como carga de lavado junto con la corriente de agua. En esta condición, las aguas fluyen por los cursos del sistema en forma encauzada, existiendo algunas pérdidas del material de la carga de lavado en brazos transversales y cuerpos de agua laterales, tales como lagunas y dársenas portuarias, donde se dan las condiciones de velocidad de la corriente que permitan su deposición. Consecuentemente, **puede decirse que el limo es conducido con una eficiencia alta a la desembocadura de los cauces fluviales en el Río de la Plata**.

En el caso de **aguas altas**, se produce un intercambio entre el agua de los cauces y las masas de agua que inundan las planicies e islas del delta. Cuando una masa de agua con carga de lavado ingresa en zonas inundadas de muy baja velocidad, **se produce la deposición de dichos materiales, contribuyendo así al crecimiento del delta**. (Brea et al. 1999)

Resumiendo, el delta es una formación que crece **continuamente** tanto en longitud como en cota. Con respecto al primero las arenas son las que tienen más influencia, mientras que los limos tienen mayor peso en el crecimiento en cota (emergencia de bancos que se transforman en islas).

Respecto al avance del frente del delta, cabe indicar que en la situación actual, es posible distinguir dos frentes principales de avance, uno en torno al Paraná Guazú y otro asociado al Paraná de las Palmas. Para el primero las tasas de avance están comprendidas entre 0 y 25 m/año, mientras que para el Paraná de las Palmas se llegan a valores entre 50 y 100 m/año. (Pittau et al. 2003)

3.2 TRANSPORTE DE SÓLIDOS DEL RÍO PARANÁ

3.2.1 CARGA EN SUSPENSIÓN

En uno de los puntos anteriores se expuso toda la información, existente en las distintas publicaciones y trabajos, que hace referencia a la carga sólida del Río Paraná.

En particular, en este capítulo, nos abocaremos al análisis de dicha información, de manera que el estudio de las compatibilidades y contradicciones que existen en las distintas fuentes, nos permitan llegar a conclusiones satisfactorias.

Si bien todos los valores de carga suspendida que se presentaron anteriormente están dentro del mismo orden de magnitud, no hay que dejar de mencionar lo siguiente:

El promedio de las distintas concentraciones medidas por Bertoldi de Pomar (1984), para el período 1976-1981 en la sección “Toma de Aguas Corrientes” en Paraná, Entre Ríos, puede verse en el siguiente cuadro:

Concentración Promedio de Sedimentos Suspendidos Totales [mg/l]						
	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981	Promedio
Ribera Izquierda	150,90	174,10	180,45	182,25	157,90	169,10
Centro	185,60	216,90	240,15	226,40	217,75	217,35
Ribera Derecha	168,50	189,44	221,60	195,15	195,05	193,95

Promedio en la sección	168,35	193,50	214,05	201,25	190,25	193,50
-------------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 14: Concentración promedio de sedimentos suspendidos totales en la sección "Toma de Aguas Corrientes" Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

Con los distintos promedios de las concentraciones se estimará el transporte en suspensión total para los distintos ciclos hidrológicos. El transporte anual está dado por la siguiente expresión:

$$Q_{sólido} = C \cdot Q_{líquido} \cdot 31,536$$

donde: $Q_{sólido}$: Transporte en suspensión total (carga de lavado y material de fondo en suspensión) [t/año]

C : Concentración promedio de sedimentos suspendidos totales [mg/l]

$Q_{líquido}$: Caudal líquido [m^3/s]

Tomando un caudal módulo de $17.000 m^3/s$, resulta:

Transporte en Suspensión Total [t/año]					
Ciclo Hidrológico					Promedio
1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981	
90.254.455	103.737.672	114.754.774	107.892.540	101.995.308	103.737.672

Tabla 15: Transporte de sedimentos suspendidos totales en la sección "Toma de Aguas Corrientes" Paraná, Entre Ríos (Bertoldi de Pomar 1984)

Puede observarse que el transporte anual de los sólidos suspendidos totales varió entre 90 y 115 millones de toneladas, siendo el promedio de alrededor de 105 millones.

Ahora bien, el promedio del transporte de sedimentos suspendidos determinado por Amsler & Drago (1988) para el mismo período y en la misma sección que el muestreo anterior, resulta de:

Transporte de sedimentos suspendidos [t/año]				
Año	Río Bermejo Sección "Juntas de San Antonio", Salta	Río Paraná medio + Río Colastiné Sección "Toma de Aguas Corrientes", Entre Ríos		
		Período de Concentraciones Pico	Período Restante	Total
1976-1977	127.646.000	56.056.482	36.316.451	92.372.933
1977-1978	79.931.950	75.089.907	32.642.772	107.732.679
1978-1979	106.285.000	88.377.530	34.873.522	123.251.052
1979-1980	100.847.000	62.127.531	45.418.125	107.454.656
1980-1981	191.920.000	67.561.351	45.601.311	113.162.662
Promedio	121.325.990	69.842.560	38.970.436	108.794.796

Tabla 16: Transporte de sedimentos suspendidos totales en la sección "Toma de Aguas Corrientes" Paraná, Entre Ríos (Amsler & Drago 1988)

Es decir que durante 1976-1981 el transporte **total** anual promedio fue de aproximadamente **110 millones** de toneladas, de las cuales **70 millones** corresponden a los meses **pico de concentración** (diciembre-mayo) y 40 millones al período restante del año.

Lo primero que podemos observar es que el valor promedio total difiere en menos del 5% con respecto al obtenido según la serie de muestras analizadas por H. Bertoldi de Pomar. Dicho valor era de **103.737.672** millones de toneladas.

Aunque debemos mencionar que el segundo valor fue determinado para sólidos suspendidos totales (carga de lavado más material de fondo en suspensión), mientras que el primero, si bien no es aclarado, parecería ser tratado como valor de carga de lavado, debido al gran porcentaje que esta representa (alrededor del 80% de la carga total suspendida).

Analizando el valor promedio obtenido anteriormente de 110 millones de toneladas y considerando un caudal módulo entre 16.000 y 17.000 m³/s, el valor de concentración media que se desprende es de aproximadamente **215 mg/l**.

En el trabajo realizado por Amsler & Drago (1988) se señaló que cuando ocurrieron las máximas descargas sólidas, el transporte sedimentario medido había sido significativamente menor que el aportado por el Río Bermejo. Esto implicó que la frecuencia de muestreo en la sección de estudio no fue completamente adecuada y, más aún, que los picos de máximas concentraciones no fueron muestreados. Es decir que la mayoría de los valores obtenidos en dicho trabajo están subestimados.

Por lo tanto, la concentración media debería estar entre **215 mg/l** y un valor algo mayor a **250 mg/l**, ya que este último fue obtenido, según los mismos autores, en la sección “Corrientes” para períodos pico de concentración.

En otra de las series de mediciones realizadas por el INALI, se determinaron las siguientes concentraciones de carga de lavado:

Concentración de Carga de Lavado [mg/l]					
	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	1980-1981
Máxima	450	575	450	550	610
Mínima	60	60	70	90	100
Media Anual	185	215	285	230	220

Tabla 17: Concentración de carga de lavado en la sección “Toma de Aguas Corrientes” Paraná, Entre Ríos (Amsler 1995)

Amsler (1995) comparó, en otro de sus trabajos, al valor medio anual del cuadro anterior (230 mg/l) con el obtenido por él y Drago para el período diciembre-mayo de 1971 a 1974. Aquí es donde debe considerarse que ese último valor (250 mg/l) fue determinado para los períodos de **máxima descarga líquida y sólida** del sistema fluvial.

Las consideraciones hechas por Drago & Amsler en la probable subestimación de algunos de los valores máximos recabados por el INALI, implican que el valor medio de la concentración de la carga de lavado sería mayor de 230 mg/l. Sin embargo, el rango de concentraciones de 250-300 mg/l estimado por los autores, es considerado algo excesivo teniendo en cuenta lo dicho en los párrafos anteriores.

Por todo lo expuesto se cree más oportuno tomar un rango de variación de **230-270 mg/l** para la concentración de la carga de lavado del Río Paraná en su desembocadura.

En uno de los capítulos anteriores se mencionó que a partir de ciertas muestras de sedimento suspendido obtenidas en “Paso Alvear” (Rosario), la concentración de sólidos suspendidos totales estaría entre 400 y 450 mg/l. (Menéndez 2001)

Si bien no es aclarado a que período de tiempo corresponden dichas muestras, se infiere dado sus valores, que las mismas corresponden a períodos de **máxima concentración**.

En efecto, el valor medio de la carga de lavado estaría dando unos 400 mg/l, el cual según lo visto hasta el momento, resultaría excesivo para tomarse como un valor medio representativo de la concentración **anual**.

3.2.2 CARGA DE FONDO

Como se mencionó en el capítulo correspondiente, el transporte de arenas en el Paraná, tanto en suspensión como por arrastre de fondo, se produce a una tasa que es la correspondiente a la capacidad de saturación, razón por la cual puede computarse a partir de

fórmulas tales como la de **Engelund-Hansen**, que arroja, para condiciones medias del río, un valor del transporte total de arenas del orden de **25 millones de toneladas al año**.

Según Orfeo (1995), dicho valor asciende a unos 40 millones de toneladas anuales. Este último fue obtenido mediante la utilización de gráficos empíricos (Colby 1964), los cuales relacionan velocidad media de flujo, tamaño de grano, profundidad del canal y temperatura del agua.

Se eligieron dos métodos gráficos para comparar resultados obtenidos mediante distintos procedimientos.

En uno de ellos se interceptó la velocidad media con una de las curvas de carga de fondo por unidad de ancho, de acuerdo al tamaño de grano. Por la semejanza encontrada con caudales y rango de diámetro de los sedimentos del lecho del Río Paraná, se seleccionó la curva correspondiente al Río Mississippi (cuyo gasto sólido es de aproximadamente 500 millones de toneladas por año).

El ancho del río se estimó en 1778 metros, obteniéndose 39,7 millones t/año de transporte de material de fondo.

El otro método es semejante al anterior pero discrimina diferentes profundidades del canal. Tomando un valor medio de 13 m de profundidad y considerando el mismo ancho que el anterior, se llegó a determinar al transporte de material de fondo en 38,0 millones t/año.

Si bien las cifras obtenidas por los dos métodos son semejantes, deben tomarse con cierto cuidado debido a la cantidad de aproximaciones que se tomaron para el cálculo.

4 BALANCE DE SÓLIDOS

4.1 VALORES REPRESENTATIVOS A ADOPTAR

En este capítulo se expondrán los valores que se tomarán como representativos del transporte sólido anual del Río Paraná en su desembocadura.

Carga en Suspensión:

Según lo discutido anteriormente, en la sección “Aguas Corrientes” de Paraná, Entre Ríos (km 606), la concentración promedio de carga suspendida total estimada para el período 1976-1981 varió, según las distintas series de muestras realizadas por el INALI, entre 194, 215 y 230 mg/l. Estos valores deberán ser mayores si se tiene en cuenta lo expresado por Amsler (1995) en la posible subestimación de alguno de ellos.

Sin embargo, según se mencionó en uno de los capítulos anteriores, el rango de 250-300 mg/l adoptado por Amsler para la concentración de carga de lavado del Río Paraná en su desembocadura, es considerado algo excesivo. Es por ello que se creyó más oportuno tomar un rango de variación de **230-270 mg/l**.

Es aquí donde hay que considerar que todos los valores presentados hasta el momento se corresponden a períodos de tiempo en los cuales la presa de Itaipú estaba en construcción y la presa de Yacyretá (1983-1994) en proyecto. La presa de Itaipú comenzó a construirse en 1975 y recién a fines de 1982 se llenó por primera vez el embalse. Es decir que fue a partir de esa fecha cuando comenzó a retener sedimentos.

Esta consideración implicaría que los valores manejados hasta el momento deberían ser aún algo menores. Sin embargo, no habría problemas en seguir trabajando con el rango anterior de concentraciones dado la poca importancia que tiene la cantidad de finos transportada por el Paraná en comparación con la del Bermejo.

De esta manera, resultaría una concentración media de unos **250 mg/l**, la cual implicaría a su vez, un transporte de carga de lavado de unos **135.000.000** de toneladas anuales.

De acuerdo a Amsler & Drago (1984), la carga de lavado, constituida a partir de las partículas menores a 31 μm (arcillas; limos finos y medianos), representa el 80-85% de la carga total suspendida. Si consideramos que la carga de lavado viene dada por las arcillas y los limos en su totalidad, entonces, podría afirmarse que la misma representa alrededor del 90% de la carga suspendida total.

Esto nos estaría indicando que la carga sólida total en suspensión sería de alrededor de **145 millones** de toneladas anuales. Según el tamaño de las distintas partículas, dicha carga sólida, vendría dada de la siguiente manera:

	Proporción respecto a la carga total suspendida	Transporte en suspensión anual en millones de toneladas
Arcillas	30%	45
Limos	60-65%	90
Arenas	5-10%	10

Tabla 18: Carga total en suspensión del Río Paraná de acuerdo al tamaño de las partículas

Carga de Fondo:

Como se vio anteriormente, la fórmula de Engelund-Hansen, predice un transporte de arena, tanto por arrastre como suspensión, de unos **25 millones** de toneladas al año. De esta forma, la carga de fondo sería de unos **15 millones** de toneladas anuales.

	Por deslizamiento, rodamiento y saltación	En suspensión
Transporte de Arenas en millones de toneladas anuales	15	10

Tabla 19: Transporte de arenas del Río Paraná

Carga Total:

Por todo lo visto, se concluye que al presente, el transporte total anual de sedimentos del Río Paraná en su desembocadura es de unos **160 millones** de toneladas. Discriminando por el tamaño de partículas, el transporte total resulta:

	Proporción respecto a la carga total	Transporte total anual en millones de toneladas
Arcillas	25%	45
Limos	60%	90
Arenas	15%	25

Tabla 20: Transporte de sedimentos del Río Paraná de acuerdo al tamaño de las partículas

Deposición de sedimentos en el Delta del Paraná y Río de la Plata:

El delta es una formación que crece **continuamente** tanto en longitud como en cota. Con respecto al primero las arenas son las que tienen más influencia, mientras que los limos tienen mayor peso en el crecimiento en cota (emergencia de bancos que se transforman en islas).

Las **arenas** que ingresan al delta por transporte fluvial se depositan en su totalidad en dicha zona. Sólo para el período de aguas altas se deposita una parte de los **limos** en el delta.

Respecto al avance del frente del delta, cabe indicar que en la situación actual, es posible distinguir dos frentes principales de avance, uno en torno al Paraná Guazú y otro asociado al Paraná de las Palmas. Para el primero las tasas de avance están comprendidas entre 0 y 25 m/año, mientras que para el Paraná de las Palmas se llegan a valores entre 50 y 100 m/año.

En los canales navegables del Río de la Plata se depositan aproximadamente **23.000.000** de toneladas anuales de sedimento (finos, preponderantemente limos).

El resto del material se deposita en el lecho del Río de la Plata fuera de la zona de canales y en el Océano.

4.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA

Teniendo en cuenta todas las consideraciones hechas anteriormente, se concluye que al presente, el transporte total anual de sedimentos del Río Paraná en su desembocadura está conformado de la siguiente manera:

Carga Total:

	Rango de variación en millones de toneladas anuales	Valor medio en millones de toneladas anuales	Proporción respecto a la carga total
Arcillas	40-50	45	25%
Limos	80-100	90	60%
Arenas	20-30	25	15%
Total	140-180	160	100%

Tabla 21: Composición de la carga sólida del Río Paraná

Carga Suspendida Total:

	Rango de variación en millones de toneladas anuales	Valor medio en millones de toneladas anuales	Proporción respecto a la carga suspendida total
Arcillas	40-50	45	30%
Limos	80-100	90	60-65%
Arenas	5-15	10	5-10%
Total	125-165	145	100%

Tabla 22: Composición de la carga suspendida total del Río Paraná

Carga de Lavado:

Se considera que la misma está conformada por las arcillas y los limos en su totalidad.

	Rango de variación	Valor medio	Proporción respecto a la carga suspendida total
Concentración en mg/l	230-270	250	-
Transporte anual en millones de toneladas	115-145	135	90%

Tabla 23: Carga de lavado del Río Paraná

Carga de Fondo:

La carga de fondo está dada por la arena transportada sólo por arrastre y su valor es de unos **15 millones** de toneladas anuales.

Teniendo en cuenta valores medios, el balance de los **sólidos totales en suspensión** puede verse en la siguiente figura:

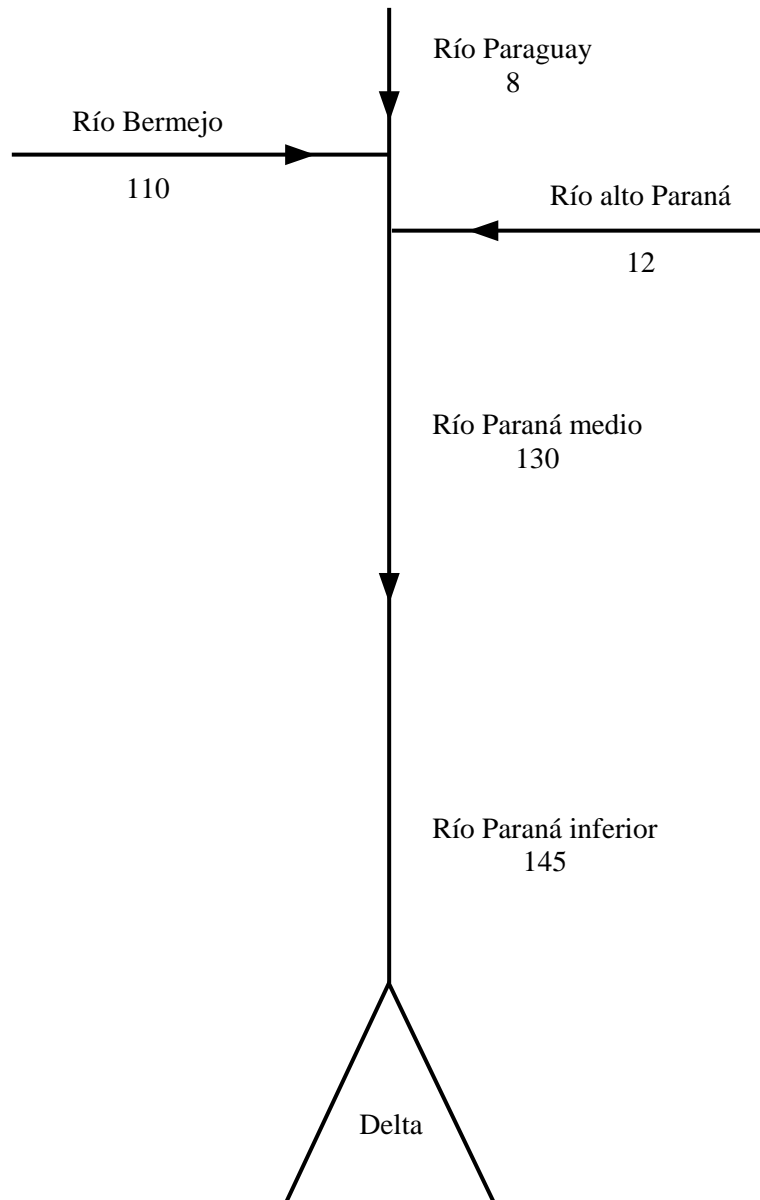


Figura 4: Balance de sólidos totales en suspensión (valores en millones de toneladas anuales)

5 CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis desarrollado, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Al presente, el Río Paraná en su desembocadura transporta aproximadamente un total de **160.000.000** de toneladas anuales. Dicha carga se reparte en función del tamaño de sus partículas de la siguiente manera:

Arcillas	45 millones t/año	(25%)
Limos	90 millones t/año	(60%)
Arenas	25 millones t/año	(15%)

- La carga suspendida total es de alrededor de **145.000.000** de toneladas al año, distribuidas de la siguiente forma:

Arcillas	45 millones t/año	(30%)
Limos	90 millones t/año	(60-65%)
Arenas	10 millones t/año	(5-10%)

- La carga de lavado, conformada por las arcillas y los limos en su totalidad, fue cuantificada en unos **135.000.000** de toneladas anuales. Dicho valor representa aproximadamente el 90% de la carga total suspendida.
- La concentración media de la carga de lavado resultó de unos 250 mg/l.
- La carga de fondo, que viene dada por la arena transportada sólo por arrastre, fue cuantificada en alrededor de **15.000.000** de toneladas al año.
- En el Delta del Paraná se deposita toda la arena transportada (**25.000.000** de toneladas) y sólo una parte de los limos.
- El delta es una formación que crece **continuamente** tanto en longitud como en cota. Con respecto al primero las arenas son las que tienen más influencia, mientras que los limos tienen mayor peso en el crecimiento en cota (emergencia de bancos que se transforman en islas).
- En los canales navegables del Río de la Plata se depositan aproximadamente **23.000.000** de toneladas anuales de sedimento (finos, preponderantemente **limos**).
- El Río Bermejo aporta alrededor del **70%** de la carga sólida total del Río Paraná en su desembocadura.

REFERENCIAS

1. *Discharge of sands and mean-velocity relationships in sand-beds streams.*
U. S. Geol. Survey
Colby, B.; 1964
2. *Mineralogía de algunos sedimentos fluviales de la cuenca del Río de la Plata.*
Rev. Asoc. Geológica Arg., tomo XXIII. Buenos Aires, Argentina
Depetris, P.; 1968
3. *Clay Mineralogy in the Estuary of the Río de la Plata, South America.*
XXIII International Geological Congress. Vol II
Siegel, F.; Pierce, J.; Urien, C.; Stone, I.; 1968
4. *Caudales sedimentarios en suspensión del Río Alto Paraná.*
Actas V Congr. Nac. del Agua, Santa Fe, Argentina
Scartascini, G.; 1971
5. *Estudio de navegabilidad del río Paraguay al sur de Asunción.*
Estudios hidráulicos e hidrológicos. Volumen II
Halcrow, W. & Partners; 1973
6. *Mediciones del transporte de sedimentos en el río Paraná a la altura de Corrientes.*
Proyecto ARG/73/023: Mejoramiento de la Navegación del Río Paraná, Naciones Unidas,
Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Buenos Aires,
Argentina
Lelievre, J.; Navntoft, E.; 1977
7. *Estudios limnológicos de una sección transversal del tramo medio del Río Paraná.
II: Características y variaciones temporales de la granometría de los sedimentos
suspendidos.*
Revista de la asociación de Ciencias Naturales del Litoral
Amsler, M.; Drago, E.; 1984
8. *Estudios limnológicos de una sección transversal del tramo medio del Río Paraná.
III: Componentes sólidos transportados en suspensión.*
Revista de la asociación de Ciencias Naturales del Litoral
Bertoldi de Pomar, H.; 1984
9. *Caracteres sedimentológicos de la carga en suspensión del río Paraná entre Corrientes y
Esquina. (Rep. Argentina)*
Rev. Asoc. Arg. Min., Petr. y Sediment., Buenos Aires, Argentina
Bonetto, A.; Orfeo, O.; 1984

10. *Estadística Hidrológica hasta 1983.*
Agua y Energía Eléctrica. Tomos I y II. División Recursos Hídricos, Buenos Aires, Argentina
AyEE; 1987
11. *Suspended sediment at a cross section of the middle Paraná River: concentration, granulometry and influence of the main tributaries.*
Drago, E.; Amsler, M.; 1988
12. *Informe de diagnóstico sobre navegación en la Ruta Rosario-Océano.*
Informe LHA-114-0-91
Hopwood, H.; Menéndez, Á.; Chividini, M.; Cavaliere, M.; Brea, J.; 1991
13. *Estadística hidrológica hasta 1994.*
Secretaría de Energía. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Buenos Aires, Argentina
EVARSA; 1994
14. *Carga de lavado del Río Paraná en sus tramos medio e inferior.*
Origen, comportamiento anual, concentraciones y caudales sólidos.
Amsler, M.; 1995
15. *Sedimentología del Río Paraná en el área de su confluencia con el Río Paraguay.*
Tesis doctoral
Orfeo, O.; 1995
16. *Estudio sedimentológico preliminar de la Cuenca Inferior del Río Bermejo. Evaluación del impacto de las presas de la Alta Cuenca del Río Bermejo en la morfología del tramo inferior.*
Informe LHA 131-01-96. INCYTH-COREBE
Brea, J.; Busquets, M.; Spalletti, P.; 1996
17. *El Delta del Paraná y el Estuario del Río de la Plata - Isla Martín García.*
XIII Congreso Geológico Argentino - III Congreso de Exploración de Hidrocarburos
Codignotto, J.; 1996
18. *Generación y transporte de sedimentos en la alta cuenca del Río Bermejo. Impacto en la hidrovía, delta del Paraná y Río de la Plata.*
Programa Estratégico de Acción para la Cuenca del Río Bermejo
Brea, J.; Busquets, M.; Spalletti, P.; 1999
19. *Description and modeling of the hydrosedimentologic mechanism in the Río de la Plata river.*
VII International Seminar on Recent Advances in Fluid Mechanics, Physics of Fluids and Associated Complex Systems
Menéndez, Á.; 2001

- 20.** *Estudios de Sedimentación para actualizar la definición de la vida útil del embalse del complejo hidroeléctrico Yacyretá.*
Informe para la Entidad Binacional Yacyretá
EVARSA, nhc, GLMorris & Associates; 2002
- 21.** *Análisis del avance del frente del delta del Río Paraná.*
III Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios (AADIP)
Pittau, M.; Sarubbi, A.; Menéndez, Á.; 2003