

**ARGENTINA • BOLIVIA • BRASIL • PARAGUAY • URUGUAY**  
**COMITE INTERGUBERNAMENTAL DE LA HIDROVIA PARAGUAY-PARANA - CIH**

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - BID**

**NACIONES UNIDAS**

**PROGRAMA DE LAS NACIONES  
UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD**  
Convenio BID - ATN/SF - 3822 - RE

**OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS  
DE SERVICIOS PARA PROYECTOS - UNOPS**  
Proyecto UNOPS RLA/91/R41

**ESTUDIOS DE INGENIERIA Y VIABILIDAD TECNICA  
Y ECONOMICA DEL MEJORAMIENTO DE LAS  
CONDICIONES DE NAVEGACION DE LA HIDROVIA  
PARAGUAY-PARANA  
(PUERTO CACERES - PUERTO NUEVA PALMIRA)**

**INFORME FINAL  
VOLUMEN IX**

**CAPITULO 10 - MORFOLOGIA FLUVIAL Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS**  
**CAPITULO 11 - ESTUDIOS PRELIMINARES DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA  
NAVEGACION**

**ASOCIACION HIDROSERVICE - LOUIS BERGER - EIH**

**Diciembre 1996**



<p style="text-align: center;"><b>HIDROVIA PARAGUAY - PARANA</b> <b>INFORME FINAL - ESQUEMA TEMATICO</b></p>
--

**PARTE I - GENERAL**

- Capítulo 1 - Introducción
- Capítulo 2 - Principales Resultados, Conclusiones y Recomendaciones
- Capítulo 3 - Criterios Generales de Análisis

**PARTE II - RELEVAMIENTOS Y ESTUDIOS BASICOS**

- Capítulo 4 - Cartografía Existente, Dragados Anteriores y Selección de Areas de Estudio
- Capítulo 5 - Relevamientos de Campo
- Capítulo 6 - Información General sobre Instalaciones Portuarias
- Capítulo 7 - Estudio Hidrológico

**PARTE III - ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y ANTEPROYECTO**

***III.1 - Estudios de anteproyecto***

- Capítulo 8 - Evaluación de la Flota y Selección de Embarcaciones de Proyecto
- Capítulo 9 - Proyectos Preliminares de las Obras de Navegación
- Capítulo 10 - Morfología Fluvial y Movimiento de Sedimentos
- Capítulo 11 - Estudio de los Sistemas de Ayuda a la Navegación

***III.2 - Estudios de impacto ambiental***

- Capítulo 12 - Evaluación del Impacto Ambiental de los Mejoramientos de la Hidrovía

***III.3 - Estudios de economía de transporte***

- Capítulo 13 - Análisis y Proyección de los Flujos de Transporte
- Capítulo 14 - Análisis de División Modal, Optimización Económica y Evaluación Financiera

***III.4 - Análisis de la estructura institucional y administrativa***

- Capítulo 15 - Implementación Institucional y Administrativa de la Hidrovía

**PARTE IV - PROYECTO Y PLAN DE INVERSIONES**

- Capítulo 16 - Proyectos Básicos de las Obras de Navegación
- Capítulo 17 - Mejoramientos de los Sistemas de Ayuda a la Navegación
- Capítulo 18 - Plan de Inversiones y Análisis Financiero
- Capítulo 19 - Plan de Desarrollo de la Hidrovía
- **Documentos de Licitación**
  - Pliego de Precalificación
  - Pliego de Licitación
    - Volumen 1: Condiciones Generales, Condiciones Contractuales y Proforma del Contrato
    - Volumen 2: Especificaciones Técnicas
    - Volumen 3: Instrucciones y Formularios para Preparación de las Ofertas
    - Volumen 4: Planos



<b>HIDROVIA PARAGUAY - PARANA</b> <b>INFORME FINAL - CONTENIDO</b>
---

***VOLUMEN I***

- Capítulo 1 - Introducción
- Capítulo 2 - Síntesis de los Trabajos

***VOLUMEN II***

- Capítulo 3 - Criterios Generales de Análisis
- Capítulo 4 - Cartografía Existente, Dragados Anteriores y Selección de Areas de Estudio
- Capítulo 5 - Relevamientos de Campo (Secciones 5.1, 5.2 y 5.3 y Anexo 5.1)

***VOLUMEN III***

- Capítulo 5 - Relevamientos de Campo (Anexos 5.2, 5.3 y 5.4)

***VOLUMEN IV***

- Capítulo 5 - Relevamientos de Campo (Anexos 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10)

***VOLUMEN V***

- Capítulo 6 - Información General sobre Instalaciones Portuarias

***VOLUMEN VI***

- Capítulo 7 - Estudios Hidrológicos

***VOLUMEN VII***

- Capítulo 8 - Evaluación de la Flota y Selección de Embarcaciones de Proyecto

***VOLUMEN VIII***

- Capítulo 9 - Proyectos Preliminares de las Obras de Navegación

***VOLUMEN IX***

- Capítulo 10 - Morfología Fluvial y Movimiento de Sedimentos
- Capítulo 11 - Estudios Preliminares de los Sistemas de Ayuda a la Navegación

***VOLUMEN X***

- Capítulo 12 - Evaluación del Impacto Ambiental de los Mejoramientos de la Hidrovía

***VOLUMEN XI***

- Capítulo 13 - Análisis y Proyección de los Flujos de Transporte

***VOLUMEN XII***

- Capítulo 14 - Análisis de División Modal, Optimización Económica y Evaluación Financiera

***VOLUMEN XIII***

- Capítulo 15 - Implementación Institucional y Administrativa de la Hidrovía

***VOLUMEN XIV***

- Capítulo 16 - Proyectos Básicos de las Obras de Navegación
- Capítulo 17 - Mejoramientos de los Sistemas de Ayuda a la Navegación

***VOLUMEN XV***

- Capítulo 18 - Plan de Inversiones y Análisis Financiero
- Capítulo 19 - Plan de Desarrollo de la Hidrovía

***DOCUMENTOS DE LICITACION***

- Pliego de Precalificación
- Pliego de Licitación
  - Volumen 1: Condiciones Generales y Contractuales y Proforma del Contrato
  - Volumen 2: Especificaciones Técnicas
  - Volumen 3: Instrucciones y Formularios para Preparación de las Ofertas
  - Volumen 4: Planos



## **CAPITULO 10**

### **MORFOLOGIA FLUVIAL Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS**





## CAPITULO 10

### MORFOLOGIA FLUVIAL Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS

#### INDICE

1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
2.	MORFOLOGIA FLUVIAL	5
3.	METODOLOGIA DEL MODELO NUMERICO	9
3.1	CONSIDERACIONES GENERALES	9
3.2	ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL PROCESO Y CONDICIONES DE LIMITES	9
3.3	PARAMETROS Y VARIABLES DE ENTRADA-SALIDA	11
3.4	CARACTERISTICAS Y LIMITACIONES	14
3.5	CALIBRACION Y VALIDACION	15
3.5.1	Tramo Santa Fé-Corumbá	15
3.5.2	Tramo Corumbá-Cáceres	18
4.	RESULTADOS DEL MODELO	20
4.1	TRAMO SANTA FE - CORUMBA	20
4.2	TRAMO CORUMBA-CACERES	22
5.	ESTIMACION DE DEPOSICION DE SEDIMENTOS EN EL CANAL TAMENGO	25



## **CAPITULO 10**

### **MORFOLOGIA FLUVIAL Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS**

#### **1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS**

El sistema hidroviario formado por los Ríos Paraguay-Paraná tiene más de 3400 km de largo desde su origen en Cáceres, Brasil hasta su terminación en el extremo superior del estuario del Río de la Plata. El sistema es complejo, de meandros en algunos lugares, trenzado en otros y exhibiendo una combinación de ambas características en otros lugares. Corriendo de Norte a Sur, el río pasa desde un régimen de clima tropical a uno en el que el caudal está fuertemente modulado por la descarga de los ríos provenientes de los Andes desde el Oeste. A lo largo de todo su curso el sistema es alimentado por una gran cantidad de grandes y pequeños tributarios que contribuyen al caudal principal con aguas y sedimentos adicionales. Anualmente una gran cantidad de sedimentos pasa por este medio fluvial de corriente libre y eso representa un problema para el desarrollo del río como una vía navegable. Una característica distintiva del sistema es su baja pendiente.

La navegación en el sistema de los Ríos Paraguay-Paraná tuvo sus picos hace 30 o 40 años. Desde entonces, debido al poco dragado y a la naturaleza de corriente libre del sistema, los canales de navegación han revertido esencialmente a sus condiciones de morfología y sedimentación naturales. Por lo tanto, puede suponerse que están en equilibrio el sedimento que transporta el sistema, el tamaño y graduación de los materiales sedimentarios en el lecho y los bancos, y el caudal hídrico. Este equilibrio se manifiesta en el proceso de transporte de sedimentos que incluye la erosión, transporte y deposición de partículas sedimentarias. En respuesta a la variabilidad espacial y temporal de las fuerzas hidráulicas fluviales, el sedimento es tomado de ciertas áreas del lecho y orillas del río, y depositado en otras áreas. Además, el intermitente transporte de arenas y de sedimentos de granos gruesos en el lecho tiene como resultado el desarrollo y la migración aguas abajo de formaciones de dunas, que ocupan una parte importante de la profundidad del curso. Los depósitos asociados tanto con la erosión y deposición alternadas como con las formas del lecho tienden a reducir la profundidad del agua y en consecuencia a ejercer un fuerte control sobre la navegabilidad del sistema.

La implementación de mejoras en las vías fluviales para mejorar las condiciones de navegación del sistema de los Ríos Paraguay-Paraná requerirá un dragado inicial importante en los tramos donde los sedimentos se acumulan ahora naturalmente. Más aún, las ubicaciones críticas requerirán un permanente dragado periódico de mantenimiento para garantizar el calado necesario para una navegación ininterrumpida. Ni el dragado inicial ni el de mantenimiento en las

ubicaciones críticas podrá eliminar el potencialmente serio problema de desarrollo y migración de formas del lecho (dunas).

Las modificaciones requeridas de canales y la naturaleza y frecuencia del dragado alterarán el balance dinámico natural del sistema de los Ríos Paraguay-Paraná. Como se indicó anteriormente, los efectos potenciales de una alteración del balance dinámico entre el caudal y el transporte de sedimentos producirá cambios en las velocidades de erosión y deposición, cambios en las relaciones entre el nivel de la corriente y la descarga, y cambios en la interrelación entre los distintos ambientes que integran la totalidad del sistema fluvial. Estos cambios tendrán una fuerte influencia sobre el diseño final de la vía fluvial tanto desde el punto de vista operativo como ambiental para determinar los costos anuales de mantenimiento, por lo que es importante comprender los regímenes existentes de caudal y transporte de sedimentos y, más importante aún, los efectos que las mejoras para la navegación, como el dragado de áreas críticas tendrán sobre esos regímenes. Para identificar y cuantificar esos efectos, se ha efectuado un estudio sobre un modelo numérico de los regímenes de caudal y transporte de sedimentos en el sistema de los Ríos Paraguay-Paraná. El modelo examina los cambios en los regímenes hidrológico y geomorfológico de la vía fluvial creada por el dragado de los sedimentos y la excavación de roca en áreas críticas. Los objetivos específicos del modelo incluyen:

#### **a - Tramo Santa Fé-Corumbá**

- estimación de los requerimientos de dragado de mantenimiento para los 23 tramos problemáticos seleccionados y extensión de los resultados a tramos morfológicamente similares;
- evaluación de los impactos del dragado sobre los niveles de agua en tramos seleccionados;
- comparación de los requerimientos de dragado con el transporte natural total de sedimentos.

El análisis de las 92 áreas específicas identificadas como impedimentos para una navegación continua en la vía fluvial Paraguay-Paraná revela tres problemas morfológicos fundamentales: (1), deposición de sedimentos en travesías; (2), lecho de roca en el cauce, y (3), curvas cerradas. La Categoría (1) de problemas puede a su vez dividirse en (1a) cauces rectos con o sin islas centrales, (1b) bifurcaciones de cauce, y (1c) cauces complejos (múltiples). Uno por lo menos de cada uno de estos cinco problemas básicos ha sido modelado. En la Tabla 1.1 se presenta una lista completa de pasos, con su clasificación a efectos de modelado.

**Tabla 1.1:****LISTA DE PASOS EXAMINADOS Y CLASIFICACION PARA  
MODELADO**

<b>Nro. del Paso</b>	<b>Nombre</b>	<b>Clasificación</b>
6	Riacho Zapata	1a
12	Travesía Feliciano	1c
13	Arriba Feliciano	1a
15	El Verde	1b
16	Trav. Arroyo Seco	1c
20	San Juan-La Palmita	1c
21	Curuzu Chali	1c
22	Garibaldi	1c
25	Retaguardia	1c
26	Inga	1b
27	Abajo Esquina	1b
31	Costa Cordillera	1a
33	Isla del Selzo	1a
34	Guaycuru	1a
35	Mal Abrigo	1c
36	Los Vascos	1a
37	Caraguatay	1b
38	Las Canas	1b
39	Nanganui-Garapo	1a
40	Toro-Costa Izoro	1a
43	Lavalle Arriba	1a
50	Travesía Carrizal	1a
51	Tacuara Colorado	1a
57	Tacuani	1c
66	Talar-Isla del Medio	1a
73	Bat. Londres Humaita	3
79	Desemb. Río Bermejo	1a.3
80	Frente Puerto Pilar	1a
86	Tacuara	1a.3
98	Acc. Puerto Formosa	3
99	Trav. Vuelta Gómez	3
110	Cortada Orange	1a
111	Dalmacia-Morterito	1a
121	Rest. Ita Piru-Guyratí	1b
123	Buev Muerto	1a
124	Frente Puerto Villeta	1a
125	Restinga Villeta	1a
127	Trav. San Antonio	1a
128	Medin	1a
130	Abajo Puerto Pilcomayo	1a
132	Purificación	1a
133	Ita Pita Punta	1a
136	Remanso Castillo	2
139	Tres Bocas Inf.	1b
147	Trav. Villa Rev	1a
149	San Juan	1a
150	Pito Cany Elvira	1a
151	Yvyravú	1a

Nro. del Paso	Nombre	Clasificación
152	Palmita-Oculto Inferior	1a
153	Oculto Superior	1a
154	Rosario Superior San Luis	1a
157	Burro Ygua Caballero	1a
158	Santa Rosa Superior	1a
161	Curva Buena Vista	3
162	Piripucu	1a
163	Curuzu Brasileiro	1b
164	Curuzu Juanita	1b
167	Pedernal	1b
174	Riacho Negro	1a
175	Isla del Medio-Concepción	2
177	Saladillo	1a
178	Itacurubí (margen derecha)	2
180	Punta Irigoyen	1a
181	Zapatero Cue	1a
182	Romero Cue	2
186	Trav. Leonor Inf.	1a
187	Trav. Leonor Sup.	1a
188	Trav. Santa Ana (Nancy)	1a
189	La Novia	1b
192	Pindo-Est. Cnel Sanch.	1a
193	Arrecifes	2
194	Piquete Camba	1a
195	Isla Stanley	1a
196	Ita Pucumi (Cerro Lorito)	1b
198	Trav. Max	1a
199	Isla Caa Pucu Guazu	1b
200	Aguirre-Palacio Cue	2
202	Lambone (Piedra Partida)	2
203	Vuelta Isla Pena Hermosa	3
205	Trav. Casado Inf.	1a
209	Isla Do Farol - Confluencia	1a
216	Camba-Nupa	1a
220	Curva do Aboteado	3
223	Estirao Braga	1a
233	Volta Rebojo	3
236	Piuvás Inf. y Sup.	1a
239	Concelho	1a
241	Yacare Sup.	1a 1a
243	Ilha Caraguata	1b
249	Formigueiro	3
250	Santana	1a
251	Volta da Figueirinha	3

**Leyenda:**

1= deposición de sedimentos en travesías

1a = Cauces (canales) rectos con o sin isla central

1b = Bifurcación de cauce.

1c = Cauces complejos (múltiples)

2 = Pasos de roca

3 = Curvas cerradas

Nota: la clasificación se ha basado en el examen de las cartas de navegación.

Desde el punto de vista del mantenimiento de los canales, el dragado remueve periódicamente las deposiciones recurrentes de sedimentos después del dragado de apertura. El derrocamiento provee una solución permanente al problema creado por la obstrucción y posteriormente la remoción de sedimentos no debería ser un problema significativo debido a la concentración de corriente que será obtenida. El ejemplo único de modelado de una situación de lecho rocoso, muestra que esta observación es correcta. La sedimentación, en general, tampoco es un problema en curvas, debido a las mayores velocidades que ocurren a lo largo del lado cóncavo del cauce. Por estas razones, y porque la categoría 1 de problemas constituye más del 80% del total, los esfuerzos de modelado se han concentrado en esa categoría.

#### **b - Tramo Corumbá-Cáceres**

Las alternativas de desarrollo del canal de navegación que se analizaron, se limitaron a las que se consideraron factibles en términos de las cuestiones ambientales planteadas. Por ende, los tramos críticos típicos, representativos de unos pocos tipos morfológicos distintos, fueron identificados e incluidos en el modelo. Los resultados del modelo se ampliaron luego a otros tipos morfológicos similares.

El tramo del Pantanal del Río Paraguay fue subdividido en 3 tramos a los fines del análisis, a saber:

Tramo A - desde Corumbá (Km 2755) hasta Laguna Gaíva (Km 3039)

Solamente existen unos pocos tramos cortos en la Sección A que necesitarán mejoras menores a fin de que se correspondan con las mejoras que se hagan en las Secciones B y C. Estas mejoras son pequeñas en términos del esfuerzo requerido, en comparación con las de los tramos superiores y que no se incluyen en este análisis inicial.

Tramo B - desde Laguna Gaíva (Km 3039) hasta el Río Bracinho Superior (Km 3283)

El Río Paraguay en este tramo es angosto, relativamente profundo con codos agudos cerrados, distancias cortas de recuperación, y algunos obstáculos. Si bien existen pasos múltiples en el Tramo B que deben desarrollarse, la naturaleza de los datos de entrada impidió el análisis o modelo de los pasos en forma individual. La información que se presenta más adelante, representa los requerimientos totales de dragado de mantenimiento para todo el Tramo.

Tramo C - desde el Río Bracinho Superior (Km 3283) hasta Cáceres (Km 3441)

El Río Paraguay en el Tramo C es más ancho que en el Tramo B pero de menor profundidad.

Por ende, existe una gran cantidad de pasos que necesitan dragado de capital y de mantenimiento anual. La disminución de la profundidad es especialmente pronunciada en los cruces y en las curvas y tramos suaves y largos en donde el canal principal del río está pobremente definido. La cantidad y naturaleza de la información disponible sobre este tramo del río, ha permitido la estimación de los volúmenes de dragado de mantenimiento a partir de los pasos críticos en forma individual. Sin embargo, se ha limitado el número de los tramos del modelo a tres características morfológicas típicas de las que se han encontrado en el Río Paraguay en el tramo del Pantanal. Dichas características son:

- . codo
- . cruce
- . tramo largo

Los resultados del modelo fueron luego aplicados a otros tramos similares del canal dentro del Tramo C, utilizando factores de escala geométrica en base al área de sección cruzada del canal y a la longitud del tramo para extraer la información cuantitativa.



## 2. MORFOLOGÍA FLUVIAL

El Río Paraguay nace en la meseta central de Mato Grosso, Brasil a una altura de 300 metros sobre el nivel del mar. Se vuelve navegable unos 250 km aguas abajo, cerca de Cáceres. Unos 30 km aguas abajo de Cáceres, el Río Paraguay penetra el pantanal aluvial de Mato Grosso a una altura de 120 m sobre el nivel del mar; en ese tramo, donde corre sobre un lecho arenoso, es alimentado por varios tributarios importantes incluyendo el Cuiaba, Taquarí y Miranda. Unos 750 km aguas abajo, el Río Paraguay se une con un tributario, el Río Apa que fluye desde el Este. El tributario Pilcomayo se une al Paraguay desde el Oeste cerca de Asunción, unos 1850 km aguas abajo. Fluye entonces en dirección Sud-Sudoeste a lo largo del límite Argentino-Paraguayo por unos 225 km hasta que recibe desde la orilla Oeste el Río Bermejo. El Río Paraguay desagua en el Río Paraná a unos 65 km aguas abajo desde la confluencia con el Bermejo, a corta distancia de la ciudad de Corrientes.

La precipitación pluvial en la cuenca imbrífera del río Paraguay varía entre 1000 y 2000 mm (Almeida y Lima, 1956). En el informe de la Asociación relativo al régimen hidrológico de la cuenca se incluyen diversos pluviogramas de estaciones representativas. Esta variación se refleja en los caudales de ese río entre su nacimiento y la desembocadura. Aguas arriba de Corumbá, en Brasil, tiene un típico régimen tropical - con su máximo en febrero y su mínimo entre julio y agosto. Aguas Abajo de Corumbá, el pico ocurre en julio y las aguas bajas entre diciembre y enero. La Figura 2.1 muestra los cambios anuales del nivel de agua en Ladario, unos pocos kilómetros aguas abajo de Corumbá.

Por un largo trecho a lo largo del Pantanal de Mato Grosso, la pendiente del río varía entre 2,0 y 2,5 cm por km. Entre Porto Conceicao y Corumbá, la pendiente es 2,8 cm/km (Figura 2.2). Entre Cáceres y Porto Conceicao, sin embargo, la pendiente es de 6,3 cm/km, más del doble de la pendiente corriente abajo. Este cambio en la pendiente, se corresponde con un cambio importante en la morfología del río y tipo del sedimento (ver más adelante) entre los Tramos B y C.

Los cursos de agua de la cuenca tienen albardones o diques laterales naturales, formados cuando los sedimentos se depositan a lo largo de las partes lentas del curso de agua durante las crecidas. Cuando el río baja, sus márgenes permanecen elevadas sobre el nivel de las llanuras circundantes. Durante las crecidas, en el área del Pantanal, un nivel freático continuo, muchas veces de 25 km de ancho, subyace a las planicies inundadas, las que pueden llegar a ocupar una superficie superior a 100.000 km<sup>2</sup>.

La explicación del régimen fluvial del río Paraguay, aproximadamente a partir de Ladario hacia aguas abajo, deberá basarse, si alguna vez esto fuera hecho (superando las complejas dificultades técnicas y problemas de recursos involucrados), en el descubrimiento de las "reglas de operación" de ese enorme embalse natural que es el Pantanal de Mato Grosso, interpuesto entre las cuencas



# ALTURAS HIDROMETRICAS EN LADARIO (Medias 1911-1993)

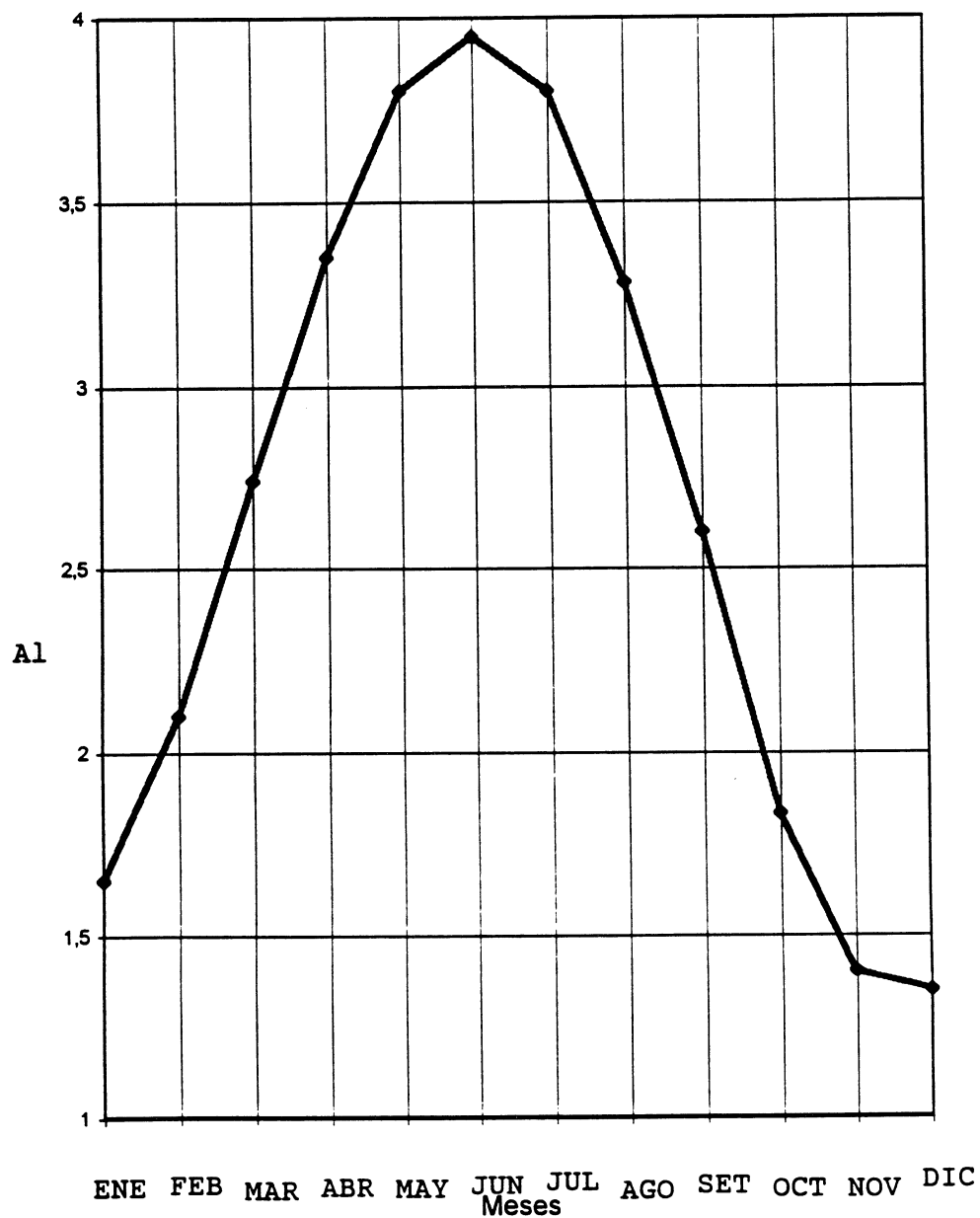
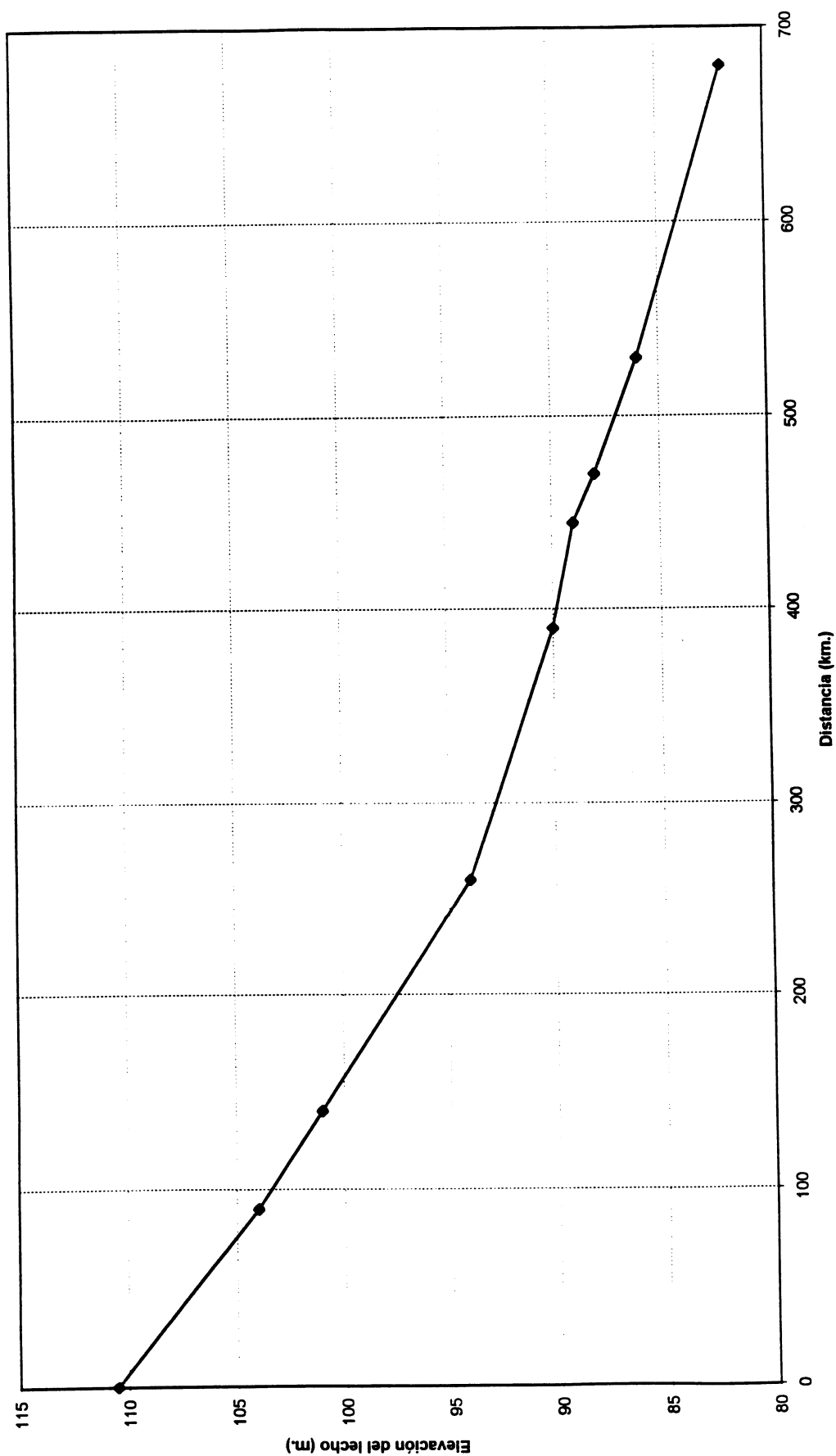


Figura Nº 2.1

# **Elevación del Cauce del Río Paraguay Cáceres a Corumbá**



**Figura 2.2: Elevación del lecho del Río Paraguay entre Cáceres y Corumbá**  
 Notar el cambio en la pendiente de la curva en la cercanía de Porto Conceicao (aprox. Km 255)

imbríferas comunes de los tributarios afluentes, y el curso principal del río. Esas “normas de operación” estarán gobernadas por el régimen de percolación del agua de los cursos fluviales desde y hacia la planicie de inundación circundante y su napa freática subyacente, y la evaporación directa de las superficies de agua libres y evapotranspiración de las formaciones vegetales. Solo de esta forma será posible encontrar una explicación de los largos ciclos de aguas bajas y de aguas altas registradas en el pasado reciente.

En Cáceres el caudal medio de largo período del Río Paraguay es de alrededor de  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  con un máximo en junio y un mínimo en enero (Figura 2.3). La variación de caudales no solo es atribuible a los regímenes de los tributarios del río, sino que se explica principalmente por el sobreflujo de agua en el pantanal en verano y por la suave pendiente del lecho del río (Almeida y Lima, 1956). El tramo superior del Río Paraguay en consecuencia inunda de marzo a junio en contraste con los períodos de inundación de aguas abajo.

En Corumbá, el caudal medio durante los períodos de sequía excede los  $850 \text{ m}^3/\text{s}$ ; la media anual los  $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$ ; y el caudal medio de crecidas los  $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 2.4). En Puerto Sastre, en la confluencia con el Apa, el caudal medio durante las crecidas alcanza  $6.370 \text{ m}^3/\text{s}$  con el máximo entre junio y agosto y el mínimo en enero. El ciclo anual de alturas hidrométricas en Puerto Sastre es similar al de la estación de Ladario, mostrado en la Figura 2.1. La variación del caudal no es atribuible como se ha dicho, a los regímenes de los ríos tributarios sino que se explica primariamente por el vertimiento de agua hacia el pantanal en verano y la baja pendiente del lecho del río. Consecuentemente, el Alto Paraguay registra crecientes desde diciembre a marzo, mientras que el Paraguay medio (desde Corumbá hasta Asunción) lo hace entre mayo y junio como consecuencia del retardo de los caudales del Alto Paraguay. A lo largo del Paraguay inferior (desde Asunción hasta el Río Paraná), los tributarios con regímenes tropicales aportan su mayor volumen de agua desde diciembre hasta marzo causando inundaciones en febrero; mientras que las contribuciones de los tributarios andinos, el Bermejo y el Pilcomayo, generan crecidas entre febrero y junio. La planicie aluvial excede los  $76.000 \text{ km}^2$ .

Desde la confluencia con el Apa y por los 1.050 km hasta su desembocadura, el Río Paraguay aún cuando permanece navegable, corre en un lecho ancho y poco profundo con un ancho medio de 600 metros. Su orilla derecha disminuye gradualmente de altura, mientras que la izquierda se vuelve más elevada formando acantilados. A lo largo de esta parte, las inundaciones se producen principalmente sobre la orilla oeste, extendiéndose sobre las planicies por distancias de 5 a 10 km. Aguas abajo del complejo de lomas bajas al Sur de Asunción, las crecidas se desarrollan en ambas orillas inundando zonas de 10 a 15 km.

El Río Paraná se une en su orilla derecha con el Río Paraguay en Confluencia. Debajo de Corrientes, el Paraná es un típico río de llanura, es decir con orillas formadas por sus propios depósitos aluviales con extensas planicies aluviales en la orilla derecha. Durante las crecidas, zonas de hasta 40 km de ancho pueden quedar



Caudal, Cáceres  
Media de Largo Plazo

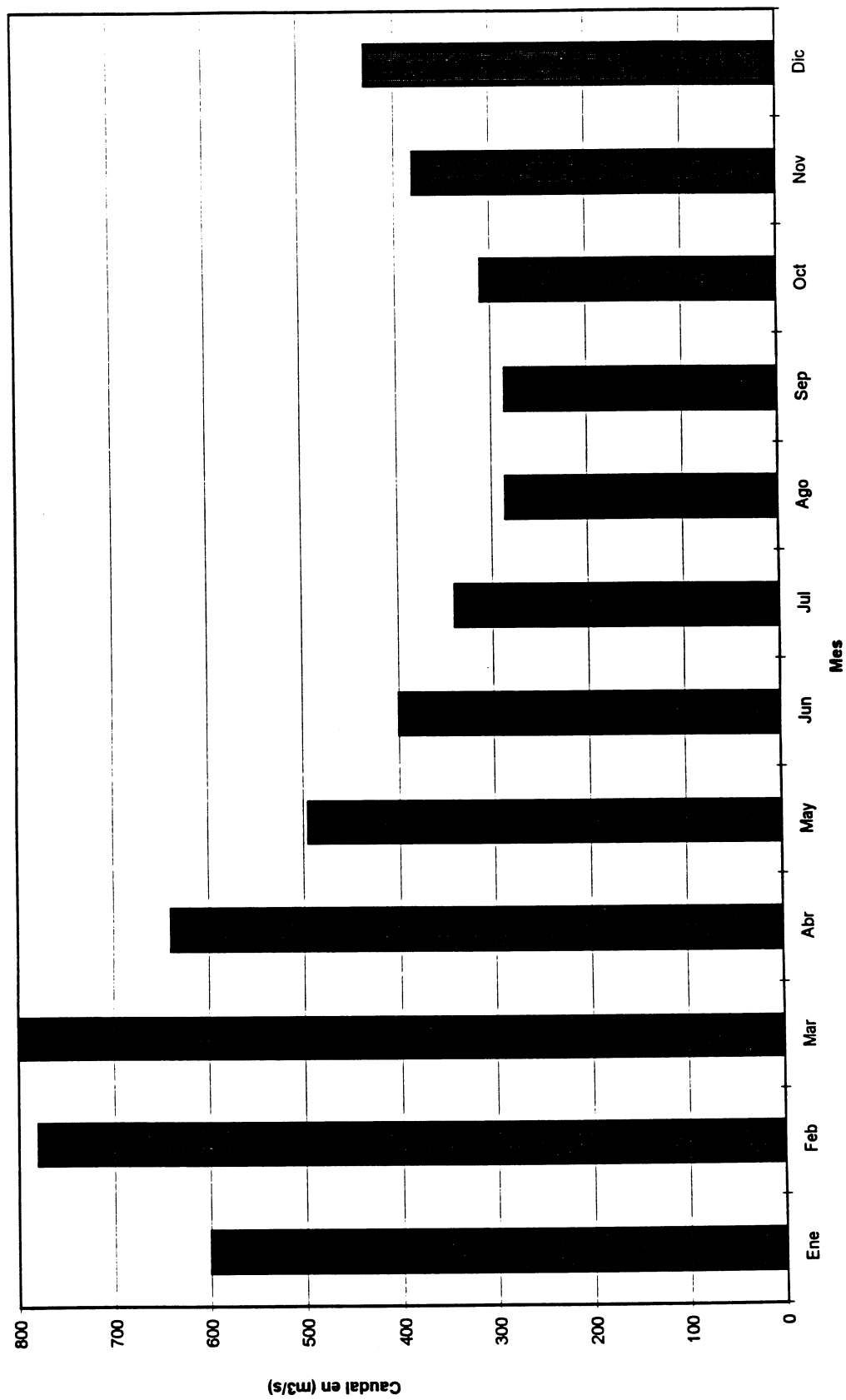
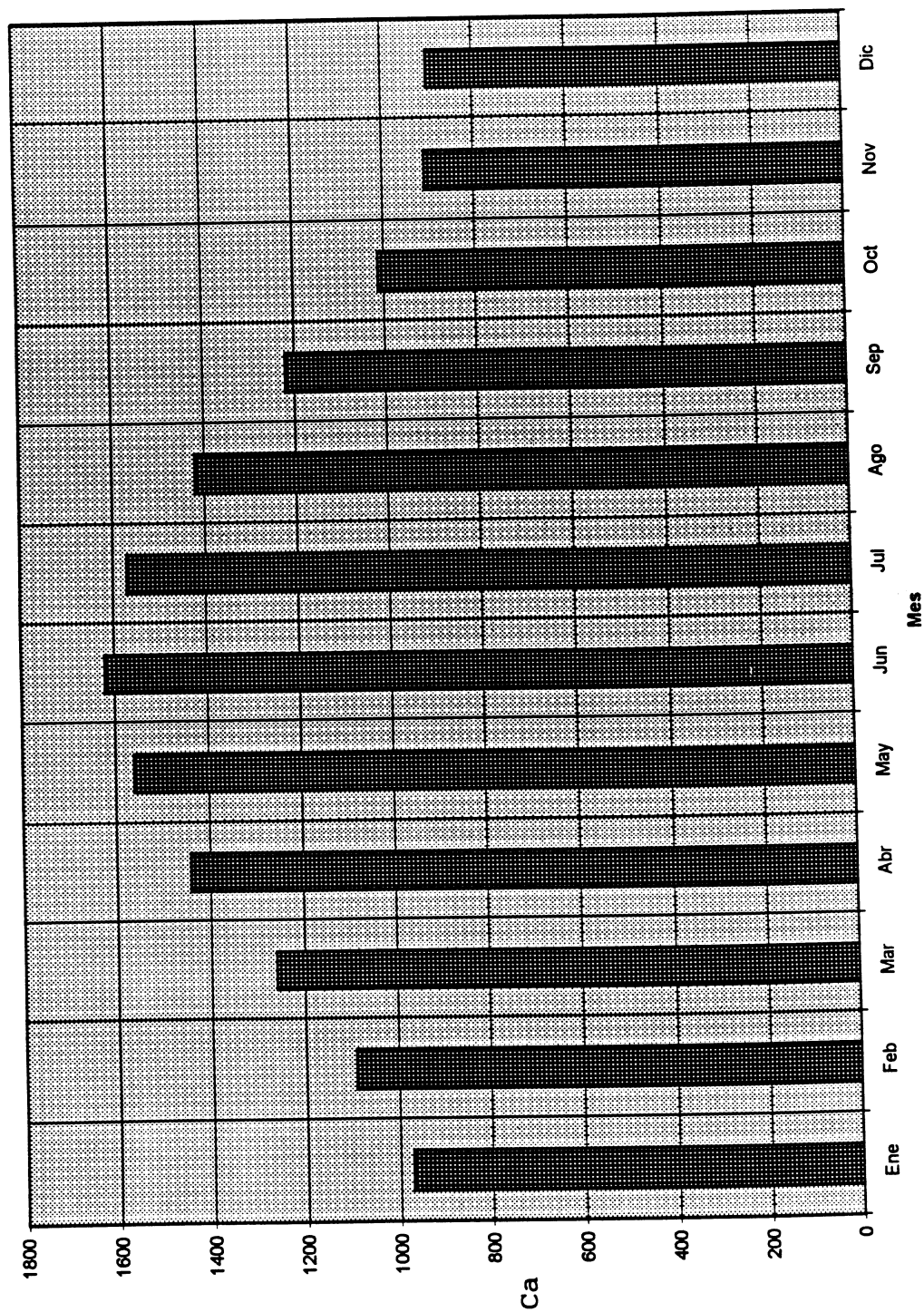


Figura 2 3: Caudal medio mensual de largo plazo del río Paraguay en Cáceres

**Caudal, Corumbá**  
Media de largo plazo



**Figura 2.4: Caudal medio mensual a largo plazo del río Paraguay en Corumbá**



inundadas. El lecho del Paraná se angosta desde unos 4 km en Corrientes hasta menos de 2 km en Rosario. El Río Paraná aguas abajo de Corrientes está salpicado por cadenas de islas que crean numerosos tramos de canales múltiples.

El caudal del Río Paraná es modulado por la descarga del Río Paraguay que representa cerca de 25 por ciento del caudal total. En el Paraná inferior, el período de aguas altas ocurre normalmente de noviembre a febrero y el de aguas bajas entre agosto y setiembre. Por lo tanto, los períodos de crecida son distintos en el Paraguay y en el Paraná inferior. La variación anual de los niveles del río a la altura de Corrientes (Figura 2.5) refleja el régimen de niveles del Río Paraná inferior. En su parte inferior, aproximadamente a partir de Chapeton, la crecida se retrasa en cerca de un mes.

La gradación de los sedimentos en el lecho de un río aluvial actúa tanto como control de la morfología del lecho del canal y de las orillas, como un indicador del proceso hidrológico responsable de la gradación. Se observa normalmente que, avanzando hacia aguas abajo en cursos fluviales en general y en aluviales en particular, el tamaño de las partículas de los sedimentos transportados tiende a disminuir. Esta reducción es especialmente conspicua por el componente de arrastre de fondo. La reducción hacia aguas abajo del tamaño de las partículas está directamente relacionada con la reducción de la velocidad media de la corriente. El análisis de la Figura 2.6, que es un ploteo del tamaño medio del grano de sedimento a partir de muestras tomadas entre Cáceres y Corumbá, muestra que, si bien el diámetro medio del sedimento disminuye hacia aguas abajo, la disminución no es monótona. El cambio distintivo de la tasa de disminución de partículas corresponde aproximadamente al cambio de pendiente del lecho del río que tiene lugar en las proximidades de Porto Conceicao. Los sedimentos presentes se encuentran dentro de una gama de tamaño relativamente limitada, arena media a fina. El ripio, componente importante del lecho del río debajo de la confluencia del Río Apa, no existe en el tramo del Pantanal del río.

Un examen de la Figura 2.7, que muestra el tamaño medio de las partículas de sedimentos recogidos entre Arriba Feliciano en el Río Paraná, hasta Concelho en el Río Paraguay muestra que el tamaño medio de las partículas de sedimentos no disminuye en forma monótona en la dirección de la corriente. Entre Concelho y la confluencia del Río Paraguay con el Río Apa, el tamaño de los sedimentos (diámetro medio) permanece aproximadamente constante dentro del rango de arenas finas y medias (0,25 mm). En las vecindades de la confluencia con el Río Apa, las arenas más gruesas (1,0 mm) constituyen un componente significativo del sedimento del lecho; en esta parte se encuentra también material del tamaño de canto rodado. Mezclado con esos materiales gruesos aparecen arenas finas y medianas. Desde la altura de Rosario (Paraguay) hasta Confluencia, se incrementa el tamaño de los granos de sedimento. En el Paraná inferior, con excepción de una muestra tomada en el km 786, la variación del tamaño del grano con la distancia parece obedecer la regla general de disminución del tamaño en la dirección de la corriente.



## ALTURAS HIDROMETRICAS EN CORRIENTES (Medias 1911-1993)

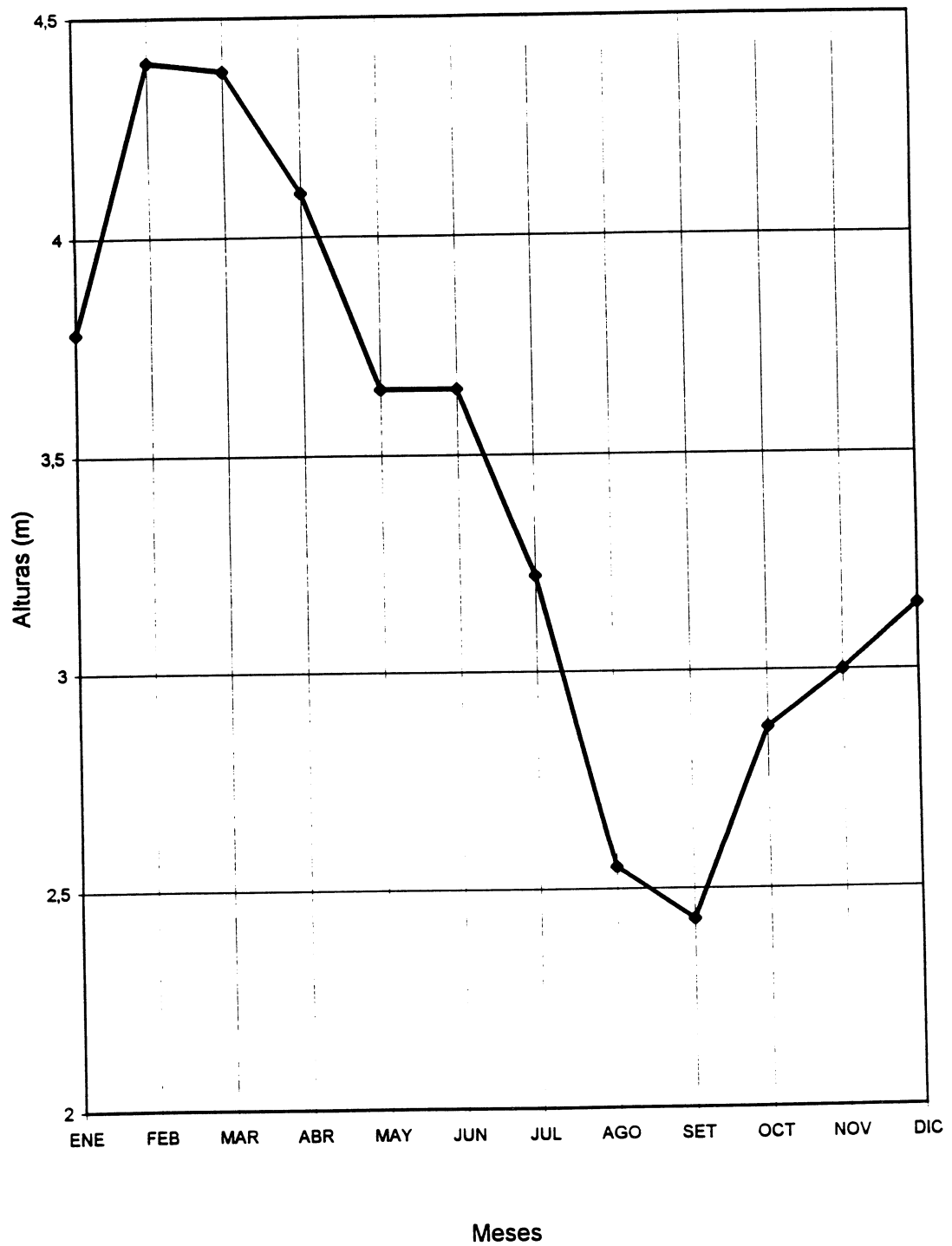


Figura N° 2.5

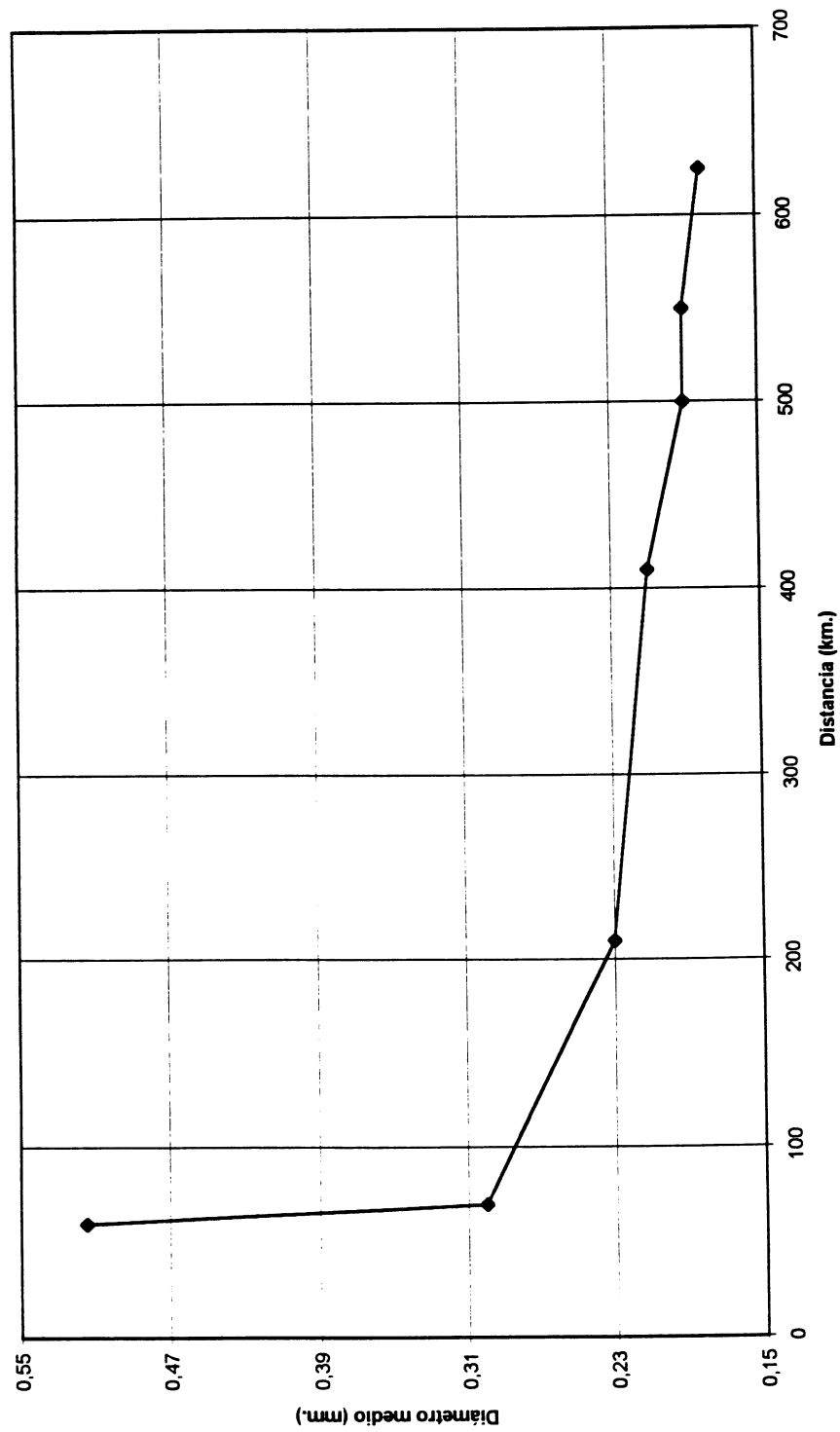


Figura 2.6: Variación del tamaño medio de partículas de los sedimentos del río Paraguay entre Cáceres y Corumbá

**Tamaño medio de partículas**  
**(km 710 - 2600)**

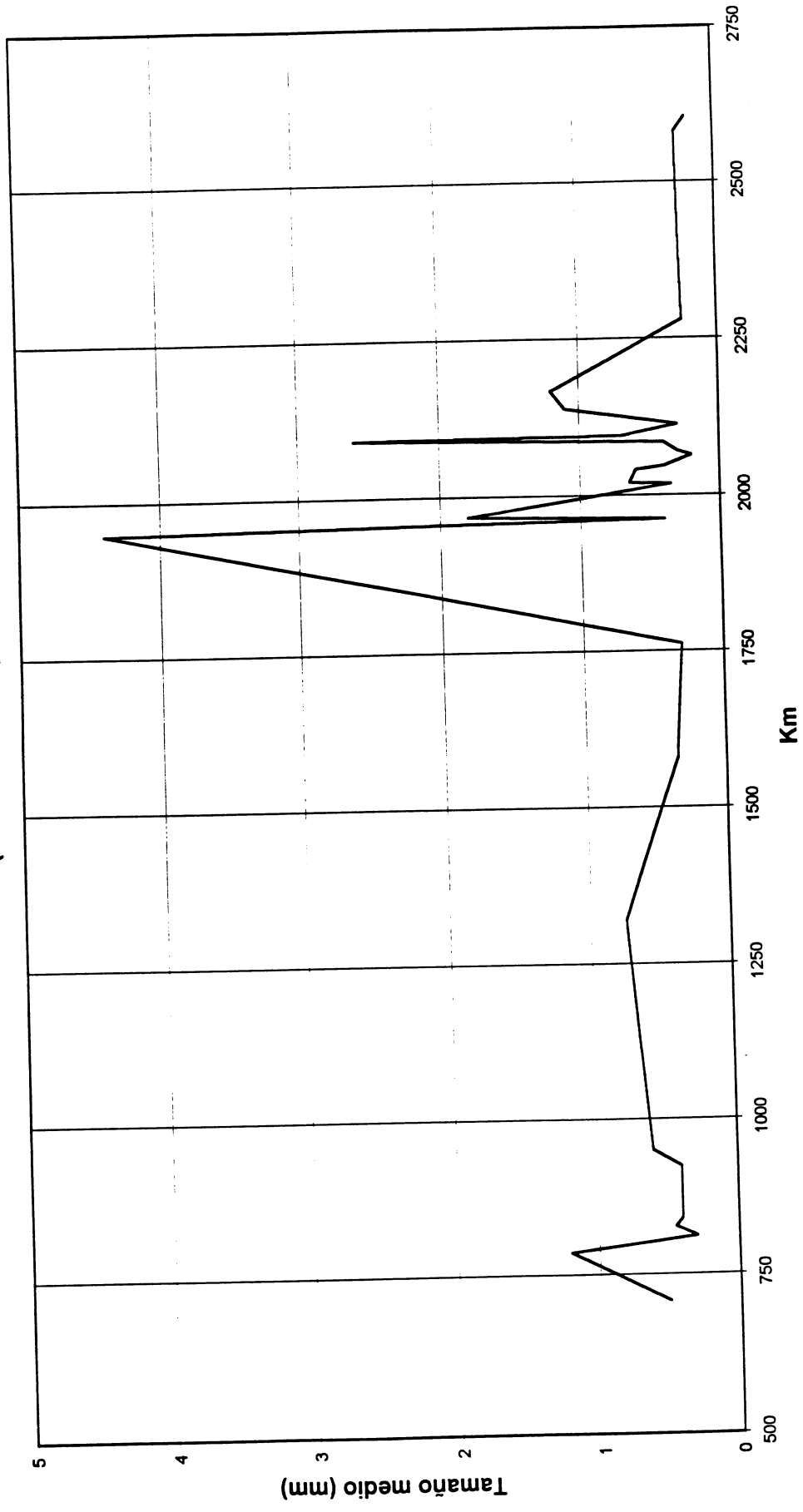


Figura N° 2.7



### 3. METODOLOGIA DEL MODELO NUMERICO

#### 3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El modelo utilizado para los fines del presente trabajo es un modelo numérico de canal abierto, HEC-6(USACOE-HEC) que incorpora límites móviles para permitir la simulación y predicción de cambios en las profundidades del río como consecuencia de la erosión y deposición de los sedimentos y del desarrollo y migración de la forma del lecho. Para representar en forma precisa el proceso de erosión/deposición, el flujo hidráulico, el transporte de sedimentos, la rugosidad del canal y los cambios geométricos correspondientes, están dinámicamente vinculados por medio del modelo. El modelo simula el transporte de sedimentos, tanto los suspendidos como el arrastre de fondo, cuando está dado el aporte de sedimentos desde aguas arriba y desde los tributarios. Utilizando las fórmulas de hidráulica fluvial incorporadas al modelo y las características de los sedimentos determinadas por los análisis de laboratorio de los materiales del lecho y las orillas, el modelo implementa una ecuación de la carga total de sedimentos para estimar los sedimentos transportados, y una ecuación de conservación de sedimentos para estimar las velocidades de erosión y deposición y en consecuencia, los cambios en la profundidad del canal en función del tiempo. El modelo calcula además las alturas y velocidades de migración de la forma del lecho dado que esas velocidades son significativamente inferiores a las velocidades asociadas con la erosión y la deposición. Los tamaños de los sedimentos acomodados por el modelo incluye canto rodado en el extremo superior hasta arcillas en el extremo inferior, incorporando por lo tanto, sedimentos cohesivos y los no cohesivos.

#### 3.2 ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL PROCESO Y CONDICIONES DE LÍMITES

Los parámetros hidráulicos necesarios para calcular el potencial de sedimentos transportados son la velocidad, la profundidad, el ancho y la pendiente de energía. Esas variables pueden obtenerse a partir de consideraciones del balance energético. Por lo tanto, la base del modelo hidráulico es la ecuación de energía cinética (ecuación de Bernoulli) que puede escribirse en la siguiente forma:

$$h_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

donde:

- |            |   |   |
|------------|---|---|
| $g$        | = | aceleración de la gravedad                                      |
| $h_e$      | = | pérdida de carga (energía) a lo largo del tramo                 |
| $h_1, h_2$ | = | elevación de la superficie del agua en los extremos de un tramo |
| $V_1, V_2$ | = | velocidades promedio del flujo en los extremos de un tramo      |

$a_1, a_2$  = coeficientes de distribución de velocidad para el flujo en los extremos del tramo

y  $h_e$  es la suma de las pérdidas por fricción y forma (contracción y expansión del canal), es decir,  $h_e = h_f + h_o$ . El término  $h_f$  se calcula por medio de la ecuación de Manning. Los parámetros geométricos necesarios, como el perímetro mojado y el radio hidráulico se toman de los trazados de sección transversal del río.

La velocidad del transporte de sedimentos (arrastre y suspensión) se calcula para cada componente de tamaño de grano utilizando una ecuación de transporte en la forma de

$$q_s = t_0 U \left[ \frac{e_b}{\tan Y_0} + 0,01 \frac{U}{W} \right]$$

donde:

$U$  = velocidad media del flujo dentro del tramo  
 $t_0$  = tensión de corte del fondo ( $=0,003 U^2$ )  
 $e_b$  = factor empírico de eficiencia  
 $Y_0$  = coeficiente de fricción sólida dinámica  
 $W$  = velocidad de sedimentación de la partícula

La capacidad total de transporte de sedimentos es computada sumando los productos de los componentes de los tamaños de grano individuales y sus porcentajes en el lecho.

Para calcular la erosión y la deposición, se requieren las velocidades en función del tiempo del cambio vertical del flujo de sedimentos. La base para simular el flujo es la ecuación de conservación del sedimento en la forma:

$$\frac{dq_s}{dx} + B_0 \frac{dh_s}{dt} = 0$$

donde:

$q_s$  = velocidad de transporte del sedimento de la Ecuación 2 durante el tiempo  $Dt$ .  
 $B_0$  = ancho del lecho móvil  
 $h_s$  = profundidad de sedimento en el volumen computacional  
 $t$  = tiempo  
 $x$  = distancia a lo largo del canal

Como primer paso para el modelo se eligió un período de un día.

### 3.3 PARÁMETROS Y VARIABLES DE ENTRADA-SALIDA



El concepto de un tramo de río se define, para los fines del modelado, por una sección transversal en los extremos aguas arriba y aguas abajo, contando como mínimo con los datos de sedimentación apropiados en cada sección transversal, caudales líquido y sólido afluentes al tramo en el extremo aguas arriba (generalmente a partir de hidrogramas y curvas granulométricas de sedimentos) y la variación en función del tiempo del nivel de agua en el extremo aguas abajo del tramo (preferiblemente a partir de una curva altura-caudal). Además, si existe un aporte de un tributario dentro del tramo que se modela, se deberán conocer los caudales líquidos y sólidos del mismo. La temperatura de agua controla las velocidades de sedimentación de las partículas y, en consecuencia, juega un rol importante en los cálculos de transporte de sedimentos. Las temperaturas deben ser conocidas si se desea realizar una estimación precisa del transporte.

El tramo modelado puede variar entre unos pocos kilómetros y varios cientos de kilómetros de longitud. A medida que aumenta el largo del tramo, es necesario aumentar los datos sobre la sección transversal y los sedimentos si se desea mantener la precisión del cómputo de las tasas de transporte. Mientras que los requerimientos de información hidrológica no cambian con la longitud, (por ejemplo, los datos en los extremos aguas arriba y aguas abajo) la hidrología puede ser el factor controlador porque las relaciones altura-caudal implican disponer de registros de información durante largos periodos.

En grandes sistemas de ríos, como el sistema Paraná-Paraguay, es algunas veces conveniente dividir el río en un número de segmentos, cada uno de los cuales puede ser modelado separadamente. Dicho enfoque, que es el escogido para este estudio, permite la mejor utilización de los recursos disponibles concentrando los esfuerzos de recolección de los datos morfológicos y sedimentológicos necesarios en áreas de problemas potenciales de navegación o ambientales, mientras que se asignan menos recursos a aquellas áreas donde esos problemas pueden tener una importancia menor.

En este proyecto, como en todos los esfuerzos de modelación de transporte de sedimentos, se requieren datos de entrada. Esos datos corresponden a tres grandes categorías: (1) geometría del río (morfología), (2) carácter y propiedades de los sedimentos, y (3) hidrología.

### 1. Geometría

Los datos de geometría incluyen la sección transversal, las longitudes de los tramos y los coeficientes de Manning para cada sección. Se especifican la parte móvil de cada sección transversal y la profundidad de los sedimentos en el lecho. Para definir la forma de la sección transversal se entra la información batimétrica con las coordenadas estación-cota (x,y). Cada sección transversal está dividida en 3 subsecciones, "barranca" izquierda, canal principal, "barranca" derecha (Figura 3.1). Cada subsección tiene una longitud de tramo que se extiende desde la sección aguas abajo hasta la sección considerada. Las curvas del río se

caracterizan por una longitud del tramo de "barranca" más larga que la del canal principal y que la longitud de la otra. En esta forma, se pueden simular los meandros.

Cada sección transversal se divide en porciones de lecho fijas y móviles (Figura 3.1). La erosión o la deposición harán que este lecho móvil se eleve o baje de conformidad con los cambios modelados de la cota del lecho.

Se requiere un valor de Manning  $n$  para cada subestación de una sección transversal. El cálculo de las pérdidas por fricción a través del tramo entre secciones transversales adyacentes se hace promediando las área terminales de una subsección, promediando los radios hidráulicos terminales, y aplicando el valor  $n$  de la subsección a la longitud del tramo para obtener la conducción de la subsección ponderada por la longitud. La pérdida por fricción a lo largo de un tramo se calcula sumando las conducciones de las subsecciones.

## 2. Sedimentos

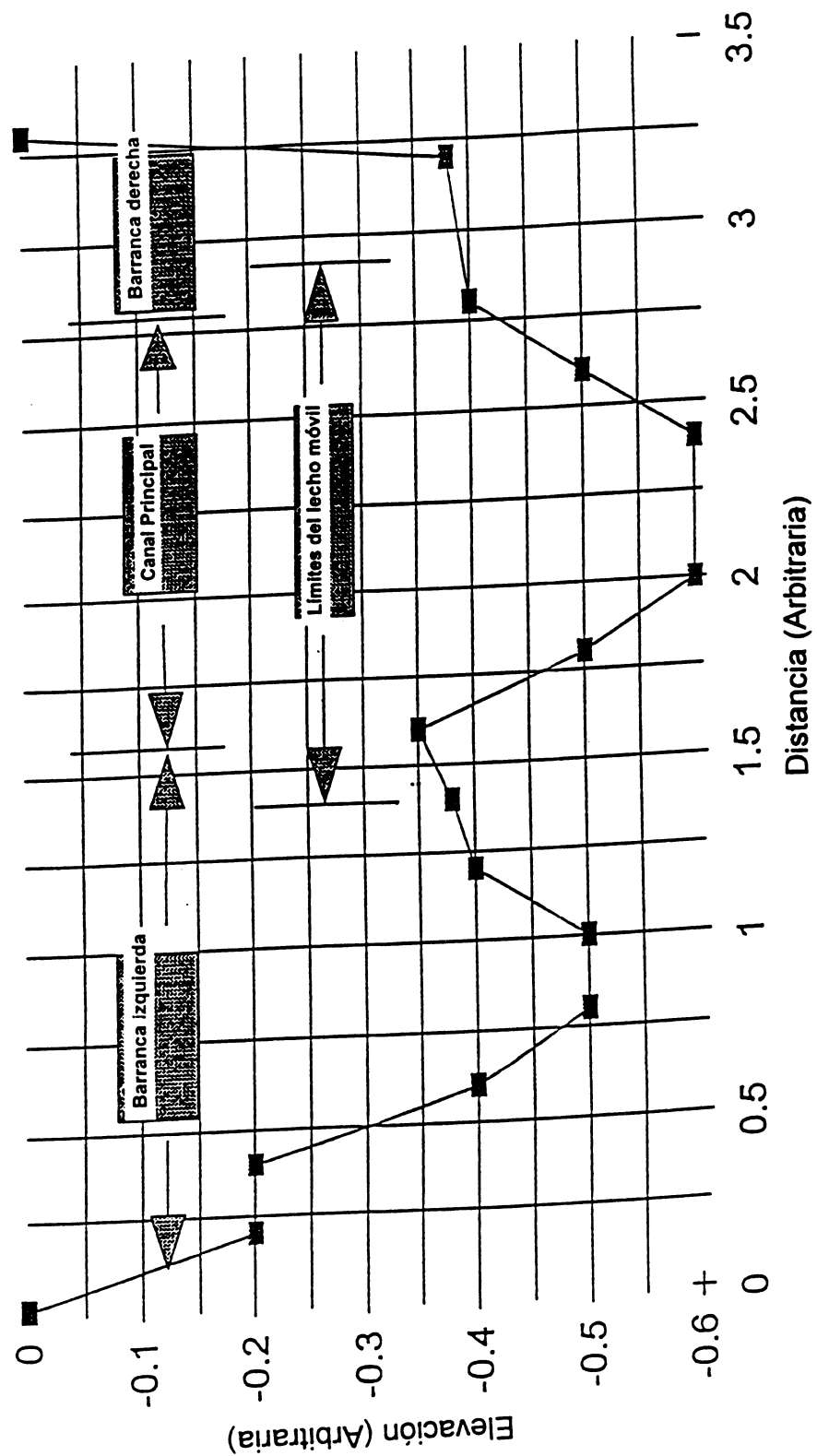
El tamaño del grano de los sedimentos transportados por ríos varía normalmente entre varios órdenes de magnitud. Debido a que la superficie de una partícula es proporcional a la tercera potencia de su radio, las partículas pequeñas se comportan en forma muy distinta que las partículas grandes, y es importante que todos los tamaños de partículas presentes se representen en el mismo esquema. HEC-6 toma en cuenta 20 tamaños de partículas distintas de materiales que varían desde arcilla cohesiva con un diámetro de grano de 0,002-0,004 mm hasta largas piedras con un diámetro entre 1024 y 2048 mm. Típicamente, los sedimentos de importancia en los problemas de transporte de sedimentos por el río están en el rango de las arenas (0,0625-2,0 mm), y es suficiente para los fines del modelado separar los sedimentos en 4 a 6 tamaños.

La granulometría de una muestra de sedimentos de lecho del paso 154 (Rosario) se muestra en la Figura 3.2.

La Figura 3.3 muestra la distribución del tamaño de una muestra de sedimento del lecho de un área próxima a Porto Conceicao. Esta distribución es típica de todas las muestras de sedimento del lecho tomadas en el Pantanal.

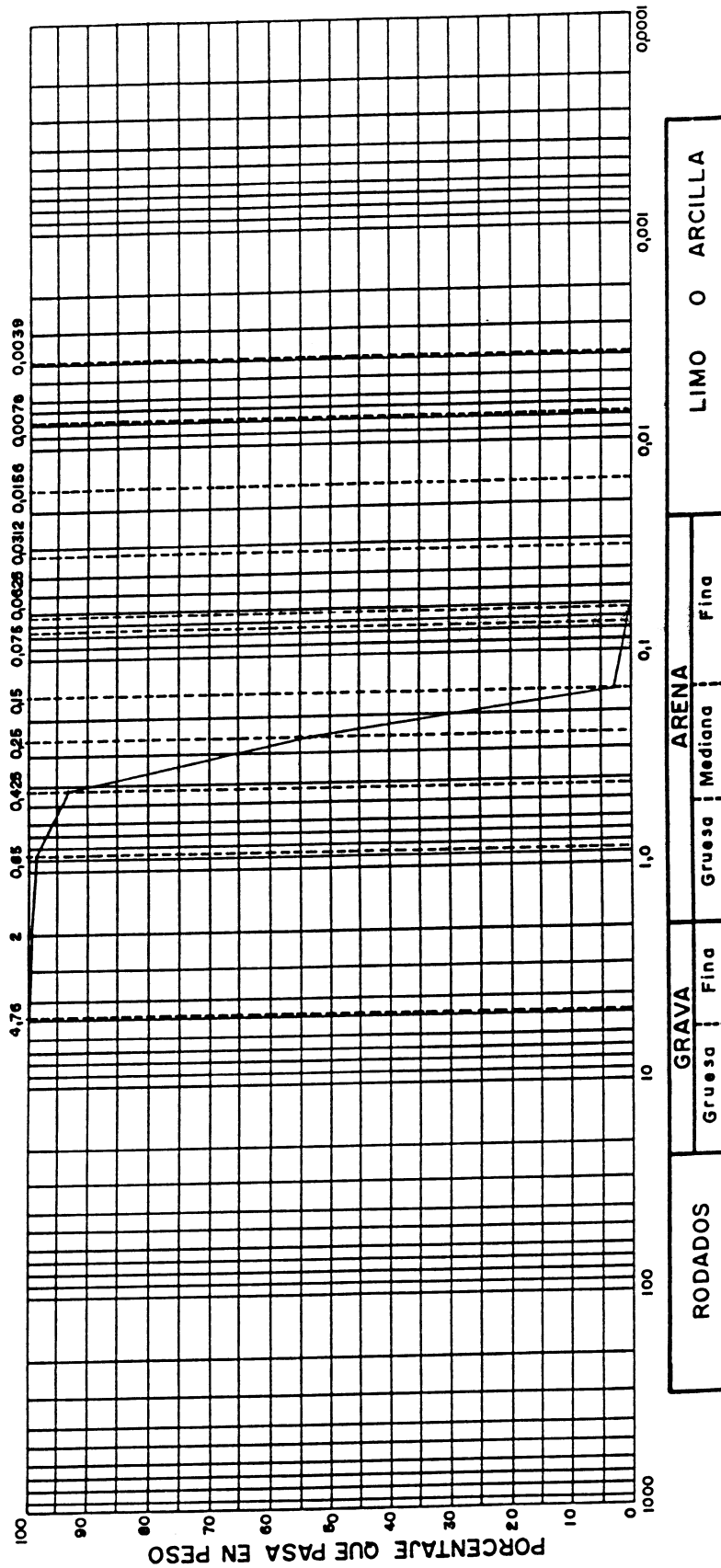
La agradación y degradación del lecho de un río se da en función de la relación entre la entrada de sedimento aguas arriba y en los límites de los tributarios, y la capacidad de transporte del río. La carga de sedimentos está formada por el arrastre de fondo y la carga suspendida y se expresa en función del caudal líquido de agua "versus" la carga de sedimentos. Se requiere una tabla completa de carga de sedimentos para cada entrada de sedimentos dentro del tramo del modelo. Si es posible, es deseable tener y deberán ser obtenidos, los perfiles de concentración de sedimentos suspendidos para el caudal principal del río en las cercanías de cada

# DEFINICION DE TERMINOS GEOMETRICOS



# **GRANULOMETRIA DE SUELOS**

TAMIZ NORMAL



# Granulometría de Suelos Tamiz Normal

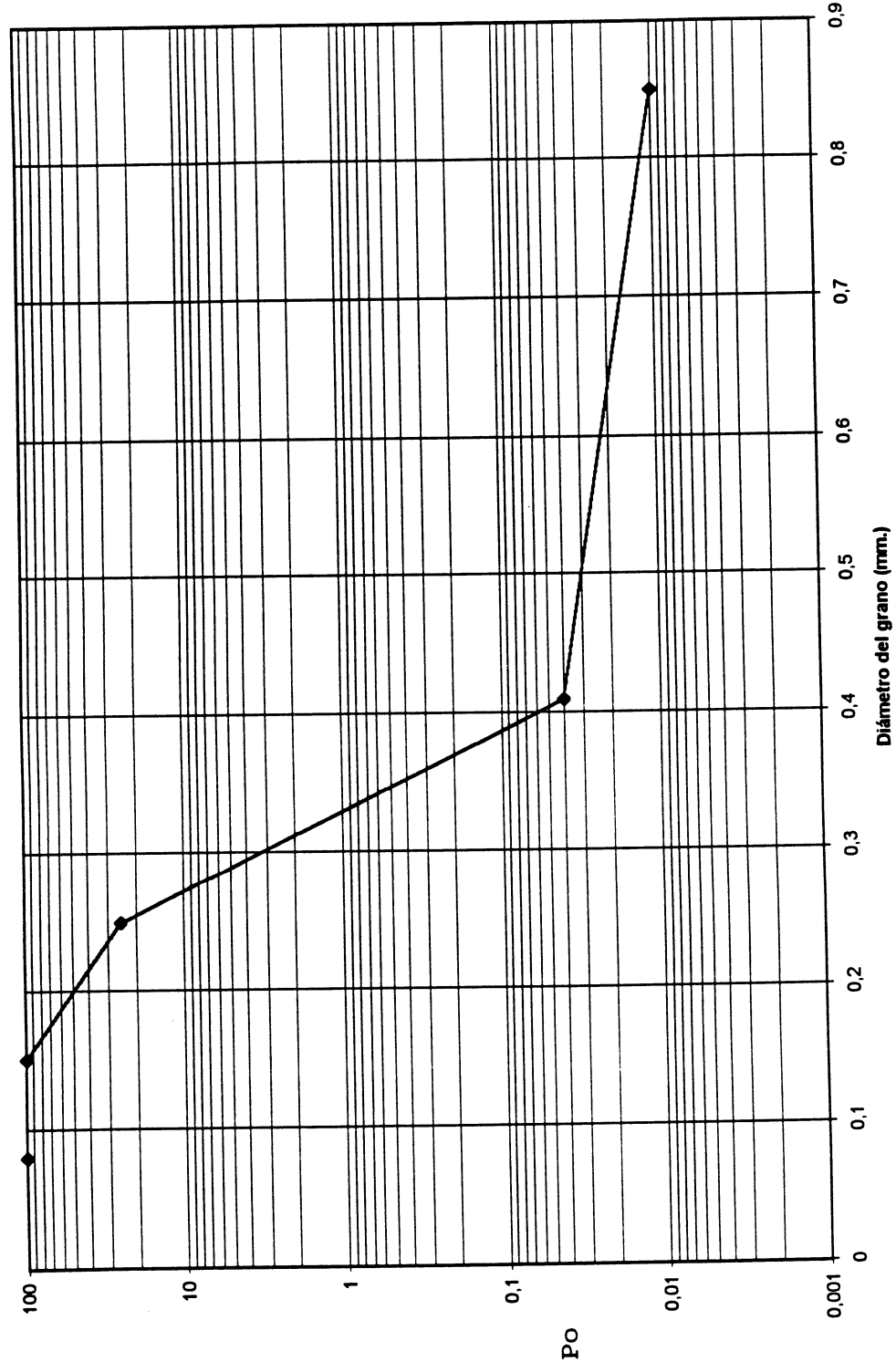


Figura 3.3: Curva granulométrica de sedimentos de lecho del Río Paraguay cerca de Porto Conceição. Nótese que más del 99% del material corresponde a arenas finas a medias



entrada de los tributarios y para cada caudal de los tributarios aguas arriba de la confluencia, durante un período de caudal relativamente alto del río.

La teoría del transporte de arenas relaciona el total de la arena que se mueve y la carga más gruesa (del lecho y suspendida) con la gradación de las partículas de sedimento sobre la superficie del lecho. Los cálculos de la armadura requieren la gradación de los materiales por debajo de la superficie del lecho y conocimientos sobre la profundidad hasta el lecho rocoso u otros materiales no erosionables. Deberá conocerse la variación vertical de la distribución del tamaño de los sedimentos en el metro superior de los mismos en la estación central para cada sección transversal de muestras. Idealmente, se conoce la gradación de la sedimentación para cada sección transversal dentro de un tramo modelado. El espaciamiento longitudinal de las muestras de sedimento depende de las distribuciones de graduación locales, sin embargo normalmente son suficientes las secciones transversales de muestras a través del canal en los límites aguas arriba y aguas abajo de cada tramo en estudio. Para cada sección es deseable obtener tres o mejor cinco muestras igualmente espaciadas a través del curso. El muestreo deberá iniciarse en los límites extremos de cada área en estudio avanzando hacia el centro de cada área hasta que cada tramo del estudio individual sea clasificado. La distribución de tamaños se deriva del análisis de tamaño de los granos en las muestra obtenidas.

La gradación de los sedimentos del lecho y la distribución de las partículas en la carga entrante están íntimamente relacionadas y las relaciones deben ser conocidas si se desean obtener velocidades de transporte muy precisas. La profundidad significativa para los cálculos de transporte de sedimentos es igual a dos diámetros de grano, una cantidad difícil del muestrear en la práctica. Habitualmente, la práctica consiste en especificar la carga de sedimentos entrantes y las gradaciones de la subsuperficie, y sintetizar la gradación del lecho con ayuda del modelo.

Existen muchas relaciones de transporte de sedimento disponibles para computar su flujo. Para los fines de este estudio, se eligió el método de la energía de la corriente de Yang (1973). La precisión de esta función fué estimada como siendo muy alta por Yang y Wan (1991).

### 3. Hidrología

Los inputs hidrológicos son las funciones movimentadoras que accionan el modelo de transporte de sedimentos. Se necesita una fuerza accionadora continua para un hidrograma de caudales de agua, puesto que tanto el transporte de sedimento como la hidráulica fluvial son funciones no lineales del caudal de agua.

El HEC-6 trata a un hidrograma continuo como una secuencia de flujos uniformes discretos, teniendo cada uno una duración específica, DT. Este procedimiento reduce el número de intervalos de tiempo para simular un período dado, y en consecuencia, reduce el tiempo de computación. El valor de DT deberá, sin

embargo, mantenerse relativamente pequeño para asegurar la estabilidad numérica.

Como ejemplos de la técnica utilizada se presentan en las Figuras 3.4 y 3.5, los hidrogramas computacionales para los pasos Santana (N° 250) y Tacuaní (N° 57). Se pueden notar las semejanzas entre estos hidrogramas y los de las Figuras 2.1 y 2.5, referentes a los niveles medios mensuales en Ladario y Corrientes, los puntos de control de aguas arriba para Santana y Tacuaní respectivamente. Se nota también la diferencia de escala entre las Figuras 3.4 y 3.5; la descarga en Tacuaní es aproximadamente 10 veces superior a la de Santana.

El modelo HEC-6 requiere la especificación de cuatro condiciones de límite, caudal, caudal sólido, temperatura del agua, y elevación de la superficie del agua. Las tres primeras condiciones de límite se imponen en el extremo superior del tramo del modelo mientras que la cuarta se impone en el extremo de aguas abajo.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS Y LIMITACIONES

Es importante reconocer que el flujo de un canal abierto en ambientes naturales es esencialmente un fenómeno tridimensional. La utilización de modelos de una o dos dimensiones para representar el fenómeno produce resultados que deben ser interpretados con cuidado, y dentro del contexto de la totalidad de las variables ambientales del sistema que está siendo modelado. Aún más, los resultados del modelo dependen hasta un punto significativo de la cantidad y calidad de los datos necesarios para correr y calibrar el modelo. Las limitaciones específicas de datos de entrada para este proyecto incluyen:

- (1) Geometría
  - a) el valor  $n$  de Manning no se conoce con exactitud.
- (2) Sedimentos
  - a) No se conoce la variación vertical de la distribución del tamaño de sedimentos en el lecho.
  - b) El tamaño y la concentración de los sedimentos en suspensión afluentes no se conocen con exactitud.
- 4 (3) Hidrología
  - a) Las condiciones de borde, descarga de sedimentos y temperaturas del agua no se conocen de forma precisa en cada local.
  - b) Las condiciones de borde, caudales y niveles del perfil de agua, no se encuentran medidas exactamente en los límites de agua arriba y aguas abajo de cada tramo modelado.



# HIDROGRAMA COMPUTACIONAL EN LADARIO

(Basado en alturas hidrométricas medias 1911-1993)

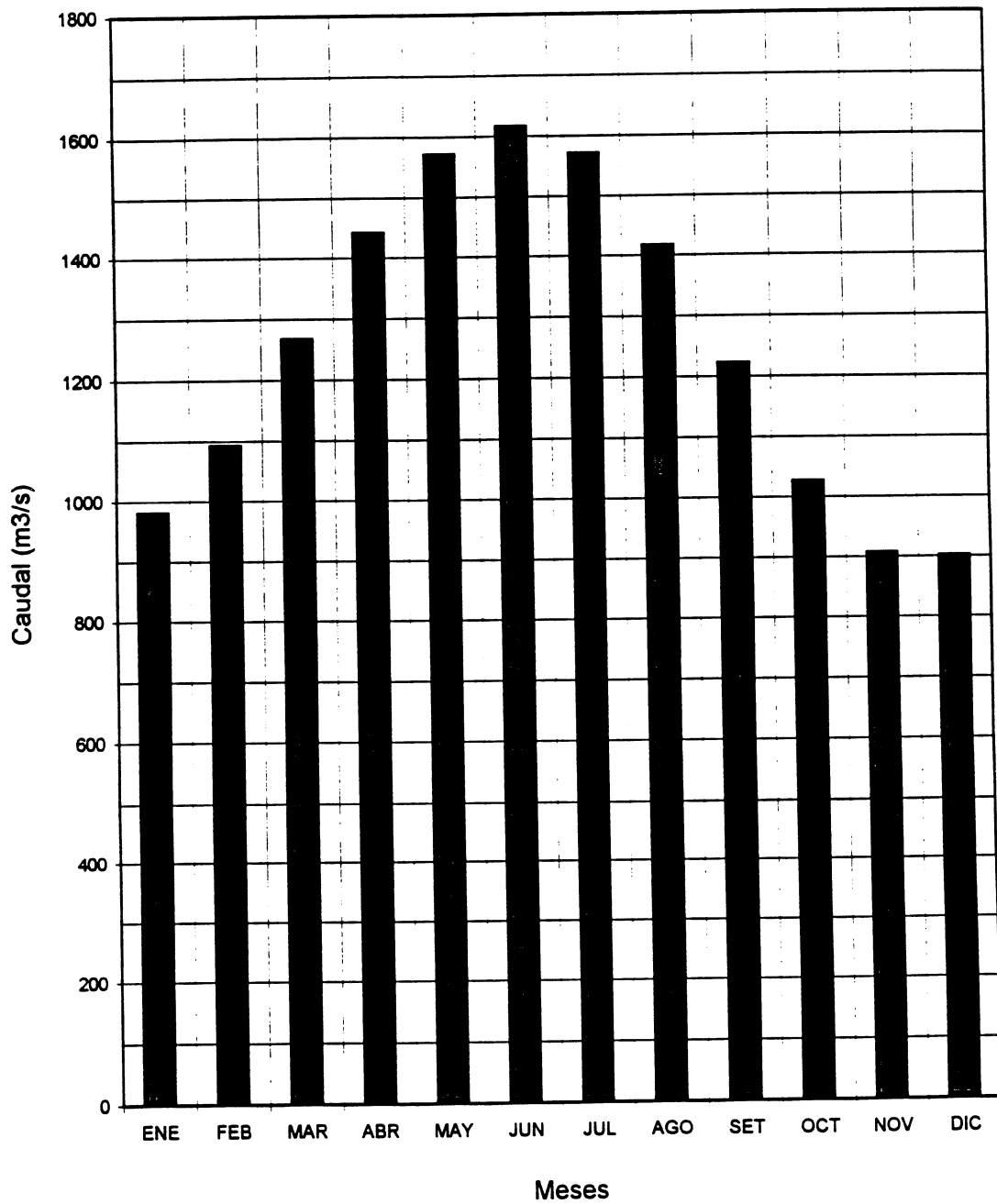


Figura N° 3.4

## Hidrograma computacional en paso Tacuaní

(Basado en alturas hidrométricas medias 1911-1993)

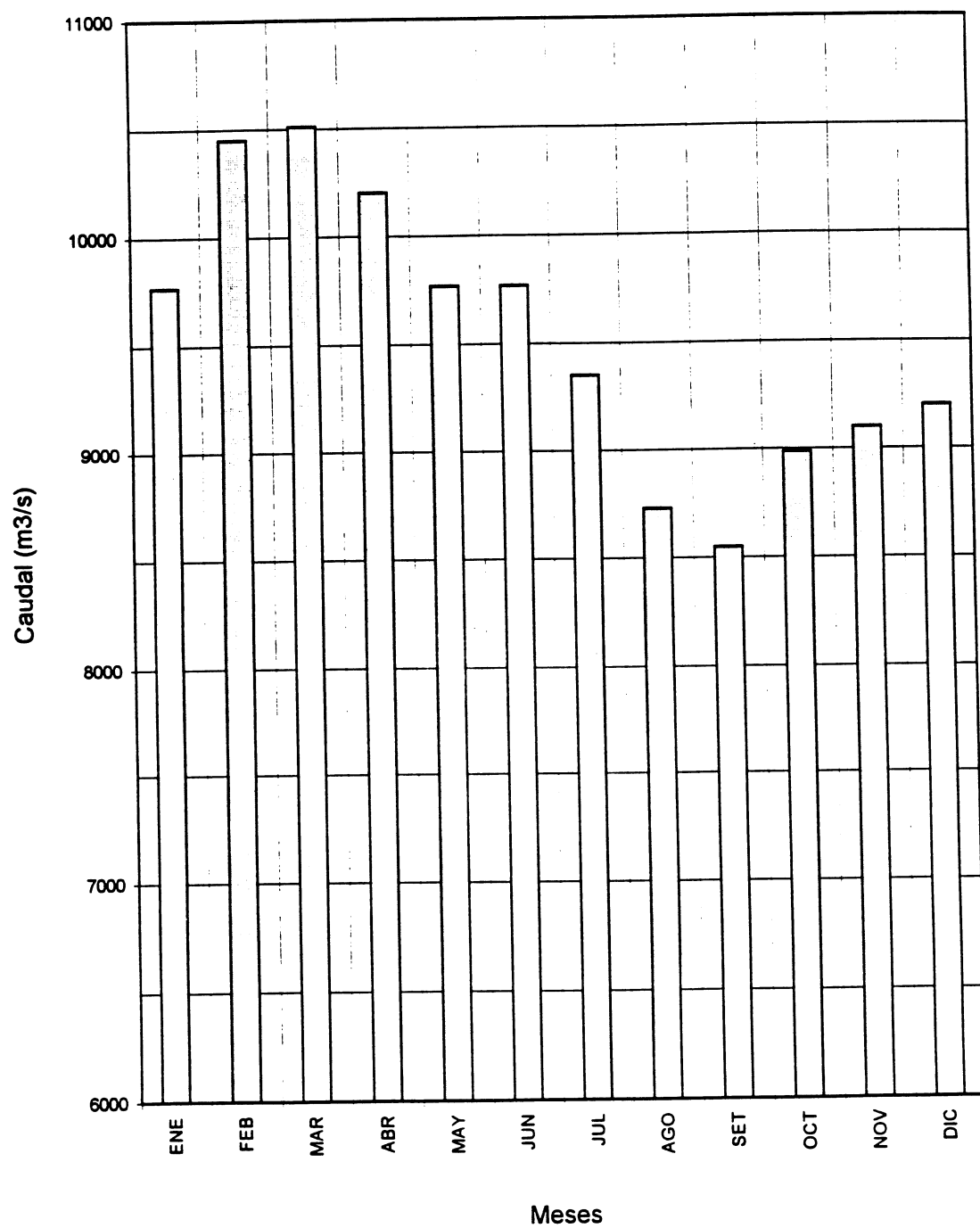


Figura N° 3.5

Para que los resultados presentados más adelante sean significativos y útiles, deben ser apreciados teniendo presente estas condiciones. Los efectos de estos factores sobre la precisión de los resultados se discuten más abajo.

### 3.5 CALIBRACION Y VALIDACION

Como se apuntó más arriba, la operación del modelo HEC-6 requiere una extensa trama de datos de entrada. Debido a ciertas limitaciones de los datos de entrada, se han utilizado diversas técnicas para asimilar los datos necesarios para correr el modelo. Esas técnicas se describen a continuación.

#### 3.5.1 Tramo Santa Fé-Corumbá

Se construyó un hidrograma de descarga para cada paso crítico utilizando las curvas altura-caudal disponibles, y los hidrogramas de nivel de agua de largo períodos de las estaciones fluviométricas situadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de cada tramo del modelo. Esas informaciones fueron combinadas utilizando una técnica de cuadrados mínimos. Para obtener la descarga en el tramo a ser modelado, se utilizó la interpolación lineal entre los puntos de datos, tomando como punto de referencia el extremo aguas arriba del tramo modelado. Para obtener los niveles de agua también se interpolaron linealmente los hidrogramas, utilizando, como punto de referencia, el extremo aguas abajo del tramo del modelo. La Tabla 3.1 muestra los nombres de los 23 pasos modelados, la clasificación morfológica y los puntos de control del valor límite. Cuando se nombran dos conjuntos de pasos, el primero se refiere a la altura hidrométrica y el segundo al caudal.

El hidrograma seleccionado para los fines del modelado del transporte de sedimentos está basado en los registros de alturas hidrométricas de largo período (1911-1993) y las curvas altura-caudal disponibles que, generalmente, fueron de duraciones mucho más cortas. Ante la falta de registros de altura para todo el período, fueron computados coeficientes de transferencia para extender los datos del período más corto en base a los registros de estaciones que tenían un registro completo de datos (1911-1993). Debido a que los niveles de los Ríos Paraná y Paraguay han sido significativamente más altos en el período 1973-1993 que durante los años anteriores (1911-1972), el efecto de este ajuste ha sido disminuir los valores de los caudales medios mensuales utilizados en las computaciones del modelo. En el Paraná inferior no son infrecuentes reducciones del 30-40%. Por ejemplo, un caudal medio de largo período de  $6000 \text{ m}^3/\text{s}$  puede traducirse en uno de corto período de  $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ , como determinado por los datos disponibles.

Además, como se notó más arriba, el problema se complica porque las curvas altura/caudal generalmente representan períodos de tiempo mucho más cortos que los registros de caudales. Es importante notar, sin embargo, que estas condiciones no afectan la precisión de los resultados del modelo, sino solamente la especificación del caudal medio y la representatividad de ese valor.



**Tabla 3.1: Lista de los pasos modelados con control de caudales aguas arriba y control de alturas aguas abajo**

Nº Paso	Nombre del Paso	Clase (1)	Control de aguas arriba	Control de aguas abajo
6	Riacho Zapata	1a	Hernandarias Chapetón	Hernandarias Chapetón
15	El Verde	1b	La Paz Corrientes	Hernandarias Chapetón
20	San Juan-La Palmita	1c	Reconquista Corrientes	Esquina Chapetón
35	Mal Abrigo	1c	Reconquista Corrientes	Esquina Chapetón
38	Las Canas	1b	Reconquista Corrientes	Esquina Chapetón
57	Tacuani	1c	Corrientes	Bella Vista Chapetón
80	Fr. Puerto Pilar	1a	Guyratí Asunción	Confluencia
111	Dalmacia-Morterito	1a	Guyratí Asunción	Confluencia
127	Tr. San Antonio	1a	Asunción	Villeta Confluencia
128	Medin	1a	Asunción	Villeta
132	Purificación	1a	Asunción	Villeta
136	Remanso Castillo	2	Antequera Concepción	Asunción
139	Tres Bocas Inf.	1b	Antequera	Asunción
147	Tr. Villa Rey	1a	Antequera Concepción	Asunción
149	San Juan	1a	Antequera Concepción	Asunción
151	Yvyrayu	1a	Antequera Concepción	Asunción
157	Burro Igua	1a	Antequera Concepción	Asunción
158	Santa Rosa Sup.	1a	Antequera Concepción	Asunción
163	Curuzú Brasileiro	1b	Tacarupytá Concepción	Antequera Asunción
164	Curuzú Juanita	1a	Tacarupytá Concepción	Antequera Asunción
220	Curva do Aboteado	3	Fte. de Coimbra	Barranco Branco Concepción
241	Yacaré Superior	1a	Pto. da Manga	Pto. Esperança
250	Santana	1a	Ladario	Pto. da Manga

(1) = deposición de sedimentos en travesías (a=canales rectos con o sin isla en el medio; b = bifurcación; c = canales complejos (múltiples); a = existencia de roca; 3 = curva cerrada.



Había disponibles datos de descarga de sedimentos en suspensión de EVARSA, para dos ubicaciones, Puerto Pilcomayo sobre el Río Paraguay, y Paraná sobre el Paraná inferior. Para la primer ubicación, los datos incluyeron el período de setiembre de 1993 hasta enero de 1995 y para la última ubicación desde setiembre de 1993 hasta mayo de 1995. En ambas estaciones, la información se recogió mensualmente y, a veces, con menor frecuencia. Las Figuras 3.6 y 3.7 muestran la información sobre descarga de sedimentos en Puerto Pilcomayo y en Paraná respectivamente. Debido a la base de datos extremadamente corta de descarga de sedimentos y la gran variabilidad de los datos (mostrada en las Figuras 3.6 y 3.7) las curvas de clasificación de sedimentos fueron sintentizadas utilizando los datos disponibles y la teoría de transporte de sedimentos de Ackers y White (1973) que se ha demostrado produce buenos resultados en ríos que transportan primariamente cargas de arena. Debido a la disponibilidad relativamente baja de datos puntuales y a la corta duración de los períodos de muestreo, no es posible evaluar la representatividad de los datos de sedimentos en suspensión.

Las muestras de sedimentos tomadas durante los relevamientos de campo en los propios tramos a ser modelados y sus proximidades, fueron utilizadas para producir una curva de distribución de sedimentos en los locales de muestreo. En cada local se disponía de una a cinco muestras extraídas con "snapper", representativas del estrato superior del lecho. Algunas veces, las muestras fueron obtenidas en lugares relativamente alejados de los tramos a ser modelados. El efecto de este desplazamiento sobre la precisión del modelo sería mayor en regiones de gran variabilidad del tamaño de partículas. El examen de la Figura 2.7 muestra que esa variabilidad es mayor entre los Kms 1750 a 2250 del río Paraguay. De tal forma, los resultados del modelo para los pasos comprendidos entre los de núm. 149 (San Juan) y 216 (Camba Nupa), en la medida en que se encuentren influenciados por la distribución del tamaño de partículas, pueden ser menos confiables que los demás.

Como se notó anteriormente, las estimaciones precisas de velocidades de sedimentación dentro de un tramo del río utilizando el HES-6 requieren normalmente el conocimiento detallado del tamaño de los sedimentos y datos sobre la distribución en la corriente principal y en los tributarios del río. Sin embargo, para los fines de planeamiento y estimación de costos no son generalmente necesarios las velocidades exactas de sedimentación, y puede ser suficiente conocer el rango de velocidades de sedimentación esperado con lo que se puede determinar la mínima y la máxima. Esos valores extremos se obtienen fácilmente introduciendo en el modelo un espectro de distribución probable de sedimentos basado en la síntesis de los mejores datos disponibles (que puede ser una simple observación a partir de un estudio de reconocimiento) y corriendo repetidamente el modelo; de esta forma, las entradas del modelo son actualizadas y el modelo es nuevamente corrido. Con cada corrida subsiguiente, se obtienen estimaciones de velocidades de sedimentación progresivamente más precisas. La continuación de las corridas del modelo con datos de sedimentos actualizados





### Caudal Solido en Puerto Pilcomayo

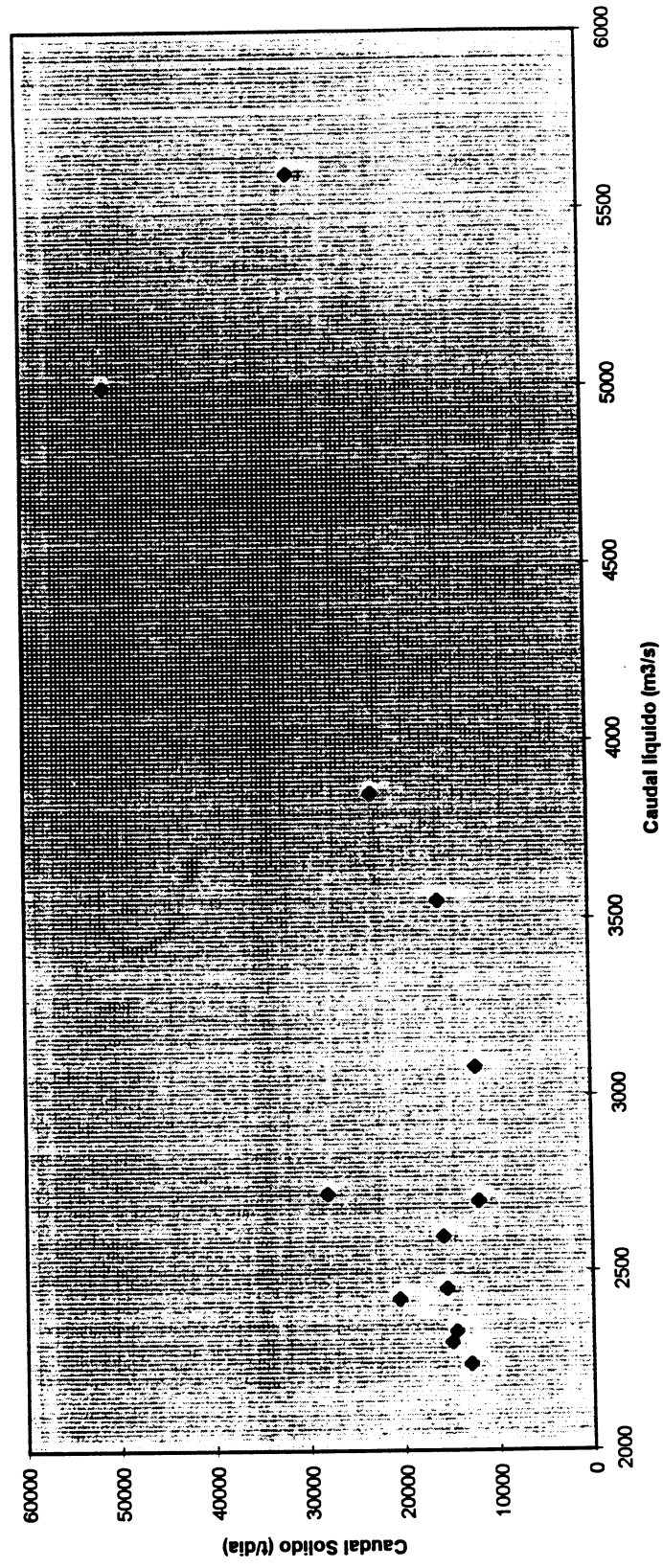


Figura N° 3.6

### Caudal Sólido en Paraná

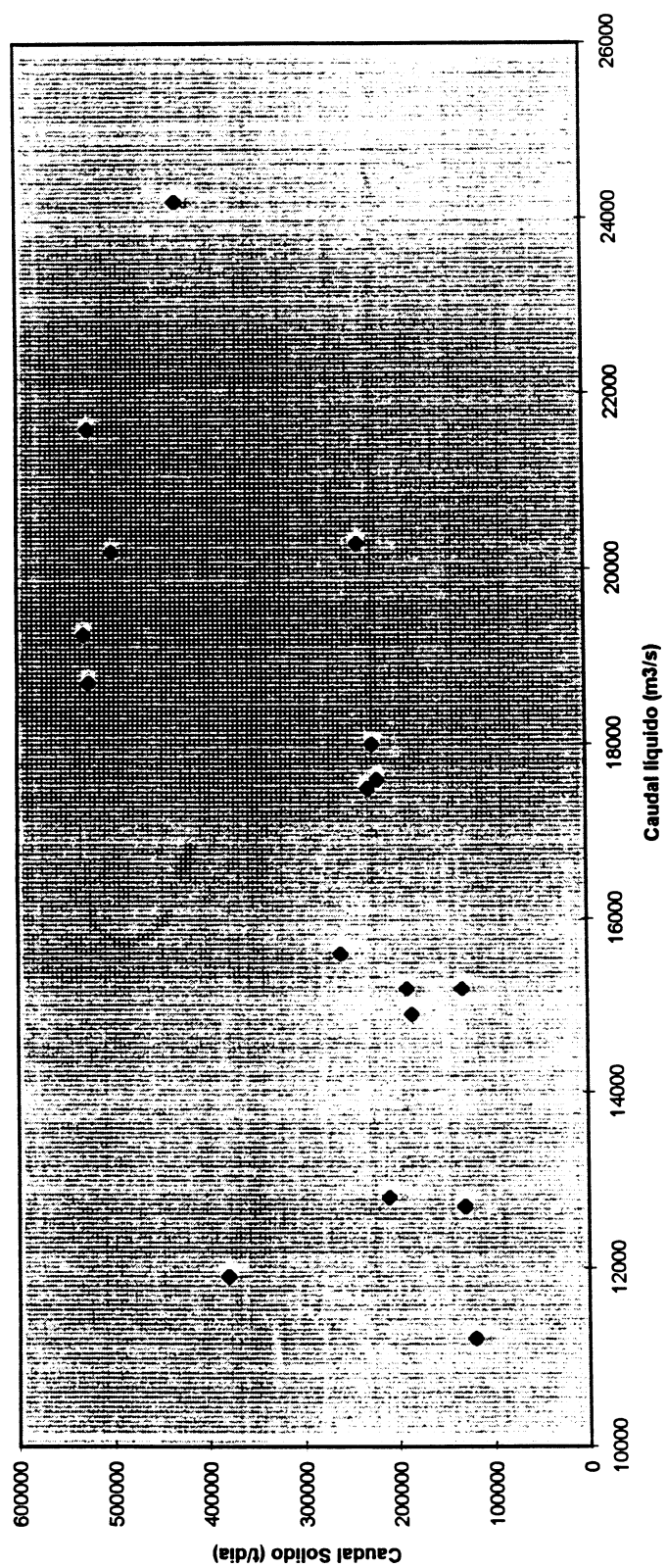


Figura Nº 3.7

conduce eventualmente a una convergencia de valores extremos en cuyo punto se consigue una estimación de la velocidad de sedimentación local altamente precisa. La precisión última de los cálculos de sedimentación final resultante es, lógicamente, dependiente de la cantidad y calidad de los datos de entrada; sin embargo, con buenos datos de entrada se obtienen precisiones del 85-90 por ciento en forma rutinaria.

Debido a la escasez de datos de sedimentación en el sistema de los Ríos Paraguay-Paraná entre Santa Fe y Corumbá, el modelo fué utilizado como una herramienta de optimización para determinar las velocidades de sedimentación máxima y mínima. Los resultados conducen a estimaciones relativamente precisas de los máximos volúmenes anuales de dragado.

Se proporcionaron datos batimétricos y de secciones transversales en la forma de mapas y valores digitales. Se creó una serie de temperaturas del agua en función del tiempo a partir de la limitada información disponible, mediante interpolación lineal entre las medias de las máximas (verano) y las medias de las mínimas (invierno).

La calibración se realizó tanto para factores geométricos como para valores sedimentológicos. La geometría fué calibrada entrando varios valores de  $n$  hasta que los valores de salida de niveles de agua fueran similares a los datos de niveles de agua. La guía para el correcto valor de  $n$  fué suministrada por las mediciones realizadas durante el relevamiento hidrográfico ejecutado por la Asociación. La calibración de los sedimentos fué hecha variando la descarga de sedimentos hasta que el canal no fuese agradado ni degradado. La guía para la correcta descarga de sedimentos fué suministrada por un examen de los datos de caudales sólidos disponibles.

### 3.5.2 Tramo Corumbá-Cáceres

Los hidrogramas de descarga para los tres pasos críticos representativos se construyeron utilizando curvas de altura caudal e hidrogramas del nivel de agua de largo período de las estaciones hidrométricas que se encuentran inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de cada tramo modelado. Estos datos se combinaron utilizando una técnica de mínimos cuadrados. Para obtener la descarga en el tramo modelado, se utilizó una interpolación lineal entre los puntos de datos, usando el extremo superior del modelo como punto de referencia. Para obtener los niveles de agua, también se interpolaron linealmente los hidrogramas, usando el extremo de aguas abajo del tramo modelado como punto de referencia. Los 3 pasos del modelo, la clasificación morfológica, y los puntos de control se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Lista de pasos modelados con control de descarga aguas arriba y control de nivel aguas abajo.

Paso Nº	Kilómetro	Clasificación	Control aguas arriba	Control aguas abajo
16	3.313	Codo	Cáceres	Descalvados
17	3.316	Cruce	Cáceres	Descalvados
39	3.360	Tramo largo	Cáceres	Bermelho

El hidrógrama seleccionado a los fines de modelar el transporte de sedimentos tuvo como base los datos de alturas medias de largo plazo (1966-1992) y de las curvas altura-caudal disponibles que, por lo general, eran de duración más corta. Debe notarse que las alturas del Río Paraguay fueron significativamente menores durante el período 1966-1970 (Figura 3.8) que durante los años siguientes a 1970.

No se dispuso de datos sobre la descarga de sedimentos en suspensión del tramo Corumbá-Cáceres del Río Paraguay. Por ende, las curvas de gasto del sedimento se sintetizaron utilizando los datos disponibles y la teoría de Ackers y White (1973) sobre el transporte del sedimento que ha demostrado dar buenos resultados en los ríos que transportan principalmente cargas de arena.

Las muestras de sedimento tomadas en puntos dentro de o en las proximidades del tramo del modelo, se utilizaron para producir una curva de distribución de sedimento para los lugares de toma de muestra. Las muestras, representadas por una toma con snapper por lugar, representan el estrato más elevado del material de sedimento en el lecho del río. Los lugares de toma de muestra no coincidieron con los tramos modelados del río; sin embargo, dado que el tamaño de las partículas fue relativamente uniforme, el efecto de este desplazamiento sobre la exactitud de los resultados del modelo se considera mínimo.

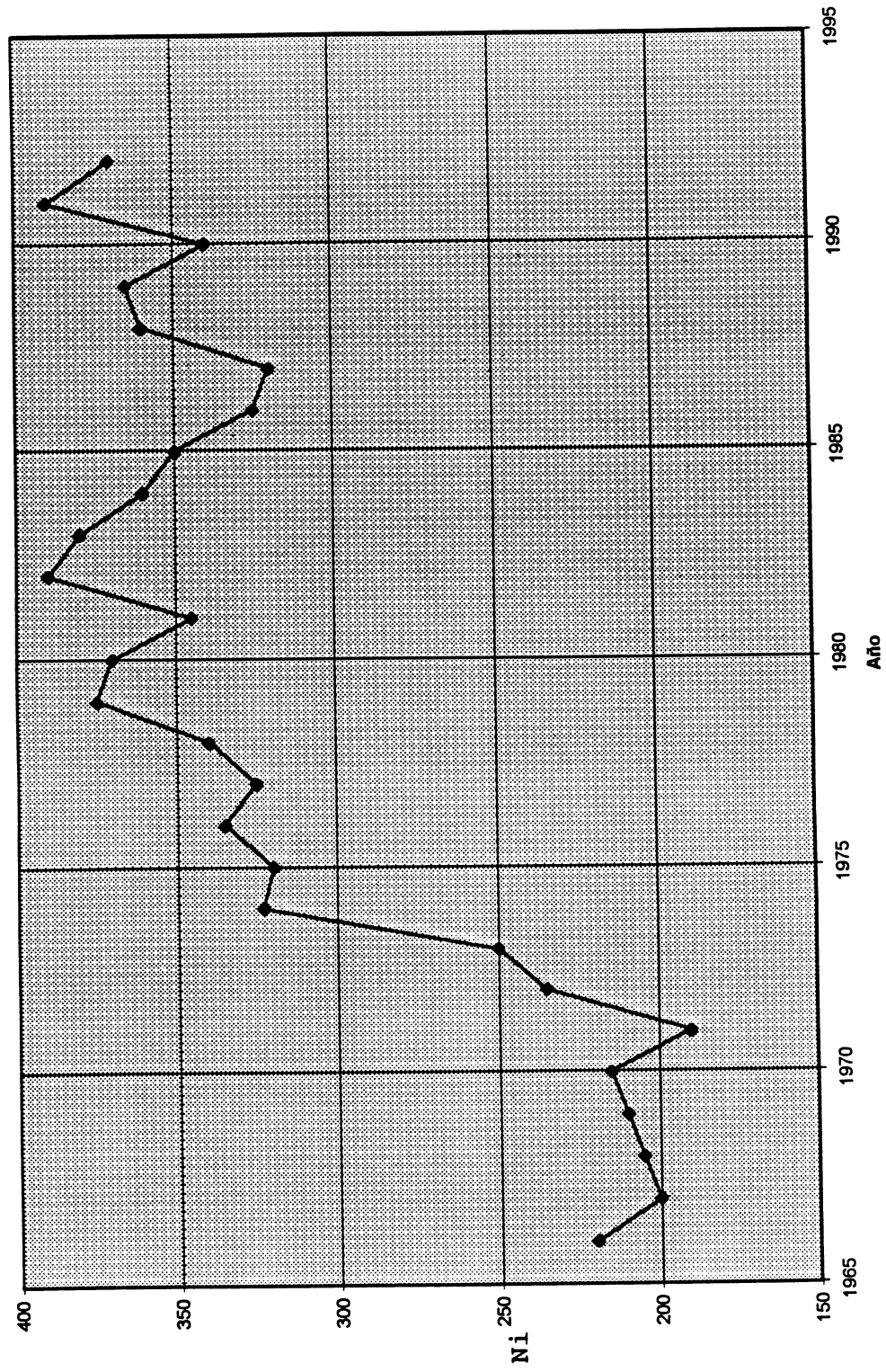


Figura 3.8: Niveles anuales medios del Río Paraguay en Cáceres entre los años 1966-92



Como se mencionara, las estimaciones exactas de las tasas de sedimentación dentro de un tramo del río utilizando el modelo HEC-6, normalmente exigen el conocimiento detallado de los datos sobre tamaño y distribución del sedimento en el curso principal del río y en los tributarios. A los fines de la planificación y estimación de costos, sin embargo, las tasas exactas de sedimentación con frecuencia no son necesarias y puede ser suficiente conocer la variación de tasas esperadas de sedimentación, con determinación de valores máximos y mínimos. Estos valores extremos se obtienen rápidamente, entrando en el modelo una gama de distribuciones probables del sedimento sobre la base de síntesis de los mejores datos disponibles (que pueden ser tan simples como observaciones provenientes de un estudio de reconocimiento) y correr el modelo en forma repetida; de este modo el modelo se utiliza como una herramienta de optimización. A medida que se dispone de datos adicionales sobre sedimento, se alcanzan progresivamente estimaciones más exactas de las tasas de sedimentación. La corrida continua del modelo con los datos actualizados de sedimento, eventualmente conduce a una convergencia de los valores extremos, punto en el que se alcanza una estimación altamente exacta de la tasa local de sedimentación. La exactitud final del cálculo de la tasa de sedimentación, por supuesto, depende de la cantidad y calidad de los datos de entrada sobre sedimento; no obstante se alcanza normalmente un nivel de exactitud del 85-90 por ciento con buenos datos de entrada.

Por las limitaciones de los datos de sedimento, se utilizó el modelo como una herramienta de optimización para determinar la tasa máxima y mínima de sedimentación. Los resultados producen estimaciones relativamente exactas de los volúmenes de dragado anuales máximos para las mejoras de la primera etapa.

Se realizó la calibración tanto para los factores geométricos como del sedimento. La geometría se calibró ingresando varios valores  $n$  hasta que los niveles de agua de salida fueron similares a los datos de los hidrogramas de control. Las mediciones que se realizaron durante el reciente estudio hidrográfico de la vía navegable, sirvieron de guía para el valor correcto de  $n$ . La calibración del sedimento se realizó haciendo variar la descarga del sedimento hasta que en el canal no había ni agradación ni depósito. La guía para la descarga correcta de sedimento la proporcionó el análisis de los datos disponibles sobre descarga de sedimentos.

## 4. RESULTADOS DEL MODELO

### 4.1 TRAMO SANTA FE-CORUMBA

Se utilizó el modelo numérico HEC-6 para examinar la erosión y la deposición en 23 pasos críticos del cauce de agua Paraguay-Paraná. El principal objetivo del análisis fué examinar (simular) el comportamiento de los distintos tramos de estudio del sistema en relación a la propuesta de mejoramiento de la navegación. Para ello, primero el modelo fué calibrado para un estado base, correspondiente a las condiciones existentes en el sistema, utilizando caudales medios mensuales de largo plazo. Entonces se corrió el modelo para un canal dragado determinado, en condiciones idénticas de caudal. Se cree que las diferencias entre las dos corridas reflejan en forma precisa el efecto de los cambios en la topografía del fondo del río como consecuencia del dragado para mejorar la navegabilidad. Se utilizó el caudal medio mensual de largo periodo como el más representativo para el cálculo de los dragados anuales de mantenimiento. Sería posible usar otros valores, por ejemplo, los caudales mínimos o máximos de largo periodo. Sin embargo, utilizando los primeros se estaría subestimando los dragados y, contrariamente, usando los segundos, se los estaría sobreestimando.

Uno de los principales objetivos del estudio del modelo fué estimar los requerimientos de dragado de mantenimiento para los tramos problemáticos y extender esos resultados a otros tramos morfológicamente similares. La Tabla 4.1 presenta las estimaciones para los requerimiento de dragado de mantenimiento para 23 pasos problemáticos de la Hidrovia Paraná-Paraguay.

Un examen de la Tabla 4.1 frente a los volúmenes de apertura, revela que los volúmenes de dragado de mantenimiento son directamente proporcionales a la magnitud del dragado de apertura requerido. Como es de esperar, las curvas examinadas no muestran una tendencia obvia a la sedimentación. Es interesante notar que la ubicación con afloramiento rocoso, Remanso Castillo, no mostró tampoco tendencia a la sedimentación luego del dragado principal. Debería ser posible interpolar linealmente entre la máxima y la mínima para obtener estimaciones del dragado de mantenimiento para otras dimensiones intermedias de canales con un mínimo error. Más aún, debería ser posible extender los resultados obtenidos a otros pasos con características morfológicas y caudales (o secciones transversales) similares, como ha sido hecho en la Tabla 4.1.

Otro objetivo del estudio fue el de examinar de forma preliminar los efectos de los dragados de mantenimiento sobre los niveles y pendientes de la línea de agua en los pasos de navegación. Estos efectos se darán en función en los cambios de las secciones transversales del canal resultantes del dragado. En ese sentido, es importante observar que los materiales dragados se depositarán dentro del curso fluvial y que, por lo tanto, el área transversal del río quedará esencialmente constante.



**Tabla 4.1:** Volúmenes de dragado de mantenimiento. Volúmenes para anchos de 60 y 100 m. basados en procesamiento del Modelo HEC-6.  
Volúmenes restantes calculados por interpolación.

Paso	Nombre	Prof. dragada (m)	Volúmenes de dragado de mantenimiento (m) para varios anchos de canal (m)						
			60	65	75	80	90	100	
6	Riacho Zapata	3.2	---	---	---	---	---	---	
		3.6	---	---	---	---	---		
		4.0	17,770	19,250	22,210	23,690	26,650	29,610	
15	El Verde	3.2	---	---	---	---	---	---	
		3.6	---	---	---	---	---	---	
		4.0	---	---	---	---	---	---	
20	San Juan - La Palmita	3.2	---	---	---	---	---	---	
		3.6	---	---	---	---	---	---	
		4.0	---	---	---	---	---	---	
35	Mal Abrigo	3.2	15,020	17,055	21,120	23,155	27,225	31,290	
		3.6	23,300	26,455	32,765	35,920	42,235	48,545	
		4.0	31,670	35,960	44,535	48,823	57,400	65,975	
38	Las Canas	3.2	---	---	---	---	---	---	
		3.6	---	---	---	---	---	---	
		4.0	---	---	---	---	---	---	
57	Tacuani	3.2	53,910	61,210	75,810	83,110	97,710	112,310	
		3.6	100,115	113,670	140,785	154,340	181,455	208,570	
		4.0	146,320	166,135	205,700	225,575	265,200	304,830	
80	Fie. Pto. Pilar	3.2	8,965	9,710	11,205	11,950	13,445	14,940	
		3.6	21,050	22,805	26,310	28,065	31,575	35,085	
		4.0	33,135	35,895	41,420	44,180	49,705	55,225	
111	Dalmacia Morterito	3.2	113,625	127,830	156,235	170,435	198,840	227,245	
		3.6	130,665	146,335	177,680	193,355	224,965	256,040	
		4.0	148,110	165,105	199,090	216,085	250,075	284,060	
127	Trav. San Antonio	3.2	23,500	25,455	29,370	31,330	35,245	39,160	
		3.6	32,065	34,740	40,085	42,755	48,100	53,445	
		4.0	40,635	44,025	50,795	54,180	60,955	67,725	
128	Medin	3.2	51,350	55,625	64,185	68,465	77,020	85,580	
		3.6	67,560	73,190	84,450	90,080	101,345	112,605	
		4.0	83,775	90,755	104,720	111,700	125,665	139,625	

132	Purificación	3.2	105,080	113,835	131,350	140,105	157,620	175,130
136	Remanso Castillo	3.2	---	---	---	---	---	---
139	Tres Bocas Inf.	3.6	---	---	---	---	---	---
147	Trav. Villa Rey	4.0	---	---	---	---	---	---
149	San Juan	3.2	45,530	49,320	56,910	60,705	68,290	75,880
151	Yvyrayu	3.6	63,885	69,205	79,855	85,180	95,825	106,470
157	Burro Ygua	4.0	82,980	89,895	96,325	110,640	124,470	138,300
158	Santa Rosa Sup.	3.2	9,770	10,585	12,215	13,030	14,655	16,285
163	Curuzu Brasileiro	3.6	22,115	23,955	27,640	29,485	33,170	36,855
164	Curuzu Juanita	4.0	34,455	37,325	43,070	45,940	51,685	57,425
220	Curva do Aboteado	3.2	46,290	46,290	53,410	56,970	64,095	71,215
241	Yacare Superior	3.6	67,410	67,410	77,780	82,965	93,335	103,705
250	Santana	4.0	88,530	88,530	102,150	108,960	122,580	136,200
		3.2	9,300	10,080	11,630	12,405	13,955	15,505
		3.6	25,025	26,740	31,280	33,365	37,540	41,710
		4.0	40,745	44,140	50,935	54,330	61,120	67,910
		3.2	42,145	45,655	52,680	56,190	63,215	70,240
		3.6	68,620	74,340	85,775	91,495	102,930	114,370
		4.0	94,690	103,025	118,875	126,800	142,645	158,713
		3.2	48,215	52,235	60,270	64,290	72,325	80,360
		3.6	62,385	67,585	77,980	83,180	93,575	103,975
		4.0	76,355	82,720	95,445	101,810	114,535	127,260
		3.2	68,700	74,430	85,880	91,605	103,055	114,505
		3.6	86,585	93,800	108,235	115,450	129,880	144,310
		4.0	104,470	113,175	130,585	139,295	156,705	174,115
		3.2	1,000	1,085	1,250	1,335	1,500	1,670
		3.6	8,065	8,735	10,080	10,750	12,095	13,440
		4.0	15,125	16,385	18,905	20,170	22,690	25,210
		3.2	---	---	---	---	---	---
		3.6	---	---	---	---	---	---
		4.0	---	---	---	---	---	---
		3.2	95,660	103,635	119,580	127,550	143,495	159,440
		3.6	125,875	136,360	157,340	167,830	188,810	209,790
		4.0	156,080	169,090	195,100	208,110	234,120	260,136
		3.2	91,410	99,025	114,260	121,875	137,110	152,345
		3.6	111,535	120,830	139,415	148,710	167,300	185,890
		4.0	131,660	142,630	164,575	175,545	197,490	219,430

Para examinar los efectos del dragado se computaron los niveles de agua del paso 241 (Yacaré Superior) antes y después del dragado de apertura. Los resultados se presentan en la Figura 4.1 en la cual se representaron las diferencias entre los niveles de agua antes y después del dragado, en la sección límite de aguas arriba del paso. Un examen de la Figura 4.1 muestra una serie de aspectos interesantes. En primer lugar, la máxima diferencia de nivel es relativamente pequeña, alcanzando sólo 0.16 m en Enero, en el período de aguas bajas. En segundo lugar, el nivel de agua responde directamente al dragado, como lo muestran los cambios conspicuos de las diferencias de nivel entre Septiembre y Octubre. Sin embargo, la máxima reducción es sólo de 0.1 m. siguiendo al dragado en Octubre. Finalmente, y como conclusión más importante, los efectos del dragado parecen ser menores que los cambios de nivel que resultan de efectos naturales durante los períodos de aguas bajas, esto es, en enero. Cálculos de la pendiente de la línea de agua arrojan resultados similares, esto es, las declividades no cambian significativamente como consecuencia de los dragados de mantenimiento. Un factor importante para este carácter relativamente inalterable de pendientes y niveles es el mantenimiento de la sección transversal que resulta de la reintroducción del material dragado al cauce en otro lugar. Además, cualquier efecto de los dragados sobre niveles o declividades estarían localizados mayormente en las áreas de dragado y no se transmitirían hasta distancias significativas aguas arriba de esas áreas. Este tema es analizado con mayor detalle en el Capítulo 12 de Impacto Ambiental.

Un tercer objetivo del estudio fue el examen de la transposición de sedimentos después del dragado en relación a las tasas de transporte naturales. Una elucidación de este interesante problema se logra mediante un examen de la Figura 4.2, en que se han planteado las razones entre los sedimentos transportados a través del paso 241 y los que son retenidos en el área dragada, esto es, la eficiencia de atrape del paso. Como se verifica por la Figura 4.2, aproximadamente 40 - 55% de los sedimentos que entran al paso quedan allí depositados en los meses de enero a octubre. En noviembre y diciembre la eficiencia de atrape es muy baja y la mayor parte de los sedimentos que entran son transportados fuera del paso.

Otro aspecto interesante del problema de transporte de sedimentos es la relación entre el arrastre de fondo total del sistema fluvial y las cantidades de sedimento que deben ser removidos por los dragados de mantenimiento. En la Figura 4.3 se muestra el transporte de sedimentos totales acumulados a través del área del paso 241. Como muestra la Figura, aproximadamente  $1.300.000 \text{ m}^3$  de sedimentos son transportados a través del paso en un año promedio. Los valores mostrados en la Figura 4.3, se basan en un peso específico de sedimentos de  $1,8 \text{ ton/m}^3$ . Para el paso 241 la alternativa de dragado de 100 m. de ancho por 4,0 m. de profundidad (inferior solamente a la más alta considerada, de 125 m (x 4 m.), requiere un dragado de mantenimiento de  $260.000 \text{ m}^3/\text{año}$ , o sea solo 20% del arrastre total de sedimentos (arrastre de fondo y sedimentos en suspensión), valor que se reduce a cerca de 10% para la alternativa de 90 m x 3,2 m. Por ello, la relación relativamente pequeña dragado/transporte total dá credibilidad a la conclusión de que un dragado de la magnitud considerada tendrá efectos reducidos sobre los



# EFFECTOS DEL DRAGADO SOBRE LOS NIVELES DE AGUA

(Paso Yacaré - Sección aguas arriba)

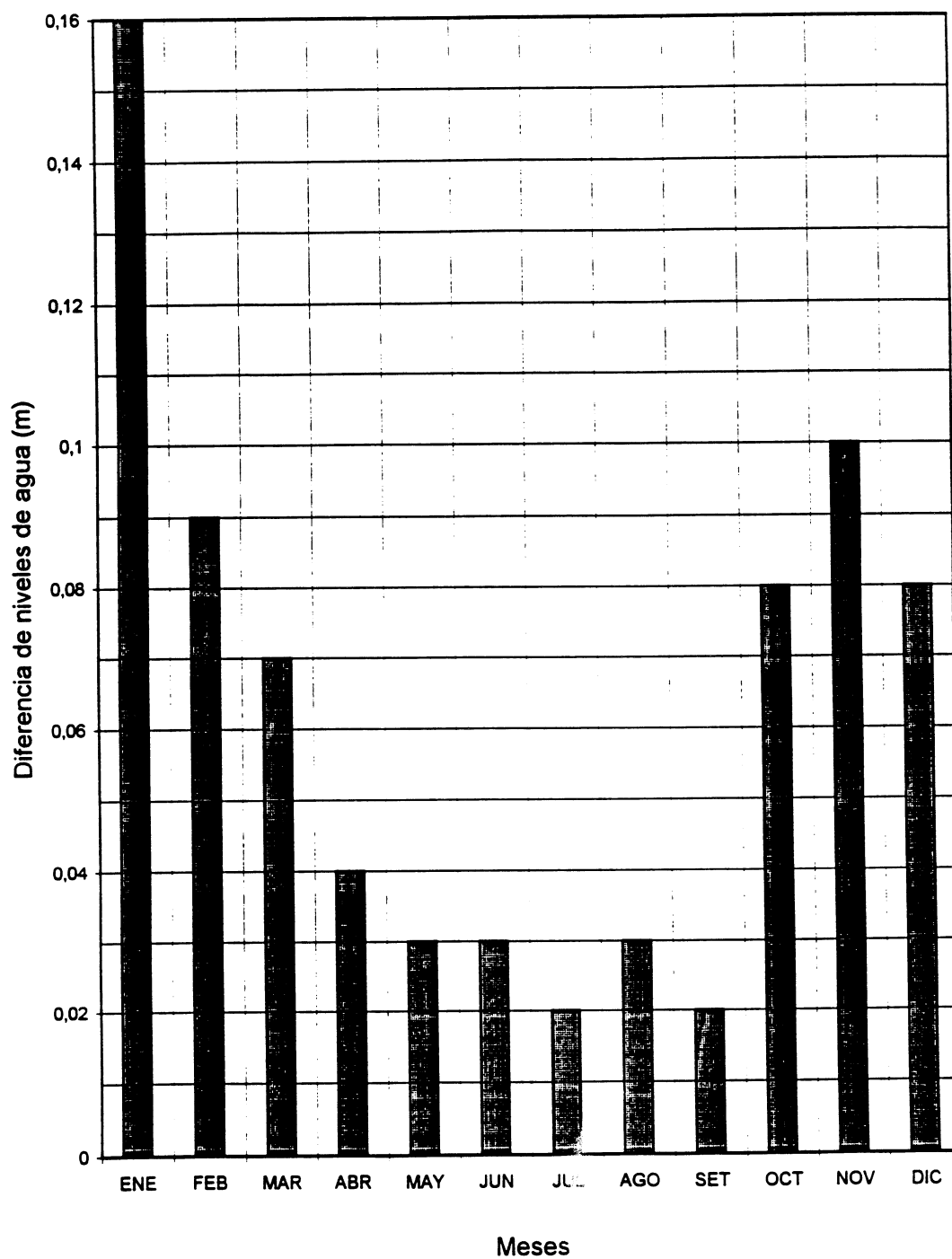


Figura N°4.1

# TRANSPORTE EFECTIVO DE SEDIMENTOS

Relación Entrada - Salida, Paso Yacaré

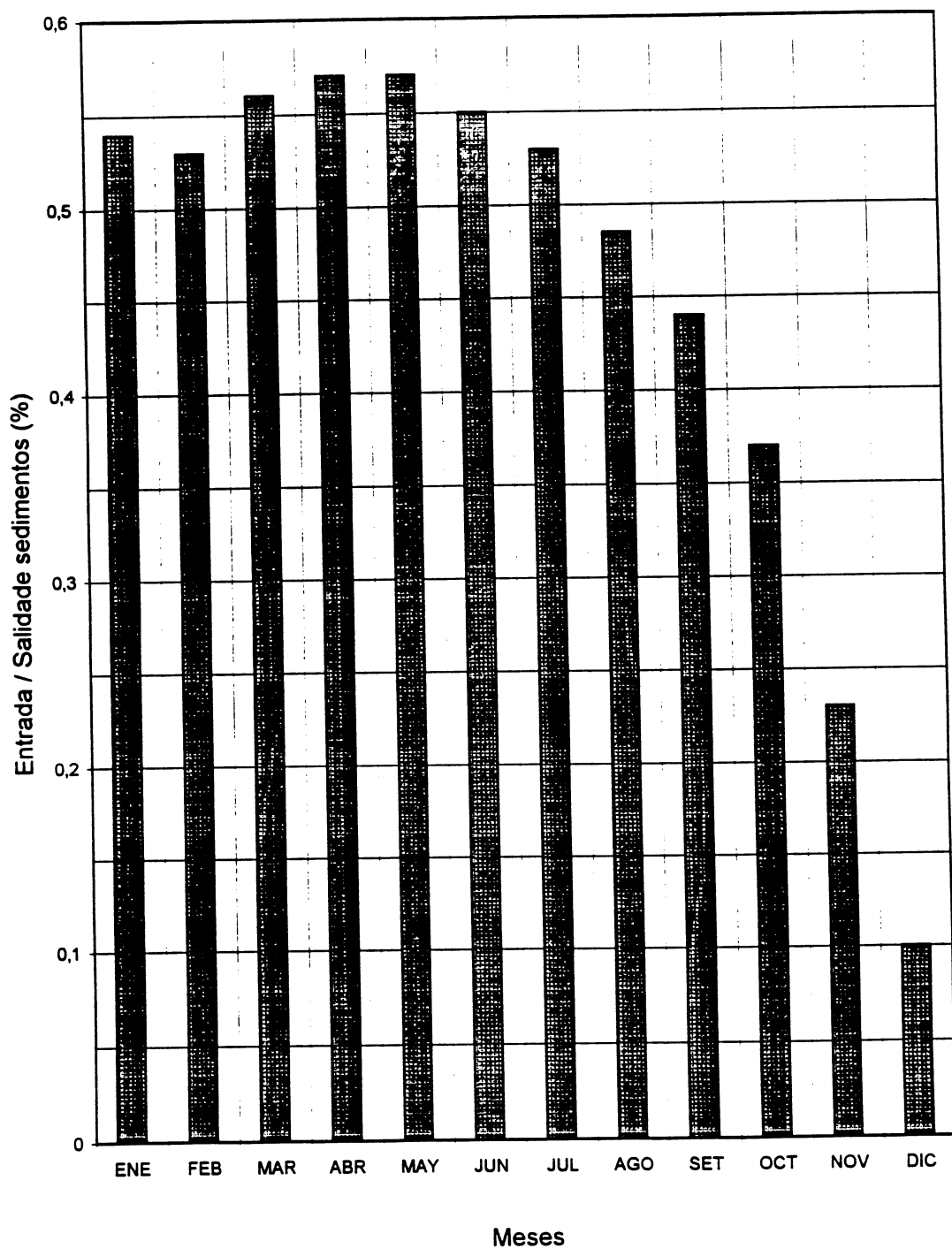


Figura N°4.2

## TRANSPORTE TOTAL DE SEDIMENTOS

### Paso Yacaré

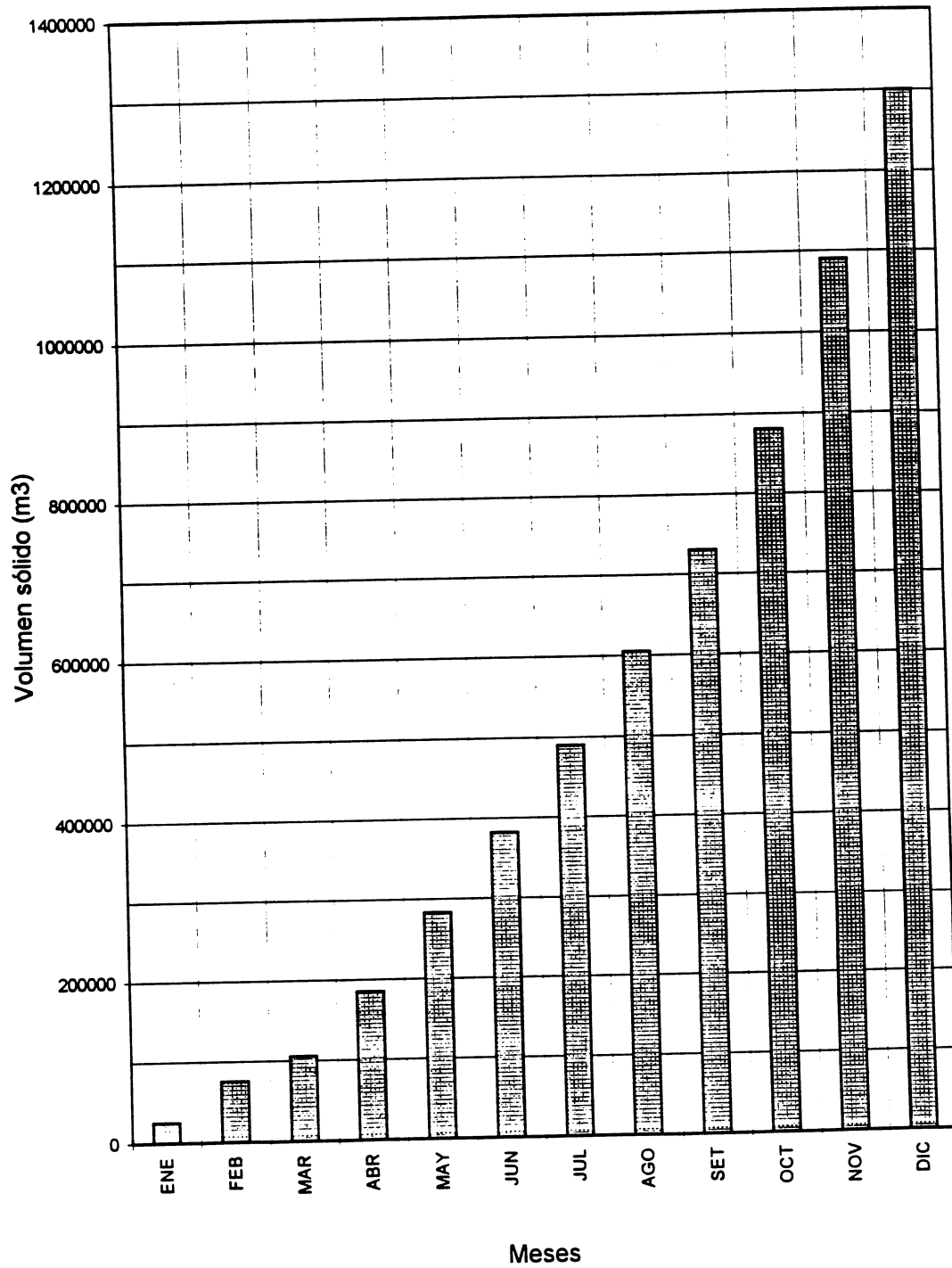


Figura N°4.3





procesos fluviales naturales, más aún si se tiene en cuenta que los sedimentos dragados serán restituidos al propio cauce.

Finalmente, resulta de interés evaluar la precisión general de los resultados aquí presentados. Como fue notado, con cantidad apropiada de datos de alta calidad, los resultados del modelo en general y, en el presente caso, relacionados con las cantidades de sedimentos que deberán ser removidos durante las operaciones de dragado de sedimentos, normalmente alcanzan una precisión del orden del 85-90%. Reducciones de la cantidad y cualidad de datos de entrada tienden a reducir esa precisión. Las tres categorías generales de datos de entrada son: (1), geometría, (2) sedimentos, y (3) hidrología.

Las categorías (1) y (3) son ciertamente adecuadas en términos cuantitativos; la calidad es difícil de evaluar pero, en base a los cuidados tomados en la obtención de los datos geométricos, y los análisis de consistencia realizados para los datos hidrológicos, se la supone relativamente alta. En relación a estas categorías, por lo tanto, es posible asumir una precisión del orden del 75-90%. Los datos de sedimentos, por su parte, son limitados y tenderían, en su forma original, a reducir sustancialmente la precisión de los resultados, llegando quizás hasta 60%. Se debe notar, sin embargo que los datos de sedimentos fueron optimizados durante el proceso de calibración (q.v.). Esta optimización debe aumentar la precisión a un valor cercano a 75%. En otras palabras, los valores presentados en la Tabla 4.1 pueden variar entre +/- 25%.

#### 4.2 TRAMO CORUMBA-CACERES

El modelo numérico HEC-6 se utilizó para analizar la erosión y depósito en 3 pasos críticos del Río Paraguay entre Cáceres y Corumbá. El principal objetivo del modelo fue analizar (simular) el comportamiento de los distintos tramos bajo estudio del sistema del río ante las mejoras propuestas a la navegación. Para ello, en primer lugar se calibró el modelo a un estado base, es decir las condiciones existentes en el sistema fluvial utilizando las condiciones del flujo mensuales medias de largo plazo. Luego se corrió el modelo con un canal dragado específico para condiciones idénticas de flujo. Se considera que las diferencias entre las dos corridas reflejan con exactitud los cambios en la topografía del lecho del río que resultan de las mejoras a la navegación. Los resultados se presentan más adelante en una serie de tablas. Se eligió el flujo mensual medio de largo plazo como el más representativo del flujo del río con el objetivo de calcular los requerimientos de dragado de mantenimiento anual. Podría utilizarse otros valores, por ejemplo, flujo mínimo de largo plazo o flujo máximo de largo plazo, sin embargo, el primero tendería a subestimar los requerimientos esperados de dragado y el segundo tendería a sobreestimar el volumen de dragado requerido sobre una base anual de largo plazo.

El principal objetivo de los estudios de este tramo fue estimar los requerimientos de dragado para los segmentos representativos de los problemas y ampliar esos resultados a otros tramos similares desde el punto de vista morfológico. La Tabla



Tabla 4.2. Volúmenes de dragado de mantenimiento anual para los 68 pasos críticos del Tramo C en el Río Paraguay

Paso No.	Kilómetro	Calado	Configuración del Convoy			
			2x2	2x1	1x2	1x1
1	2042.5	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---
2	2043.1	1.5	14.464	14.464	10.661	10.661
		1.8	18.136	18.136	13.367	13.367
3	2044.5	1.5	4.133	4.133	3.046	3.046
		1.8	5.182	5.182	3.819	3.819
4	2045.8	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---
5	2047.9	1.5	12.076	12.076	8.901	8.901
		1.8	15.142	15.142	11.16	11.16
6	2049.5	1.5	2.013	2.013	1.484	1.484
		1.8	2.524	2.524	1.86	1.86
7	2050.7	1.5	23.696	23.696	17.465	17.465
		1.8	29.712	29.712	21.899	21.899
8	2055.	1.5	8.715	8.715	6.248	6.248
		1.8	11.616	11.616	8.329	8.329
9	2057.1	1.5	4.149	4.149	3.058	3.058
		1.8	5.202	5.202	3.834	3.834
10	2059.4	1.5	16.593	16.593	12.23	12.23
		1.8	20.806	20.806	15.335	15.335
11	2060.2	1.5	17.234	17.234	12.702	12.702
		1.8	21.609	21.609	15.927	15.927
12	2064.1	1.5	4.149	4.149	3.058	3.058
		1.8	5.202	5.202	3.934	3.934
13	2066.3	1.5	6.222	6.222	4.586	4.586
		1.8	7.802	7.802	5.75	5.75
14	2069.9	1.5	8.297	8.297	6.115	6.115
		1.8	10.403	10.403	7.668	7.668
15	2071.6	1.5	5.54	5.54	4.083	4.083
		1.8	6.946	6.946	5.12	5.12
16	2072.7	1.5	18.037	18.037	13.102	13.102
		1.8	22.135	22.135	16.368	16.368
17	2076.1	1.5	6.557	6.557	3.94	3.94
		1.8	7.429	7.429	5.318	5.318
18	2078.8	1.5	5.678	5.678	4.07	4.07
		1.8	7.94	7.94	5.448	5.448
19	2080.	1.5	22.013	22.013	15.835	15.835
		1.8	27.522	27.522	19.733	19.733
20	2082.5	1.5	1.719	1.719	1.217	1.217
		1.8	2.915	2.915	2.076	2.076
21	2089.	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---
22	2091.6	1.5	8.002	8.002	5.898	5.898
		1.8	10.033	10.033	7.395	7.395

23	2093.1	1.5	6.001	6.001	4.423	4.423
		1.8	7.524	7.524	5.546	5.546
24	2094.5	1.5	6.365	6.365	4.691	4.691
		1.8	7.981	7.981	5.882	5.882
25	2095.7	1.5	29.704	29.704	21.893	21.893
		1.8	37.245	37.245	27.452	27.452
26	2096.3	1.5	29.704	29.704	21.893	21.893
		1.8	37.245	37.245	27.452	27.452
27	2097.9	1.5	4.244	4.244	3.128	3.128
		1.8	5.321	5.321	3.922	3.922
28	2099.5	1.5	10.609	10.609	7.819	7.819
		1.8	13.302	13.302	9.804	9.804
29	2100.	1.5	16.882	16.882	12.443	12.443
		1.8	21.168	21.168	15.602	15.602
30	2100.7	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---
31	2102.9	1.5	4.22	4.22	3.11	3.11
		1.8	5.292	5.292	3.9	3.9
32	2103.8	1.5	14.532	14.532	10.711	10.711
		1.8	18.222	18.222	13.431	13.431
33	2104.1	1.5	75.398	75.398	55.572	55.572
		1.8	94.539	94.539	69.68	69.68
34	2110.1	1.5	3.902	3.902	2.876	2.876
		1.8	4.893	4.893	3.606	3.606
35	2111.	1.5	9.755	9.755	7.19	7.19
		1.8	12.232	12.232	9.016	9.016
36	2112.	1.5	5.479	5.479	4.038	4.038
		1.8	6.87	6.87	5.064	5.064
37	2113.2	1.5	68.935	68.935	50.809	50.809
		1.8	86.436	86.436	63.708	63.708
38	2118.4	1.5	3.653	3.653	2.692	2.692
		1.8	4.58	4.58	3.376	3.376
39	2120.3	1.5	27.656	27.656	22.341	22.341
		1.8	31.107	31.107	24.596	24.596
40	2123.	1.5	36.331	36.331	26.778	26.778
		1.8	45.555	45.555	33.576	33.576
41	2125.	1.5	757	757	531	531
		1.8	3.079	3.079	2.177	2.177
42	2126.	1.5	17.396	17.396	12.5	12.5
		1.8	22.516	22.516	13.587	13.587
43	2127.3	1.5	1.826	1.826	1.346	1.346
		1.8	2.29	2.29	1.688	1.688
44	2132.6	1.5	3.653	3.653	2.692	2.692
		1.8	4.58	4.58	3.376	3.376
45	2135.9	1.5	13.504	13.504	9.953	9.953
		1.8	16.932	16.932	12.48	12.48
46	2138.	1.5	23.15	23.15	17.063	17.063
		1.8	29.027	29.027	21.394	21.394
47	2143.4	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---

48	2144.5	1.5	19.783	19.783	14.581	14.581
		1.8	24.806	24.806	18.283	18.283
49	2151.	1.5	3.858	3.858	2.844	2.844
		1.8	4.838	4.838	3.566	3.566
50	2152.1	1.5	3.749	3.749	2.763	2.763
		1.8	4.701	4.701	3.465	3.465
51	2153.	1.5	7.498	7.498	5.526	5.526
		1.8	9.402	9.401	6.93	6.93
52	2157.4	1.5	3.749	3.749	2.763	2.763
		1.8	4.701	4.701	3.465	3.465
53	2159.6	1.5	12.598	12.598	9.285	9.285
		1.8	15.797	15.797	11.643	11.643
54	2160.7	1.5	8.399	8.399	6.19	6.19
		1.8	10.531	10.531	7.762	7.762
55	2163.3	1.5	53.855	53.855	39.694	39.694
		1.8	67.528	67.528	49.772	49.772
56	2172.8	1.5	16.798	16.798	12.381	12.381
		1.8	21.062	21.062	15.524	15.524
57	2174.	1.5	5.052	5.052	3.724	3.724
		1.8	6.334	6.334	4.668	4.668
58	2177.3	1.5	14.144	14.144	10.425	10.425
		1.8	17.735	17.735	13.072	13.072
59	2179.5	1.5	28.449	28.449	20.968	20.968
		1.8	35.671	35.671	26.291	26.291
60	2183.2	1.5	1.896	1.896	1.397	1.397
		1.8	2.378	2.378	1.753	1.753
61	2185.2	1.5	9.483	9.483	6.989	6.989
		1.8	11.89	11.89	8.764	8.764
62	2186.8	1.5	4.238	4.238	3.124	3.124
		1.8	5.314	5.314	3.917	3.917
63	2188.2	1.5	---	---	---	---
		1.8	---	---	---	---
64	2190.3	1.5	5.297	5.297	3.904	3.904
		1.8	6.642	6.642	4.896	4.896
65	2193.7	1.5	8.789	8.789	6.478	6.478
		1.8	11.02	11.02	8.122	8.122
66	2198.2	1.5	---	---	---	---
		1.8	2.755	2.755	2.03	2.03
67	2199.7	1.5	8.813	8.813	6.496	6.496
		1.8	11.05	11.05	8.144	8.144
68	2200.5	1.5	3.692	3.692	2.721	2.721
		1.8	4.63	4.63	3.412	3.412
TOTAL		1.5	823.083	823.083	606.444	606.444
		1.8	1.034.977,00	1.034.977,00	760.034	760.034



4.2 presenta las estimaciones de los requerimientos calculados y ampliados de dragado de mantenimiento para los 68 pasos que presentan problemas en el Tramo C del Río Paraguay. Los cálculos se realizaron para las dos alternativas de calado de barcazas (1,5 m y 1,8 m) y para cuatro configuraciones distintas de convoy. Los valores resultantes son interpolaciones lineales de los valores calculados utilizando el área de sección transversal y la longitud del tramo como argumentos de entrada.

El análisis de la Tabla 4.2 muestra que los volúmenes de dragado de mantenimiento son directamente proporcionales a la magnitud del dragado de capital requerido. Como se esperaba, en las curvas analizadas se obtuvo una baja tendencia a la sedimentación. Por otra parte, el redepósito del sedimento en los tramos largos siguientes al dragado de capital, fue especialmente rápido.

Como se indicara antes, los cálculos del Tramo B se limitaron a estimar los volúmenes totales de dragado de mantenimiento. La Tabla 4.3 presenta estas estimaciones además de los totales para el Tramo C y para todo el río entre Cáceres y Corumbá. Los valores para el Tramo B se basan en el análisis de 5 características morfológicas genéricas que se identificaron durante el reconocimiento en el terreno. Debido a la naturaleza de las mejoras proyectadas en el río, es decir, corte de márgenes, corte de sinuosidades, etc., sólo se podrá requerir un dragado mínimo anual en 6 de los 79 lugares identificados. Los lugares restantes requerirán obras de dragado con intervalos de 5-7 años; las cantidades que deberán eliminarse serán equivalentes a las eliminadas durante la fase de dragado de capital de las mejoras del río. Los valores que se muestran para el Tramo B en la Tabla 4.3 son los valores de 5-7 años y no se han prorrateado sobre una base anual.

Tabla 4.3: Volúmenes Totales del Dragado Anual de Mantenimiento para el Tramo Pantanal del Río Paraguay para Distintas Configuraciones de convoy

Tramo Río	Calado	Configuración de convoy			
		2x2	2x1	1x2	1x1
B	1,5	1.080.000	280.000	—	56.000
	1,8	1.200.000	310.000	—	62.000
C	1,5	823.083	823.083	606.444	606.444
	1,8	1.034.977	1.034.977	760.034	760.034

La importancia para la hidrología regional de una planicie aluvial como la región del Pantanal en el Río Paraguay, no puede sobreestimarse. El Pantanal, compuesto por un gran número de lagunas, lagos y depresiones que sirven como fuentes de agua durante los períodos de flujo declinante del río y de recipientes de acumulación de agua durante los períodos de flujos crecientes, produce una acentuada regularización natural de las descargas. Un modelo simple

unidimensional de flujo no puede simular las complejidades de dicho sistema más que de un modo muy fundamental. Para una mayor comprensión de la hidrología y flujo del río en esta área ambientalmente compleja, es necesario un estudio más profundo y completo del que se realizara en este estudio preliminar. En consecuencia, las intervenciones que se realicen para mejorar la navegación, en particular, los dragados de áreas de poca profundidad y de los márgenes del canal, deberían examinarse cuidadosamente e implementarse por etapas de una forma sistemática, intercalando periodos de cuidadosa observación de los efectos producidos.



## 5. ESTIMACION DE DEPOSICION DE SEDIMENTOS EN EL CANAL TAMENGO

El Canal Tamengo, principal acceso de Bolivia a la Hidrovia, es un afluente del margen derecho del Río Paraguay de unos 10.5 km de extensión, que conecta ese río con la Laguna de Cáceres. Otros dos canales, el Tutuyu y el Sicuri, también conectan, más al Norte, la Laguna y el río, formando un complejo sistema de vasos comunicantes (ver descripción en el Capítulo 12).

El flujo de agua por el Canal Tamengo es determinado por el nivel de agua del Río Paraguay (Figura 5.1). Cuando este nivel es alto, en la estación invernal, el flujo se dirige hacia la Laguna de Cáceres, invirtiéndose en la estación veraniega. La laguna funciona así como un embalse, almacenando aguas en la época de crecientes y descargándolas en los estiajes, produciendo un efecto regularizador.

La velocidad de la corriente en el Canal Tamengo es directamente proporcional al gradiente hidráulico entre la laguna y el río. Además, el vector tensión de corte de fondo,  $\tau_o$ , es también proporcional a ese gradiente. La relación entre ese vector y el gradiente hidráulico puede expresarse como:

$$\tau_o = \gamma R S$$

donde:

$\gamma$ = peso específico del agua

$R$ = radio hidráulico ( $\approx$  profundidad del agua)

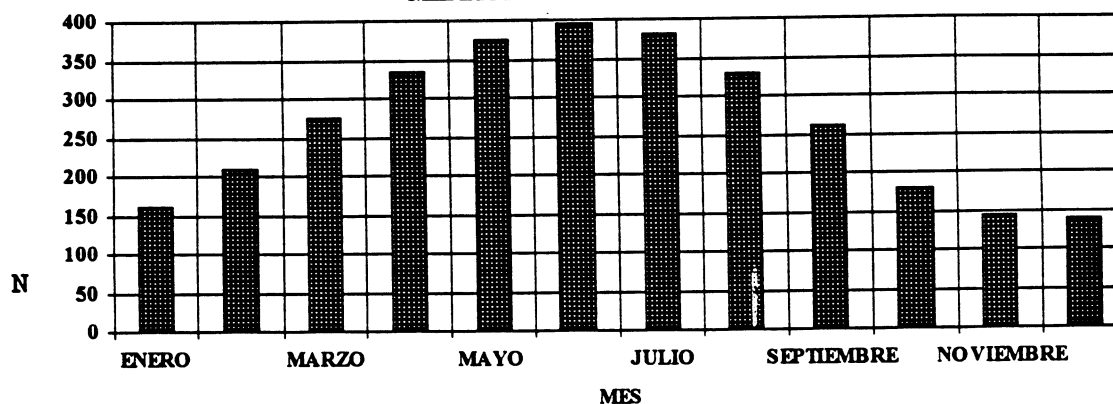
$S$ = pendiente de la superficie de agua

Una representación temporal de la tensión de corte de fondo en el Canal (Figura 5.2), utilizando los datos disponibles del gradiente hidráulico y  $R= 3.1$  m., muestra la fuerte correlación entre los estados altos del Río Paraguay en el mes de Junio, y valores altos de la tensión de fondo dirigidos hacia la Laguna Cáceres. La Figura 5.2 muestra también las tensiones de corte dirigidas hacia el Río Paraguay con estados bajos de este río. La correlación imperfecta entre la magnitud de la tensión de corte y su dirección, y el nivel de agua en el Río Paraguay, sugiere que existen también otros factores que influyen la corriente en el canal.

Una medida de la capacidad de transporte de sedimentos de flujos líquidos es la velocidad de fricción,  $U=(\tau_{o,p})^{0.5}$ , una cantidad linear o no direccional. La serie temporal de velocidades de fricción para el Canal Tamengo (Figura 5.3) muestra valores relativamente bajos ( $< 0,1$  cm/s) a través del año, aún durante periodos de caudales altos. También se representa en la Figura 5.3 la línea  $U = 1,25$  cm/s, el mínimo valor necesario para causar el movimiento de material con tamaño granulométrico comprendida entre limo y arenas finas, esto es, el

material que de acuerdo a los relevamientos realizados constituye el material de fondo. Obviamente, las velocidades y tensiones de corte son insuficientes para remover el material de fondo. Puesto que el sedimento no se mueve en ninguna de las dos direcciones, tanto como sedimento en suspensión como arrastre de fondo, el dragado de mantenimiento solo será necesario para los materiales más gruesos llevados al canal como carga de lavado, y depositado en los períodos de aguas paradas. Por lo tanto, es razonable admitir que las acumulaciones en el Canal Tamengo debidas a las corrientes a través del mismo no superen cerca de 2 a 3 cm. por año. Por otro lado, debido a sus dimensiones relativamente estrechas, el paso de convoyes puede ocasionar erosiones en los márgenes que requieran remoción.

**FIGURA 5 - 1**  
**NIVEL DEL AGUA - CORUMBÁ**  
**MEDIA MENSUAL 1911 - 1993**



**FIGURA 5 - 2**  
**TENSIÓN DE CORTE EN EL LECHO**  
**CANAL TAMENGO**

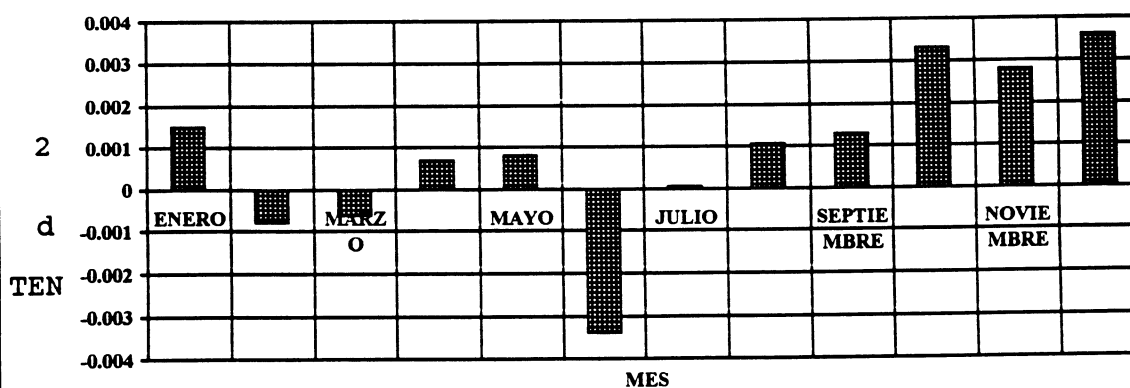
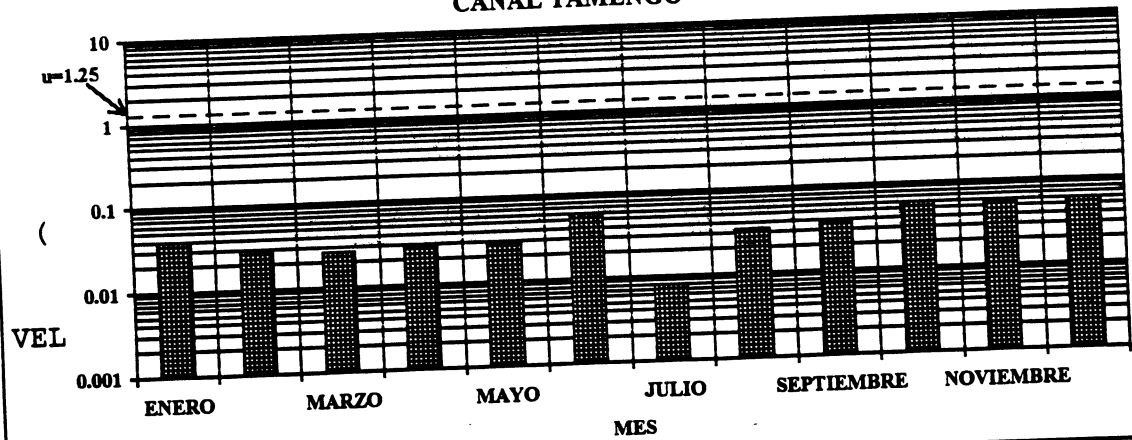


FIGURA 5 - 3  
VELOCIDAD DE FRICCIÓN  
CANAL TAMENGO



## BIBLIOGRAFIA

Ackers, P y W.R: White, 1973. Transporte de sedimentos: un nuevo enfoque y análisis. Journal of Hydraulic Division, ASCE, v99(HY11): 2041-2060.

Almeida, Fernando Flavio Marques de y Miguel Alves de Lima, 1956. Excursion Guidebook N° 1, The West Central Plateau and Mato-Grosso "Pantanal". Unión Geográfica Internacional, Comité Nacional Brasileiro, Río de Janeiro, 129 p., 17 fotos y 17 figuras.

USACOE-HEC, 1993. HEC-6, Socavación y Deposición en Ríos y Reservorios, Manual del Usuario, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, CPD-6, 164 pp (con Apéndices).

Yang, C.T., 1973. Movimiento incipiente y transporte de sedimentos. Journal of the Hydraulic Division, ASCE, v99(HY10): 1679-1704.

Yang, C.T. y S. Wang, 1991. Comparación de fórmulas seleccionadas de carga de materiales de lecho. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, v.117(8): 973-989.

## **CAPITULO 11**

### **ESTUDIOS PRELIMINARES DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACION**



## **CAPITULO 11**

### **INDICE**

<b>SECCION 11.1 - ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACION TRAMO NUEVA PALMIRA - CORUMBA / CANAL TAMENGO</b>	<b>1</b>
<b>SECCION 11.2 - ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACION CORUMBA-CACERES</b>	<b>2</b>
1. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SEÑALIZACION ENTRE CORUMBA Y CACERES	2
2. RECOMENDACIONES SOBRE LA COLOCACION EXPERIMENTAL DE BOYAS CIEGAS LIVIANAS TIPO BRASIL	5
3. ESTIMACION DE COSTOS DE INVERSION, MANTENIMIENTO Y OPERACION	6
3.1 BASES DE ESTIMACION	6
3.1.1 Costos de inversión	6
3.1.2 Costos de mantenimiento y operación	6
3.2 INVERSIONES Y COSTOS ANUALES DE MANTENIMIENTO Y OPERACION	7
<b>ANEXO 11.1 - Listado de Balizamiento - Tramo Corumbá-Cáceres</b>	<b>10</b>





## **CAPITULO 11**

### **SECCION 11.1 - ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN - TRAMO NUEVA PALMIRA - CORUMBA / CANAL TAMENGO**

Después de un levantamiento completo de todas las señales existentes a lo largo del tramo Nueva Palmira-Corumbá, se realizó un proyecto de incremento de señales en el Tramo Santa-Fe-Corumbá. Se analizó también el Tramo Santa-Fe-Nueva Palmira, en el cual existe señalización adecuada para navíos oceánicos. En ese tramo se incluyeron algunas boyas y balizas en el acceso al puerto de Nueva Palmira, y en algunos trechos se previó señalización para separar la navegación fluvial y marítima.

Se han hecho diversos análisis comparativos entre los tipos de señalización actualmente vigentes en la Hidrovía, y los utilizados en el río Mississippi y en otros sistemas de señalización fluviales en el mundo. Se constató que el principal problema que afecta las boyas de la Hidrovía, es el de los camalotes que no existe en los otros sistemas fluviales. Las boyas pesadas actualmente empleadas en la Hidrovía resisten bien el impacto de camalotes. Por esta razón, y también para no tener que cambiar totalmente los sistemas de operación y mantenimiento, se ha basado el proyecto de nueva señalización en los tipos actualmente existentes en la Hidrovía.

Sin embargo, se recomienda la ejecución de ensayos, en un tramo piloto, de boyas livianas tipo Mississippi, pues éstas son de bajo costo y permiten una mayor densidad de señales.

En el estudio se analizan también las tendencias futuras de los sistemas de ayuda a la navegación, que dependen de la puesta en práctica de sistemas GPS satelitarios seguros y de precisión suficiente, y también de la ejecución de levantamientos geográficos precisos y su actualización con periodicidad apropiada.

El estudio realizado en la fase preliminar, a efectos de definir las alternativas más apropiadas, tiene el mismo contenido que el presentado en el Capítulo 17 del presente informe.

Si bien se realizó una estimación preliminar de los costos del balizamiento, luego de algunos ajustes y con base en los proyectos definitivos de dragado, los análisis económicos fueron realizados con los valores finales que se consignan en el Capítulo 17.

## **SECCION 11.2 - ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN EN EL TRAMO CORUMBÁ-CÁCERES**

### **1. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SEÑALIZACIÓN ENTRE CORUMBA Y CACERES**

Las características específicas del Río Paraguay en este tramo de 685.5 km., difíciles de ser modificadas, por los altos costos y severo impacto ecológico, hizo necesario replantear los criterios y recomendaciones sobre la señalización aplicados a los otros tres tramos de la Hidrovía abajo de Corumbá (Corumbá-Río Apa, Río Apa- Asunción, Asunción-Nueva Palmira).

En efecto, la gran sinuosidad del Río Paraguay entre Corumbá y Cáceres, con más de 115 curvas y tramos donde el coeficiente de sinuosidad llega a 2,4 (Km 2900-Km 3282), con exiguos radios y soleras, presencia de grandes camalotes y extensas zonas del río donde, en época de creciente las márgenes dejan de ser visibles, indicarían la necesidad de una señalización de gran densidad de señales ciegas y luminosas. Sin embargo, así como se mencionó al principio la magnitud de las inversiones necesarias versus la ecuación económica del costo de transporte no la justifica. Como corolario de lo expuesto se efectuó el siguiente replanteo:

- En las curvas con radios  $\leq 150$  m. y soleras angostas, se recomienda la implantación de una baliza ciega próxima al medio de la punta cóncava.
- Implantar balizas luminosas al inicio y fin de los Furados y Arrombadas, Canal dragado en la laguna Gaíba y Confluencia del Río Bracinho y Sararé.
- Indicar la proximidad de estos sitios mediante balizas ciegas con la simbología “Acción a Empezar” prevista para bifurcación de la derrota.
- No incluir boyas como elementos de señalización por la gran cantidad y tamaño de los camalotes, pero sí la recomendación de implantar a prueba varias boyas ciegas en los tramos de los “ Furados o Arrumbados” para marcar la derrota. La razón de tal recomendación es la suposición de que los camalotes seguirán flotando de largo por los meandros adyacentes. Se consideró conveniente probarlas en el tramo Laguna Gaíba, en el Furado Monte Grande, por acortar ~3 km. la derrota y por último para señalización del casco en el Km. 3360,7.
- Ejecutar señalización del Canal Dragado en la Laguna Gaiba prevista por AHIPAR, con caños colocados en pares y balizas luminosas, al inicio y final del canal. Se estima conveniente recomendar una separación entre los pares de caños del orden de 500 m. Distancias menores entre los pares de caños los

convertirían en un peine de retenciones de los camalotes que en este tramo flotan erráticamente.

- Se mantiene la señalización existente, reinstalando las balizas desaparecidas o caídas y se agregan las balizas nuevas propuestas según los criterios esbozados. En el Anexo 11.1 se incluye el listado de balizas propuesto donde se han ordenado tanto las balizas existentes como las nuevas señales a incorporar según su kilometraje con origen en el Puerto de Buenos Aires. El balizamiento existente está considerado en base al croquis de navegación de AHIPAR. Para el tramo comprendido entre los kilómetros 3223,4 y 3282,5 (1983,4 y 2042,5 del Río Paraguay), la ruta de navegación se propone por el río Sararé, siguiendo luego por el Bracinho Superior. En las Figuras N° 1 a 5 se ha volcado la totalidad del balizamiento propuesto. Dado que en el tramo Sararé-Bracinho no existe croquis de navegación con su correspondiente kilometraje, se ha incluido un croquis con el balizamiento propuesto con un kilometraje creciente hacia aguas arriba y cuyo cero coincide con la bifurcación Sararé-Río Paraguay.

Sobre las balizas existentes y desaparecidas cabe la siguiente observación:

La significativa cantidad de balizas desaparecidas, caídas o inclinadas, prima facie independiente de las posibles embestidas de las embarcaciones en época de crecientes, se pueden atribuir al poco empotramiento de las mismas especialmente en suelos blandos, costas bajas y bañados.

Para remediar estas deficiencias y hacer más fácil la implantación de las balizas o mantenimiento, se recomienda la adquisición de un pontón equipado con lo necesario para realizar estas tareas durante niveles adecuados del río. Siempre es más accesible desde el agua, la implantación de una baliza o su mantenimiento.

- Relacionado a la simbología “Acciones a Emprender”, si bien se mantienen las reservas mencionadas para su aplicación, se estima conveniente, ya que es una decisión tomada por el C.I.H, emplear el símbolo “X” (cambio de margen) solamente cuando se trata efectivamente de un cambio de margen indicado por el símbolo “O”.

Tratándose de indicación, navegar por el medio del Río, vale decir símbolo H, este debe ser mantenido independientemente de que las balizas indicadoras cambien de mano.

- En el listado de las balizas, así como se procedió en los tramos del Río Paraguay, aguas abajo de Corumbá no figuran los símbolos. Se consideró prudente que los símbolos “Acción a Emprender” sean puestos acorde con las características del río en el momento de las implantaciones o mantenimiento de las balizas.

- Las características específicas tenidas en cuenta para la elección de tipos de balizas ciegas o luminosas, son en gran parte parecidas a las que se adoptaron para la derrota Corumbá-Nueva Palmira. Las que son puntuales para el tramo Corumbá-Cáceres, en función de los tipos de embarcaciones que la navegan, de menor porte, son las que a continuación se exponen:

- \* Al adoptar el modo de señalización “Acción a Empezar”, los símbolos gráficos deberán tener como mínimo una altura y un ancho de 0,60 m x 0,40 m con espesor del símbolo de 0,08 m, para permitir una visualización con rango nominal de ~ 300 m.
- \* Dimensiones de las placas indicadoras de los kilómetros 2' x 1' (0,61 m. x 0,305 m.) pintadas de blanco con números  $\geq 0,15$  m. en cintas reflectantes verdes o rojas, según la margen de la ubicación de las balizas.

Se recomienda publicar un “Listado de Señales” parecido al que publica D.H.N. de la Armada de Brasil para el tramo Río Apa - Corumbá donde las ubicaciones de las señales fijas son dadas por kilometraje y coordenadas “Mercator” y mediante avisos a los navegantes informar sobre los cambios que sucedan. De este modo, las embarcaciones que tendrán instaladas un simple equipo GPS., se beneficiarán de la ventaja de poder situarse con una buena aproximación en la derrota, en ocasiones de falta de visualización de las balizas o puntos notables en las orillas. El costo del aparato GPS es del orden de los US\$ 1500, lo que lo hace accesible para ser instalado a bordo de los remolcadores empujadores.

El índice de evaluación de una señalización, densidad de señales por Km., en este caso 1 señal cada 1,67 Km., no es ilustrativo teniendo en cuenta las disparidades de las densidades de señales en los varios tramos que conforman la derrota Corumbá Cáceres. Esto indica en cambio la gran cantidad de señales empleadas, por ende costos, para disponer de una mínima señalización.

## **2. RECOMENDACIONES SOBRE LA COLOCACIÓN EXPERIMENTAL DE BOYAS CIEGAS LIVIANAS TIPO BRASIL**

La boya ciega recomendada es la boya liviana metálica brasileña de bajo costo, buena visualización por su diámetro de 0,955 m. y dotada de pantalla reflectante de radar con una altura visible de aproximadamente 1.50 m.

Tiene un comportamiento relativamente aceptable, versus los camalotes, su bajo costo compensa las reposiciones si es arrastrada por los camalotes y su peso de 300 kg. permite fácil reubicación.

A tal efecto, en los costos de inversiones y mantenimientos propuestos se agregó la adquisición de 20 boyas de las características mencionadas de fácil adquisición en Brasil por el extenso uso que se les da.

Se recomienda la colocación experimental de estas boyas en los siguientes sitios:

- Canal Laguna Gaíba: Un par de boyas al comienzo y final del Canal e intercalar otros 3 pares equidistantes entre sí a lo largo del Canal. Total 10 boyas.
- Furado Monte Grande: Un par de boyas al comienzo y final del Furado e intercalar en forma alternada, de una margen a la otra, cada 500 m. una boya. Total 8 boyas.
- Casco Km. 3.360,7. Colocar una boya con indicación de peligro aislado.

### 3. ESTIMACION DE COSTOS DE INVERSION, MANTENIMIENTO Y OPERACION

#### 3.1 BASES DE ESTIMACION

##### 3.1.1 Costos de inversión

Elemento	Valores en \$
Boya ciega liviana	1.125
Baliza ciega	812
Baliza luminosa	5.489
Pontón equipado para hincado de balizas	165.000

##### 3.1.2 Costos de mantenimiento y operación

###### *a. Costos de mantenimiento*

Elemento	Valores en \$/año
Boya ciega liviana	363,36
Baliza ciega	81,00
Baliza luminosa	1.570,00
Pontón equipado para hincado de balizas	3.504,00

###### *b. Costos operacionales*

###### *. Costos del personal embarcado y en tierra*

ITEMS	COSTO MENSUAL					COSTO ANUAL
	Nro.	Sueldo + Cs. Soc.	Extras	Comidas	Total	
Personal en tierra	4	5.220	1.300	-	6.520	74.340
Personal a bordo	8	8.100	5.500	800	14.400	153.900
Totales	12	13.320	6.800	800	20.926	228.240

Las premisas adoptadas para determinar los costos anuales son: el personal a bordo cobrará sueldos durante todo el año y solamente nueve meses considerados operativos cobrarán horas extras y comidas. El personal en tierra cobrará sueldos todo el año y solamente durante nueve meses operativos, horas extras.

###### *.Costos de los combustibles, aceites, grasas, etc.*

ITEM	MARCO OPERATIVO (meses)	COSTOS ANUALES (\$/Año)
Remolcadores y embarcaciones	9	55.920
Pontón equipado para hincado de balizas	9	3.504
Totales		59.424

Se asignan tres viajes de inspección y mantenimiento por año.

. Costos de infraestructura de la base

ITEMS	COSTO MENSUAL (\$/mes)			COSTO ANUAL (\$/año)
	Comb. (aceites, grasas, etc.)	Patentes, luz, gas	Total	Total
Vehículo	150	62	212	2.544
Inmueble	-	300	300	3.600
Totales	150	362	512	6.144

Definidos los costos promedios unitarios de adquisición y mantenimiento de los ítems que conforman la unidad de campo de la señalización, se procedió al cálculo estimativo del total de los costos de inversión, mantenimiento y operación.

### 3.2 INVERSIONES Y COSTOS ANUALES DE MANTENIMIENTO Y OPERACION

. Costos de inversión

*Nuevas Señales*

ITEMS	COSTOS UNITARIOS (\$)	UNIDADES	COSTOS DE INVERSION (\$)
Boyas ciegas livianas	1.125	20	22.500
Balizas ciegas	812	133	107.996
Balizas luz	5.489	20	109.780
Total			240.276

*Nuevas Embarcaciones*

ITEMS	COSTO UNITARIO (\$)	UNIDADES	COSTO TOTAL (\$)
Pontón con equipo para hincar balizas	165.000	1	165.000

. Costos anuales de mantenimiento

ITEMS	COSTOS UNITARIOS	UNIDADES	TOTALES (\$/año)
Boyas ciegas livianas	363	20	7.260
Balizas ciegas	81	390	31.590
Balizas Luz	1.570	20	31.400
Totales			70.250

. Costos anuales de operación

ITEM	COSTO ANUAL
Personal	228.240
Combustible	59.424
Infraestructura de la Base	6.144

### **3.3 RESUMEN GENERAL**

En la Tabla N° 3.3.1 se resumen las cantidades de las señales y los costos de inversión y de operación y mantenimiento anual del sistema de balizamiento propuesto para el tramo Corumbá-Cáceres.



**TABLA N° 3.3.1: SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN  
TRAMO CORUMBÁ-CÁCERES**

**Resumen de cantidades de señales  
y costos de inversión, operación y mantenimiento**

*Cantidades de señales*

<b>ELEMENTO</b>	<b>NUEVOS</b>	<b>TOTAL</b>
Boyas ciegas livianas	20	20
Balizas ciegas	133	390
Balizas luz	20	20

*Costos de inversión y operación y mantenimiento*

<b>CONCEPTO</b>	<b>INVERSIÓN</b>	<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>
Boyas y balizas	240	364.058(*)
Ponton equipado para hincado de balizas	165.000	
<b>TOTALES</b>	<b>405.276</b>	<b>364.058(*)</b>

(\*) incluye operación y mantenimiento del Ponton para hincado de balizas



***ANEXO 11.1***

***LISTADO DE BALIZAMIENTO TRAMO CORUMBA-CACERES***



**LISTADO DE BALIZAS PROPUESTO**  
(Tramo Corumbá-Cáceres) (Km2762-Km3442)

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
1	2762,5		Ciega	Verde	D
1	2763,6		Ciega	Roja	I
1	2766,3		Ciega	Roja	I
1	2767		Ciega	Verde	D
1	2768,3		Ciega	Verde	D
1	2769,4		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
1	2774,8		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
1	2777		Ciega	Verde	D
1	2778,4		Ciega	Roja	I
1	2780,6		Ciega	Verde	D
1	2781,9		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
1	2784,2		Ciega	Verde	D
1	2784,7		Ciega	Roja	I
1	2785,3		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
1	2787		Ciega	Roja	I
1	2799,1		Ciega	Roja	I
1	2807,2		Ciega	Verde	D
1	2820,5		Ciega	Roja	I
1	2823		Ciega	Roja	I
1	2830,2		Ciega	Verde	D
1	2831,6		Ciega	Roja	I
1	2833,4		Ciega	Verde	D
1	2834,4		Ciega	Roja	I
1	2839,3		Ciega	Roja	I
1	2839,8		Ciega	Verde	D
1	2842		Ciega	Verde	D
1	2844,4		Ciega	Verde	D
1	2847,9		Ciega	Verde	D
1	2849,8		Ciega	Verde	D
1	2853,3		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
1	2855,1		Ciega	Verde	D
1	2862,3		Ciega	Roja	I
1	2863		Ciega	Verde	D
1	2868,2		Ciega	Verde	D
1	2869		Ciega	Roja	I
1	2874		Ciega	Roja	I
1	2877,1		Ciega	Roja	I
1	2880,3		Ciega	Roja	I
1	2884,5		Ciega	Roja	I
1	2886		Ciega	Verde	D
1	2889,9		Ciega	Verde	D
1	2891,8		Ciega	Roja	I
1	2897,3		Ciega	Roja	I
1	2898,1		Ciega	Verde	D
1	2899,8		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
1	2900,8		Ciega	Roja	I
1	2902,3		Ciega	Roja	I
1	2903,4		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
1	2906,4		Ciega	Roja	I
1	2907,7		Ciega	Verde	D

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
1	2909,4		Ciega	Roja	I
1	2911,3		Ciega	Roja	I
1	2912,8		Ciega	Verde	D
1	2913,1	Por furado do Mato Grande	Luminosa	Roja	I
1	2918,5		Luminosa	Roja	I
1	2919,2		Ciega	Verde	D
1	2920,1		Ciega	Roja	I
1	2922,3		Ciega	Roja	I
1	2923,5		Ciega	Verde	D
1	2929,8	Por furado do Morrinho	Luminosa	Verde	D
1	2931,8		Luminosa	Verde	D
1	2932		Ciega	Roja	I
1	2935,2		Ciega	Roja	I
1	2937		Ciega	Roja	I
1	2938		Ciega	Verde	D
1	2941		Ciega	Verde	D
1	2942		Ciega	Roja	I
1	2943,5		Ciega	Verde	D
1	2945,3		Ciega	Verde	D
1	2947		Ciega	Roja	I
1	2948,4		Ciega	Roja	I
1	2950,7		Ciega	Roja	I
1	2951,8		Ciega	Verde	D
1	2954,5		Ciega	Verde	D
1	2956,5		Ciega	Roja	I
1	2958,5		Ciega	Verde	D
1	2959,8		Ciega	Verde	D
1	2960,4		Ciega	Roja	I
1	2961,7		Ciega	Roja	I
1	2962,8		Ciega	Roja	I
1	2965,5		Ciega	Roja	I
1	2967,3		Ciega	Roja	I
1	2971,7		Ciega	Roja	I
1	2972,3		Ciega	Verde	D
1	2973,9		Ciega	Roja	I
1	2974,8		Ciega	Verde	D
1	2975,5		Ciega	Roja	I
1	2978,4		Ciega	Roja	I
1	2980,8		Ciega	Verde	D
1	2982		Ciega	Verde	D
1	2983,8		Ciega	Roja	I
1	2984,8		Ciega	Verde	D
1	2988,5		Ciega	Roja	I
1	2991,6		Ciega	Verde	D
1	2993,3		Ciega	Verde	D
1	2993,7		Ciega	Verde	D
1	2997,1		Ciega	Roja	I
1	3000,1		Ciega	Roja	I
1	3004,5		Ciega	Roja	I
1	3015,7		Ciega	Verde	D
1	3021,8		Ciega	Roja	I
2	3027,2		Ciega	Roja	I
2	3030,4		Ciega	Verde	D
2	3031,2		Ciega	Verde	D

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
2	3031,5	Por Canal Ejec.(Lag.Gaiva)	Luminosa	Verde	D
2	3033	Por Canal Ejec.(Lag.Gaiva)	Luminosa	Verde	D
2	3033,8		Ciega	Verde	D
2	3038,8		Ciega	Roja	I
2	3040,5		Ciega	Roja	I
2	3041,1		Ciega	Verde	D
2	3044,9		Ciega	Roja	I
2	3045,7		Ciega	Roja	I
2	3046,8		Ciega	Verde	D
2	3048,6		Ciega	Roja	I
2	3049,9		Ciega	Verde	D
2	3056,7		Ciega	Verde	D
2	3058,1		Ciega	Verde	D
2	3060,8		Ciega	Verde	D
2	3064,2		Ciega	Verde	D
2	3065,9		Ciega	Roja	I
2	3068,3		Luminosa	Roja	I
2	3071,4		Ciega	Roja	I
2	3073		Ciega	Roja	I
2	3073,9		Ciega	Verde	D
2	3075,4		Ciega	Verde	D
2	3077,9		Ciega	Roja	I
2	3079,7		Ciega	Roja	I
2	3080,7		Ciega	Roja	I
2	3084,4		Ciega	Roja	I
2	3085,6		Ciega	Verde	D
2	3089,7		Ciega	Roja	I
2	3092		Ciega	Verde	D
2	3093,4		Ciega	Roja	I
2	3098		Ciega	Verde	D
2	3099,8		Ciega	Roja	I
2	3102,5		Ciega	Verde	D
3	3112,6		Ciega	Verde	D
3	3114,6		Ciega	Roja	I
3	3118		Ciega	Roja	I
3	3119,5		Ciega	Verde	D
3	3121,5		Ciega	Verde	D
3	3121,9		Ciega	Roja	I
3	3126,7		Ciega	Verde	D
3	3127,7		Ciega	Roja	I
3	3137,5		Ciega	Verde	D
3	3140,8		Ciega	Roja	I
3	3144,2		Ciega	Verde	D
3	3146,8		Ciega	Roja	I
3	3147,3		Ciega	Roja	I
3	3149,3		Ciega	Verde	D
3	3152,4		Ciega	Verde	D
3	3153,9		Ciega	Verde	D
3	3155,1		Ciega	Roja	I
3	3164,1		Ciega	Verde	D
3	3166,2		Ciega	Roja	I
3	3167,3		Ciega	Verde	D
3	3172,2		Ciega	Verde	D
3	3174,6		Ciega	Verde	D

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
3	3175,8		Ciega	Roja	I
3	3177,1		Ciega	Roja	I
3	3178		Ciega	Verde	D
3	3182,5		Ciega	Roja	I
3	3192,7		Ciega	Verde	D
3	3197,1		Ciega	Roja	I
3	3199,7		Ciega	Verde	D
3	3203,2		Ciega	Verde	D
3	3207,7		Ciega	Roja	I
3	3208,7		Ciega	Verde	D
3	3216,4		Ciega	Roja	I
3	3219,7		Ciega	Roja	I
3	3222,7		Ciega	Roja	I
3	3223,4	<i>Bifurc. Canal Desem. Sararé</i>	Luminosa	Roja	I
4	3	<i>Río Sararé</i>	Luminosa	Roja	I
4	4		Ciega	Verde	D
4	6		Ciega	Roja	I
4	6,2		Ciega	Verde	D
4	6,5		Ciega	Roja	I
4	8,5		Ciega	Verde	D
4	9		Ciega	Verde	D
4	12		Ciega	Verde	D
4	15	<i>Bifurc. Río Bracinho</i>	Luminosa	Roja	I
4	16	<i>Bifurc. Río Formoso</i>	Luminosa	Verde	D
4	18		Ciega	Roja	I
4	21,7		Ciega	Roja	I
4	23,3		Ciega	Roja	I
4	25		Ciega	Verde	D
4	27		Ciega	Verde	D
4	29		Ciega	Verde	D
4	30		Ciega	Verde	D
4	32		Ciega	Roja	I
4	35		Ciega	Roja	I
4	35,8		Ciega	Verde	D
4	40		Ciega	Roja	I
4	40,2		Ciega	Verde	D
4	42		Ciega	Verde	D
4	44		Ciega	Roja	D
4	45,8		Ciega	Verde	D
4	48		Ciega	Roja	I
4	49,2		Ciega	Verde	D
4	51,5		Ciega	Roja	I
4	52		Ciega	Verde	D
3	3282,5	<i>Bifurc. Río Bracinho Sup.</i>	Luminosa	Roja	I
3	3283,7		Ciega	Roja	I
3	3284,4		Ciega	Verde	D
3	3286		Ciega	Roja	I
3	3286,7		Ciega	Roja	I
3	3287,8		Ciega	Verde	D
3	3288,7		Ciega	Roja	I
3	3289,2		Ciega	Roja	I
3	3289,7		Ciega	Verde	D
3	3290,5		Ciega	Verde	D
3	3291,1		Ciega	Roja	I

\*\*

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales



FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
3	3292,5		Ciega	Roja	I
3	3293,7		Ciega	Roja	I
3	3294		Ciega	Verde	D
3	3294,8		Ciega	Verde	D
3	3295,7		Ciega	Roja	I
3	3297		Ciega	Roja	I
3	3297,2		Ciega	Verde	D
3	3298,4		Ciega	Verde	D
3	3298,7		Ciega	Roja	I
3	3299,5		Ciega	Roja	I
3	3300		Ciega	Verde	D
3	3302		Ciega	Verde	D
3	3302,9		Ciega	Roja	I
3	3304,8		Ciega	Roja	I
3	3305,2		Ciega	Verde	D
3	3306,3		Ciega	Verde	D
3	3307		Ciega	Roja	I
3	3309,8		Ciega	Roja	I
3	3310,2		Ciega	Verde	D
3	3311,2		Ciega	Verde	D
3	3311,7		Ciega	Roja	I
3	3313		Ciega	Verde	D
3	3314,6		Ciega	Roja	I
3	3316,6		Ciega	Roja	I
3	3316,9		Ciega	Verde	D
3	3318,7		Ciega	Verde	D
3	3319		Ciega	Roja	I
3	3319,7		Ciega	Verde	D
3	3324,1		Ciega	Verde	D
3	3324,7		Ciega	Roja	I
3	3329,1		Ciega	Roja	I
3	3329,6		Ciega	Roja	I
5	3330,7		Ciega	Verde	D
5	3331,5		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3332,1		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3333,2		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3333,9		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3334,7		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3335,7		Ciega	Verde	D
5	3337,2		Ciega	Verde	D
5	3337,5		Ciega	Roja	I
5	3339,1		Ciega	Roja	I
5	3340,3		Ciega	Verde	D
5	3340,6		Ciega	Roja	I
5	3341,8		Ciega	Roja	I
5	3343		Ciega	Roja	I
5	3343,5		Ciega	Verde	D
5	3346		Ciega	Verde	D
5	3346,6		Ciega	Roja	I
5	3347,7		Ciega	Roja	I
5	3348,3		Ciega	Verde	D
5	3348,4		Ciega	Roja	I
5	3349		Ciega	Roja	I
5	3350		Ciega	Roja	I

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
5	3350,4		Ciega	Verde	D
5	3350,7		Ciega	Roja	I
5	3351,4		Ciega	Roja	I
5	3351,8		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3352,4		Ciega	Verde	D
5	3353,2		Ciega	Roja	I
5	3354,3		Ciega	Roja	I
5	3355		Ciega	Verde	D
5	3355,9		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3356,3		Ciega	Roja	I
5	3357,4		Ciega	Roja	I
5	3357,8		Ciega	Verde	D
5	3358,5		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3359,8		Ciega	Verde	D
5	3361,7		Ciega	Verde	D
5	3362,1		Ciega	Verde	D
5	3362,4		Ciega	Roja	I
5	3363		Ciega	Roja	I
5	3363,3		Ciega	Verde	D
5	3365		Ciega	Verde	D
5	3365,5		Ciega	Roja	I
5	3367,2		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3368		Ciega	Roja	I
5	3369,4		Ciega	Verde	D
5	3371,1		Ciega	Verde	D
5	3371,5		Ciega	Roja	I
5	3372,3		Ciega	Roja	I
5	3372,8		Ciega	Verde	D
5	3374,3		Ciega	Verde	D
5	3374,7		Ciega	Roja	I
5	3376,4		Ciega	Roja	I
5	3376,5		Ciega	Verde	D
5	3378		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3378,1		Ciega	Verde	D
5	3379		Ciega	Roja	I
5	3379	<i>Por Furado Do Totico</i>	<i>Luminosa</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3383		<i>Luminosa</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3383,5		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3384,1		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3384,5	<i>Por furado Do Tuiuiu</i>	<i>Luminosa</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3387,2		<i>Luminosa</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i>
5	3387,7		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>D</i> **
5	3389,4		Ciega	Roja	I
5	3392,1		Ciega	Roja	I
5	3393,4		Ciega	Roja	I
5	3393,8		Ciega	Verde	D
5	3394,5		Ciega	Verde	D
5	3395,2		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3396,9		Ciega	Roja	I
5	3398,7		Ciega	Verde	D
5	3399,3		Ciega	Roja	I
5	3400,4		Ciega	Roja	I
5	3400,8		Ciega	Verde	D
5	3401,8		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
5	3402,6		Ciega	Roja	I
5	3403		Ciega	Verde	D
5	3404,2		Ciega	Verde	D
5	3404,8		Ciega	Roja	I
5	3405,4		Ciega	Roja	I
5	3405,8		Ciega	Verde	D
5	3407,3	<i>Por Arrombado Joao Leite</i>	<i>Luminosa</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3412,8		<i>Luminosa</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3413,5		Ciega	Roja	I
5	3414,4		Ciega	Verde	D
5	3416		Ciega	Roja	I
5	3418,4		<i>Ciega</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i> **
5	3419,5		Ciega	Roja	I
5	3422,5		Ciega	Roja	I
5	3425,5		Ciega	Roja	I
5	3425,8		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3428,2		<i>Luminosa</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3428,5		<i>Luminosa</i>	<i>Roja</i>	<i>I</i>
5	3429		Ciega	Verde	D
5	3430,8		Ciega	Verde	D
5	3432,2		Ciega	Verde	D
5	3433,2		Ciega	Roja	I
5	3433,4		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3434,8		Ciega	Verde	D
5	3435,2		Ciega	Roja	I
5	3436,9		<i>Ciega</i>	<i>Verde</i>	<i>D</i> **
5	3437,6		Ciega	Roja	I
5	3438,7		Ciega	Roja	I
5	3439,2		Ciega	Verde	D
5	3440,2		Ciega	Verde	D
5	3441,7		Ciega	Roja	I

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nqta: Se indican en cursiva las nuevas señales

FIGURA #	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
----------	----	---------------	------------------	-------	----------

**RUTA POR RIO PARAGUAY (Alternativa por Sararé Bracinho)**

CROQUIS	Km	OBSERVACIONES	CIEGA O LUMINOSA	COLOR	MARGENES
57	3236		Ciega	Roja	I
57	3237,6		Ciega	Roja	I
60	3267,1		Ciega	Roja	I
60	3268,5		Ciega	Verde	D
60	3269,1		Ciega	Roja	I
60	3271,5		Ciega	Roja	I
61	3274,5		Ciega	Roja	I
61	3276,2		Ciega	Roja	I
61	3282,4		Ciega	Verde	D

\*\* Balizas desaparecidas a reponer.

Nota: Se indican en cursiva las nuevas señales



