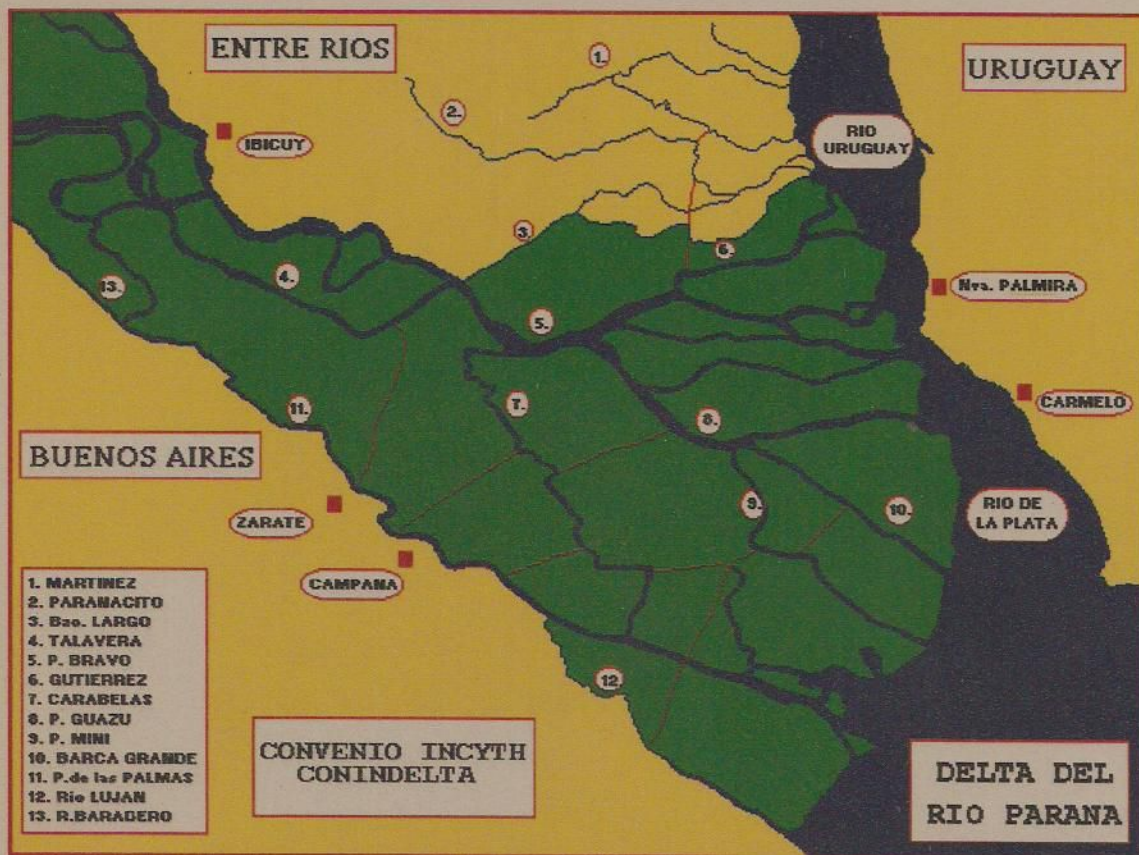


Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas
ESTUDIO HIDRODINAMICO DEL DELTA
DEL RIO PARANA MEDIANTE
MODELACION MATEMATICA

Informe de Avance N° 1



**SECRETARIA DE
RECURSOS NATURALES
Y AMBIENTE HUMANO**

**INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIA Y TECNICA
HIDRICAS**

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

**ESTUDIO HIDRODINAMICO DEL DELTA DEL RIO PARANA MEDIANTE
MODELACION MATEMATICA**

Informe de Avance N° 1

Informe LHA-INCYTH 137-01-94

Ezeiza, noviembre de 1994

ESTUDIO HIDRODINAMICO DEL DELTA DEL RIO PARANA MEDIANTE MODELACION MATEMATICA

Informe de Avance N° 1

RESUMEN

Se presenta una recopilación de datos de base para la implementación de un modelo matemático hidrodinámico del Delta del río Paraná, en lo que respecta a batimetrías, niveles líquidos y caudales en los ríos Paraná, Uruguay y de la Plata. Al mismo tiempo, se describen las características del sistema computacional EZEIZA V, empleado en el presente estudio, y se comentan aspectos iniciales de la implementación del mismo al Delta del río Paraná. Se presentan también los resultados de una corrida preliminar para una condición arbitraria.

DESCRIPTORES TEMATICOS: modelación matemática, simulación numérica, modelo matemático hidrodinámico unidimensional, mareas, niveles, alturas de agua, vientos, ondas en aguas someras, ecuaciones de Saint-Venant, redes de canales.

DESCRIPTORES GEOGRAFICOS: Río de la Plata, río Paraná, ciudad de Rosario, Zárate, Campana, Villa Constitución, Paraná de las Palmas, Paraná Guazú, Paraná Bravo, río Uruguay, río Carabelas Grande, República Argentina.

DESCRIPTORES INSTITUCIONALES: CONINDELTA, INCYTH.

AUTORIDADES DEL INCYTH

PRESIDENTE: Dr. Mario DE MARCO NAON

GERENTE DE CIENCIA Y TECNICA: Dr. Ing. Raúl A. LOPARDO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA:

Ing. Julio C. DE LIO

EQUIPO DE TRABAJO

JEFE DEL PROGRAMA HIDRAULICA COMPUTACIONAL:

Dr. Angel N. MENENDEZ

JEFE DEL PROGRAMA HIDRAULICA FLUVIAL:

Ing. José D. BREA

INVESTIGADORES:

Ing. Fabián A. BOMBARDELLI

Ing. Gabriel O. PORRO

Lic. Carla P. X. VILELA

DATOS HIDROMETRICOS:

Ing. Juan BORUS

PORTADA:

Lic. Miguel GIRAUT

Srta. Susana HAYE

INFORME PRODUCIDO POR:

Ing. Fabián A. BOMBARDELLI

Dr. Angel N. MENENDEZ

Ing. José D. BREA

Ing. José L. MONTALVO

Ing. Gabriel O. PORRO

INDICE DE MATERIAS

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1: RECOPIACION DE ANTECEDENTES	2
1.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA	2
1.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DEL SISTEMA	3
1.2.1 Río Paraná	3
1.2.1.1 Características generales	3
1.2.1.2 Cuantificación estadística	4
1.2.2 Río de la Plata	5
1.2.2.1 Características generales	5
1.2.2.2 Cuantificación estadística	6
1.2.3 Río Uruguay	7
1.2.3.1 Características generales	7
1.2.3.2 Cuantificación estadística	8
1.3 TOPOBATIMETRIAS	8
CAPITULO 2: CARACTERISTICAS DEL MODELO MATEMATICO HIDRODINAMICO DE REDES DE CANALES, EZEIZA V	9
2.1 GENERALIDADES	9
2.2 ECUACIONES DE PARTIDA	9
2.3 DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE	11
2.4 VARIABLES DE INGRESO DEL MODELO EZEIZA V	12
2.5 SALIDA DEL MODELO EZEIZA V	13
CAPITULO 3: IMPLEMENTACION DE MODELOS HIDRODINAMICOS	14
3.1 DEFINICION DE LOS MODELOS	14
3.2 IMPLEMENTACION DEL MODELO REDUCIDO	14
3.2.1 Secciones transversales de los cursos de la red	14
3.2.2 Estudio de los cerros locales para las secciones de la red	15
3.2.3 Corrida preliminar	15
REFERENCIAS	17

INTRODUCCION

El Consejo Intermunicipal del Delta (CONINDELTA) efectivizó un convenio con el INCYTH para que éste, a través de su Laboratorio de Hidráulica Aplicada (LHA), realizara un estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática, con los siguientes objetivos:

- a) disponer de modelos hidrodinámicos unidimensionales del Delta bonaerense que permitan predecir su comportamiento ante distintas situaciones naturales o producidas por la acción antrópica;
- b) en particular, determinar los efectos que producirían eventuales dragados en las bocas de los ríos principales.

El estudio ha sido estructurado de acuerdo a las siguientes tareas:

- 1) Recopilación de antecedentes (topobatimetrías, niveles líquidos, aforos, etc.).
- 2) Realización de campañas de mediciones a fin de complementar la información existente.
- 3) Implementación y calibración de modelos matemáticos hidrodinámicos unidimensionales en base al sistema computacional EZEIZA V, desarrollado en el INCYTH.
- 4) Realización de ensayos numéricos con los modelos para distintas situaciones de interés.
- 5) Estudio del efecto de dragados en las bocas de los principales ríos.

En este Informe de Avance se presentan resultados correspondientes a las tareas 1 y 3. Los resultados asociados a la tarea 2 ya fueron informados en [1].

CAPITULO 1

RECOPIACION DE ANTECEDENTES

1.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA

El Delta del río Paraná comprende una franja de tierras bajas que suman, aproximadamente, 1.500.000 ha. Se trata de una gran depresión, limitada hacia el NE por el sistema de cuchillas entrerrianas, de acuerdo a una barranca que, a partir de Diamante (a unos 30 Km al Sur de la ciudad de Paraná), pasa por las localidades de Victoria, Gualeguay y Gualeguaychú. Hacia el SE se encuentra la barranca de la pampa ondulada bonaerense, que conforma la margen derecha de los ríos Paraná, Baradero y Paraná de las Palmas (Figura 1.1).

Esta región se inunda con motivo de las crecidas de los ríos Paraná, Gualeguay y Uruguay, afectando el valle aluvial del primero, que es utilizado en parte para la explotación agropecuaria y forestal.

Numerosos cursos de agua limitan y atraviesan la región deltaica, determinando sistemas de canales naturales y artificiales; algunos de los cursos constituyen pequeños arroyos, mientras que otros transportan gran caudal la mayor parte del tiempo.

Entre los principales componentes de los sistemas de canales del Delta sobresalen las sucesivas divisiones que verifica el cauce principal del río Paraná a partir de, aproximadamente, la localidad de Villa Constitución. Ellos son el río Paraná Pavón (que se continúa con el Ibicuy) y el Paraná. Luego de reunirse a pocos kilómetros de Baradero, se vuelve a bifurcar en Paraná de las Palmas (hacia el Sur) y Paraná Guazú (del que a su vez parten tres brazos principales: los ríos Paraná Miní, Barca Grande y Paraná Bravo). Completando la serie de cursos más relevantes de la zona, se encuentran el arroyo Barrancoso (cercano a una línea imaginaria que une Rosario y Victoria), los arroyos San Lorenzo y Laureles, el río Victoria, el río Gualeguay (que drena la vertiente sur de la Provincia de Entre Ríos, finalizando en el Paraná Ibicuy), el arroyo Lechiguanas (que surca la isla homónima), el río Carabelas Grande (del Delta bonaerense inferior) y una serie de canales artificiales. Naturalmente, cabe resaltar al Río de la Plata y al río Uruguay, que ejercen influencia sobre el sistema.

Sobre el valle de inundación del río Paraná en la región del Delta se dispone una serie de estructuras civiles de diferente finalidad (Figura 1.1):

- a) endicamientos para protección de zonas de explotación agrícola, entre los que se destacan los de Mazaruca y Lechiguanas;
- b) el Ferrocarril General Urquiza (en adelante, FCGU), desde Brazo Largo hasta Médanos;

- c) la Ruta Nacional N° 12 (en adelante, RN12), desde Brazo Largo hasta Ceibas;
- d) el Complejo ferroviario Zárate-Brazo Largo (en adelante, CZBL).

Estas obras afectan el escurrimiento apenas éste abandona los cauces principales durante las crecidas.

1.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DEL SISTEMA

Dada la cantidad de cursos que componen el Delta del río Paraná y los condicionamientos externos al mismo, se comprende que una multiplicidad de factores concurren a la conformación del fenómeno hidrodinámico en la región.

El Delta puede pensarse como una voluminosa red de cursos de agua sometidos a los influjos de, por un lado, el brazo principal del río Paraná y, por el otro, el Río de la Plata y el río Uruguay. Por lo tanto, a fin de cuantificar la hidrodinámica de la zona, es preciso conocer las características de las "fuerzas motrices" principales del sistema, es decir, las recurrencias de caudales extremos, la acción de las mareas, la acción de factores atmosféricos, etc.. Estas cuestiones se analizan en los puntos que siguen.

1.2.1 Río Paraná

1.2.1.1 Características generales

Se reconoce que el río Paraná sufre a escala geológica oscilaciones en la posición del eje de su cauce, dando así lugar a lagunas (que se disponen a los laterales del cauce principal) y a extensas zonas bajas.

En la Figura 1.2 se muestra la serie temporal de niveles medios anuales en la escala de Rosario (referidos al cero local) desde 1925 hasta la fecha. Se nota claramente un aumento del nivel medio de las aguas desde principios de la década del 70, lo cual significa una mayor descarga. También se observa la disminución de la amplitud de las oscilaciones. El primer efecto parece estar asociado, al menos, a dos factores:

- * Un período hidrológico de hiperhumedad, que produce volúmenes mayores de escurrimiento.

- * La deforestación en el Brasil, que ha disminuido la retención de agua en la alta cuenca del río Paraná.

Por su parte, la disminución de la amplitud de las oscilaciones está generada por la operación de la cadena de embalses brasileños.

Resulta de interés analizar las características de la repartición de caudales

entre los distintos cursos del Delta del río Paraná. A partir de la información existente se elaboró la Tabla 1.1, donde se muestran los porcentajes de los caudales en los principales cauces respecto al que lleva el río Paraná en Rosario, en valores medios. En rigor, la repartición anterior es variable con la magnitud del caudal del río Paraná. Esto puede apreciarse a través de la Tabla 1.2, en la que se presentan los caudales que fluyen por el río Paraná de las Palmas y por el río Paraná Guazú (antes de su bifurcación en Paraná Bravo y Paraná Guazú), ambos en forma porcentual respecto del caudal total del río Paraná en Rosario, para distintos caudales suma ([2]).

1.2.1.2 Cuantificación estadística

Dentro de este punto se presentan dos tipos de procesamiento:

- a) las frecuencias de superación de caudales o niveles;
- b) las recurrencias de eventos extremos.

Dada la inhomogeneidad temporal de la serie de niveles mostrada en la Figura 1.2, es necesario establecer algún criterio para efectuar una cuantificación estadística. Resulta conservativo restringir el análisis a las últimas dos décadas.

Puesto que en la ciudad de Paraná se dispone de una curva altura-caudal relativamente confiable, se utilizaron los registros en esa escala para efectuar el análisis de frecuencia de caudales. En la Figura 1.3 se presentan los valores de los caudales medios anuales del río Paraná en función de la frecuencia de superación.

En la misma figura se muestran los valores medios mensuales correspondientes a las situaciones de máximo y mínimo caudal, lo cual pone en evidencia la amplitud de la variación estacional.

Para ilustrar más claramente la variación acontecida en el régimen hídrico del río Paraná, se efectuaron dos estadísticas distintas en base a los registros de niveles de Rosario: una sobre el período 1970-1992, que se muestra en la Figura 1.4a), y otra sobre el período completo del registro 1884-1992, mostrada en la Figura 1.4b). En esta manera de representar los datos resulta evidente la disminución de la amplitud de oscilación estacional, por el efecto regulador de los embalses. En la Figura 1.4c) se reproducen los valores medios anuales asociados a cada una de las dos estadísticas, poniéndose así en evidencia el importante aumento del nivel.

Los caudales máximos anuales (obtenidos en la escala de Paraná) se representan en la Figura 1.5 en coordenadas de Gumbel. Es pertinente agregar que, en concomitancia con los mayores volúmenes de agua escurridos, se nota una disminución en la frecuencia de ocurrencia de crecidas extraordinarias.

1.2.2 Río de la Plata

1.2.2.1 Características generales

El Río de la Plata se abre como una amplia hendidura en el litoral atlántico de Uruguay y de Argentina. Descarga las aguas de los ríos Paraná y Uruguay al Océano Atlántico. Su longitud es de aproximadamente 290 Km, si se considera como límite exterior a la isobata de 18 m que une Punta del Este con Cabo San Antonio.

Es común dividirlo en tres zonas: el denominado Río de la Plata Superior, que se extiende desde su nacimiento hasta la línea imaginaria que une Buenos Aires con Colonia; la zona media, que comprende hasta la línea Montevideo-Punta Piedras y la zona exterior. En la zona superior la profundidad media no supera los 5 m, y se mantiene relativamente uniforme en una banda de 5 m sobre toda la zona media. En la zona exterior la profundidad aumenta, llegando hasta los 18 m en lo que convencionalmente se considera su límite exterior.

El nivel de agua en el Río de la Plata se halla determinado por los siguientes factores:

- a) la descarga fluvial,
- b) el régimen de mareas,
- c) los factores atmosféricos.

Las ondas de marea son generadas por la acción dinámica de las fuerzas de atracción de la luna y el sol sobre las cuencas oceánicas.

Toda la zona del Delta del río Paraná se encuentra afectada por la onda de marea que penetra en el Río de la Plata. Esta onda se ve alterada por diversos factores, siendo los más relevantes el desagüe fluvial, la resistencia al escurrimiento por el fondo cercano, la morfología del estuario del Río de la Plata y la configuración del sistema de canales del Delta.

El régimen de la onda de marea que llega al Río de la Plata presenta desigualdades diurnas; ésto significa que durante un día lunar (24 horas 50 minutos) se producen dos pleamares de distinta amplitud y dos bajamares ordinarias. Debido a la gran diferencia que se manifiesta entre las dos pleamares consecutivas, se introducen en el río diferentes cantidades de agua que no tardan el mismo tiempo en ser evacuadas ([3]).

La onda de marea remonta el río Paraná y se considera que su efecto es totalmente despreciable recién a la altura del Puerto de Rosario.

Dentro de los factores atmosféricos se involucra a la acción del viento y a la acción dinámica de la presión atmosférica. El rasgo más saliente del viento en la

región es la existencia de "sudestadas" que, dada la disposición longilínea del estuario del Río de la Plata, provoca aumento de niveles al dificultar el desagüe fluvial de los ríos Paraná y Uruguay. Con relación a la acción dinámica, el movimiento de centros de baja presión sobre un espejo de agua produce ascensos bruscos del nivel que, si coinciden con los máximos niveles de marea, pueden producir severas inundaciones.

1.2.2.2 Cuantificación estadística

El INCYTH efectuó un análisis estadístico del nivel del Río de la Plata en las proximidades de Buenos Aires ([4]), utilizando las alturas horarias de marea registradas por el Servicio de Hidrografía Naval (SIHN) en la estación Palermo, correspondientes al período enero de 1980-diciembre de 1984. Estos niveles están referidos al "cero MOP" (ex Ministerio de Obras Públicas) o "cero del Riachuelo", que se encuentra a 0,556 m por debajo de la cota del cero del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se estudiaron los niveles de todas las pleamares y bajamares. Las distribuciones de frecuencias se calcularon utilizando un intervalo de clase de 0,1 m. En las Figuras 1.6 y 1.7 a) y b) se presentan los histogramas y las curvas de frecuencias acumuladas correspondientes. Los intervalos más frecuentes son: 1,20-1,30 m y 0,60-0,70 m para los niveles de las pleamares y las bajamares, respectivamente.

En la Figura 1.8 se presenta una curva de duración media anual de los niveles en Buenos Aires para el período 1920-1955 ([5]). Se observa que el nivel medio es de 0,77 m (0,79 m de acuerdo al SIHN) respecto al cero MOP.

Con el objeto de analizar estadísticamente la influencia del viento sobre los niveles, Halcrow comparó los registros de niveles en Buenos Aires con los niveles pronosticados por la acción de la marea astronómica durante un período de 12 meses, desde mayo de 1965 a mayo de 1966 ([5]). Las diferencias fueron calculadas cada 3 horas y se representaron en escala de probabilidades (Figura 1.9). Se observa que hay sobreelevaciones durante un 44 % del año, depresiones durante un porcentaje igual de tiempo, quedando un 12 % del año en que los valores registrados coinciden con los pronosticados. Es interesante destacar que este último porcentaje coincide, aproximadamente, con el correspondiente a períodos de calma, de acuerdo a las estadísticas existentes de vientos de la zona. También se observa que ocurren sobreelevaciones pequeñas con bastante frecuencia. Por ejemplo:

- * sobreelevaciones de más de 1 pie (0,305 m): 26 %
- * sobreelevaciones de más de 2 pies (0,610 m): 13 %

Las depresiones ocurren con una frecuencia algo menor que las sobreelevaciones de igual intensidad:

- * depresiones de más de 1 pie (0,305 m): 20 %
- * depresiones de más de 2 pies (0,610 m): 7 %

Se realizaron análisis con los niveles en la ciudad de Buenos Aires para el período 1989-1991 en base a datos horarios. En primer lugar, se confeccionó un histograma que se reproduce en la Figura 1.10. Del mismo se extrae que los niveles más frecuentes se ubicaron entre 0,65 y 0,95 m, referidos al cero MOP. En segundo término, se efectuó una gráfica con las frecuencias de superación de los niveles (Figura 1.11). Se observa un incremento del nivel medio de 0,79 a 0,84 m, aunque debe tenerse en cuenta que se trata de un período corto de tiempo de análisis.

Resulta también de interés conocer la distribución de niveles máximos en Buenos Aires. La Figura 1.12 muestra un análisis de los períodos de recurrencia de los niveles máximos anuales en el semáforo del Puerto de Buenos Aires para el período 1905-1993. En la Tabla 1.3 se muestran niveles de marea para algunos períodos de recurrencia obtenidos a partir de los ajustes.

En la Figura 1.13 se aprecia una curva de niveles máximos en Buenos Aires para el período 1905-1959, realizada por Halcrow en 1969, tomando también máximos anuales. De la misma es posible concluir que no existen grandes variaciones de los niveles extremos pese al aumento de caudales referido a partir de 1970.

Como complemento a la información hidrométrica y dada su ingerencia en los niveles del Río de la Plata, se incluye la Figura 1.14 en la que se muestra un análisis frecuencial y por sectores, de velocidades del viento en la estación de Aeroparque para 1984 ([6]). Se aprecia que los vientos más frecuentes proceden desde el Sureste.

1.2.3 Río Uruguay

1.2.3.1 Características generales

Se considera convencionalmente que el río Uruguay finaliza en el paralelo de Punta Gorda, dando inicio al Río de la Plata.

Habitualmente se sostiene que el régimen del río Uruguay es bianual, es decir, presenta dos crecidas por año. Si se observa con cuidado la serie histórica de caudales, por caso la aportada al embalse de Salto Grande, se arriba a la conclusión de que, insertas en un patrón general bianual, subyacen componentes de una mayor frecuencia (Figuras 1.15, [7]). De hecho, el régimen del río Uruguay es mucho más variable que el del Paraná. En efecto, definiendo como índice de variabilidad a la relación:

$$\frac{\text{media anual de los caudales diarios máximos}}{\text{media anual de los caudales diarios mínimos}}$$

se obtuvo (para el período 1945-1956) un valor de 2,53 para el río Paraná y de 37,6 para el río Uruguay ([5]). Es decir, el índice de variabilidad es aproximadamente 15 veces mayor para el río Uruguay.

1.2.3.2 Cuantificación estadística

Hasta 1975, el caudal medio del río Uruguay en Paso Hervidero ascendía a $4.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ([8]). De acuerdo a los datos de la estación "aportado" (caudales que llegan al embalse de la presa de Salto Grande) el caudal medio del río Uruguay asciende a $4606 \text{ m}^3/\text{s}$ para el período 1898-1991, $106 \text{ m}^3/\text{s}$ más que lo informado por Caponi en 1975.

La presencia de la presa de Salto Grande (inaugurada en junio de 1979) introduce otro elemento interesante para el análisis, a fin de establecer la ingerencia de la obra sobre el régimen del río.

En la Figura 1.16 se muestran valores medios mensuales (máximo, medio y mínimo) correspondientes al período histórico (1898-1978) previo a la entrada en operaciones de la presa, para caudales en Concordia. En la Figura 1.17 se aprecian curvas equivalentes para el período 1979-1993, también en Concordia. Comparando ambos grupos de gráficas, se observa un incremento de caudales a constancia de porcentaje de superación. Esta circunstancia confirma la existencia de mayores volúmenes de agua en la cuenca hidrográfica. Por el contrario, prácticamente no se observa variación en la amplitud estacional de los caudales, lo cual está relacionado con el hecho de que la presa sólo es capaz de regular los picos de crecida (las componentes de mayor frecuencia aludidas) que se producen dentro del patrón bianual.

A fin de analizar el comportamiento de los valores extremos, en la Figura 1.18 se presenta un estudio de los máximos anuales en la estación de aporte al embalse de Salto Grande, según la distribución de Gumbel.

1.3 TOPOBATIMETRÍAS

La información topobatimétrica existente sobre el Delta no es muy profusa. Se cuenta sin embargo con cartas náuticas del SIHN de los principales brazos de la red, con planchetas del IGM y con planos de la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (DNCPyVN). En la Tabla 1.4 se detalla todo el material que posee el LHA sobre el Delta, indicándose el año del levantamiento topobatimétrico y la escala de la presentación.

Precisamente, a partir de planos de la DNCPyVN fue posible discretizar la batimetría de los cursos de agua que conforman el sistema de canales del Delta del río Paraná. Los niveles así determinados se encuentran referidos a un cero local.

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DEL MODELO MATEMATICO HIDRODINAMICO DE REDES DE CANALES, EZEIZA V

2.1 GENERALIDADES

La mayoría de los ríos y arroyos se caracteriza por poseer una dirección privilegiada de escurrimiento. Naturalmente, ésto es más cierto cuanto más angostos sean esos cursos de agua. Por lo tanto, en esos casos, un tratamiento unidimensional del flujo describe acabadamente el comportamiento hidrodinámico del sistema.

El tratamiento se extiende para simular el escurrimiento sobre la planicie de inundación, que se produce para altos caudales.

Cuando se tiene una red de canales, naturales y/o artificiales, se debe plantear, además de las ecuaciones básicas del movimiento del fluido, relaciones de compatibilidad en los encuentros de pares de componentes. Al mismo tiempo, puesto que la presencia de estructuras y transiciones altera el escurrimiento natural del cuerpo de agua, es preciso evaluar esa perturbación.

Un modelo matemático de redes de canales debe ser capaz de satisfacer los requisitos anteriores, para distintas condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo, de modo de ser una herramienta aplicable y versátil.

El INCYTH posee tradición en el desarrollo de modelos matemáticos hidrodinámicos uni y bidimensionales, en planta y en corte. Así, el EZEIZA V es la culminación de una línea de investigación del LHA en torno a los modelos unidimensionales.

En lo que sigue se detallan las características de los principales aspectos vinculados a dicho modelo.

2.2 ECUACIONES DE PARTIDA

El EZEIZA V se nutre de la descomposición del sistema de canales en "filamentos", que son cursos o grupos de cursos de agua integrantes de la red. Estos filamentos pertenecen a uno de los siguientes tipos:

- a) tipo 1: se debe especificar para él condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo;
- b) tipo 2: el filamento desemboca en otro filamento, por lo cual sólo es necesario estipular la condición aguas arriba;

- c) tipo 3: el filamento parte de otro filamento, por lo cual sólo es preciso especificar la condición aguas abajo;
- d) tipo 4: el filamento parte y llega a sendos filamentos, por lo que no es necesario establecer condiciones de borde.

El modelo se basa en la integración numérica de las ecuaciones de Saint-Venant para cada filamento, las que pueden escribirse como sigue:

- * Ecuación de continuidad (conservación de la masa):

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (\text{Ec. 1})$$

- * Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\Omega} + \frac{g}{2} \Sigma \right) = g \Omega (I_0 - I_f) + \frac{g}{2} \gamma + q u_L \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

t: coordenada temporal

x: coordenada espacial

Ω : área de la sección transversal al escurrimiento

Q: caudal

q: descarga lateral entrante por unidad de longitud

u_L : componente de la velocidad de la descarga lateral entrante en la dirección del escurrimiento

g: aceleración de la gravedad

Σ : momento areal ($= 2 h_{ce} \Omega$)

h_{ce} : centroide de la sección

γ : coeficiente de divergencia, igual a:

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial x} \Big|_{h=cte} \quad (\text{Ec. 3})$$

h: tirante

l_0 : pendiente del fondo

l_f : pendiente de fricción.

En las secciones de unión de filamentos se establece la conservación de la energía mecánica.

Al sistema de ecuaciones anteriores se lo complementó con relaciones que permiten tener en cuenta la existencia de ([9]):

- a) planicies de inundación o zonas de almacenamiento, adosadas a uno o a ambos lados del cauce principal;
- b) estructuras (compuertas, vertederos, alcantarillas, etc.);
- c) transiciones.

2.3 DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE

Para la discretización de las ecuaciones mencionadas se utilizó el esquema de Preissman, método clásico en la resolución de este tipo de problemas. El mismo es de tipo implícito y vincula las variables del escurrimiento pertenecientes a dos secciones de cálculo adyacentes y dos pasos temporales de cálculo sucesivos. Resulta, por lo tanto, una molécula de cálculo que involucra a cuatro puntos del plano x, t . Se utilizan las siguientes aproximaciones de las funciones y de sus derivadas:

$$f(x_j) = \theta f_j^{n+1} + (1-\theta) f_j^n \quad (\text{Ec. 4})$$

$$f(x, t^n) = \frac{1}{2} (f_j^n + f_{j+1}^n) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} f(x, t) = \frac{(f_{j+1}^{n+1} - f_{j+1}^n) + (f_j^{n+1} - f_j^n)}{2\Delta t} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x, t) = \frac{\theta (f_{j+1}^{n+1} - f_j^{n+1}) + (1-\theta) (f_{j+1}^n - f_j^n)}{\Delta x} \quad (\text{Ec. 7})$$

La Ecuación 4 resulta válida para tiempos variables entre t^n y t^{n+1} ; la 5, para valores de progresiva x variables entre x_j y x_{j+1} , mientras que la 6 y la 7 son válidas cuando se cumplen las dos condiciones expresadas. Nótese que se ha introducido un factor θ en la discretización vinculada a x , el cual tiene relación con la estabilidad del método numérico, puesto que determina el peso que se le da a las variables en el

paso siguiente de cálculo, frente a las ya calculadas.

Incluyendo estas relaciones en las ecuaciones diferenciales de partida, se arriba a un sistema algebraico no lineal en el cual las variables dependientes primarias son el caudal y el área transversal. Por lo tanto, las incógnitas a resolver para cada filamento son: Q y Ω para las progresivas j y $(j + 1)$ en el tiempo $(n + 1)$. Las variables restantes son consideradas como funciones geométricas que dependen de x y de Ω y que sólo a través de la última son funciones implícitas del tiempo.

Luego de realizar hipótesis para el término del gradiente de presiones, resta formular las condiciones de contorno para los filamentos. Para escurrimiento subcrítico, se agrega una ecuación que establece la condición de borde aguas arriba (en general el tirante o el caudal) y otra para los nodos aguas abajo (tirante, caudal o la relación altura-caudal). Para los filamentos distintos al tipo 1, la condición que se estipula en el nodo de conexión con otro filamento es la de conservación de la energía mecánica. La matriz de coeficientes de cada filamento queda por lo tanto estructurada como tridiagonal en bloques, que puede resolverse eficientemente por el sistema de doble barrido.

El paso de cálculo espacial Δx es constante. Este paso debe tomarse de modo tal de compatibilizar el volumen de cálculo (la cantidad de secciones a ingresar) con la adecuada representación de las escalas espaciales del movimiento.

Una vez que se ha fijado el paso espacial, es posible calcular el paso temporal de Courant, que caracteriza la escala más rápida de movimiento que se puede resolver:

$$\Delta t_{cr} = \frac{\Delta x}{(gH)^{1/2}} \quad (Ec. 8)$$

donde H es un valor representativo del tirante (si el número de Froude del escurrimiento es del orden de 1, conviene reemplazar el denominador por: $U + (gH)^{1/2}$, donde U es un valor representativo de la velocidad). El paso de Courant es el paso temporal adecuado si se simula el régimen de mareas (que son ondas de gravedad). En cambio, puede elegirse un paso temporal significativamente mayor si se quiere representar el escurrimiento resultante de una onda de inundación.

2.4 VARIABLES DE INGRESO DEL MODELO EZEIZA V

Los datos a ingresar al modelo son los siguientes:

- a) conectividad de los filamentos de la red (cantidad de filamentos y distribución relativa de los mismos);
- b) secciones transversales en ubicaciones arbitrarias (el modelo se encarga de

interpolar para satisfacer su condición de paso espacial), mediante la especificación de una distancia respecto a un punto origen y la cota relativa a un plano de comparación (en el plano vertical de cada sección transversal a los filamentos);

- c) características de resistencia al escurrimiento de los canales, representada a través del coeficiente de Chèzy-Manning;
- d) condiciones de borde de los filamentos, de acuerdo al tipo;
- e) condiciones de arranque del modelo (si bien éste posee la capacidad de generarlas automáticamente, por omisión);
- f) parámetros numéricos, tales como paso espacial y temporal.

2.5 SALIDA DEL MODELO EZEIZA V

El sistema computacional entrega las siguientes salidas básicas:

- a) perfil de la onda sobre los filamentos;
- b) hidrogramas de caudal y nivel en secciones previamente especificadas;
- c) mapas de inundación.

CAPITULO 3

IMPLEMENTACION DE MODELOS HIDRODINAMICOS

3.1 DEFINICION DE LOS MODELOS

Se decidió implementar dos modelos hidrodinámicos, a saber:

- a) el primero, desde el CZBL y su continuación a lo largo de la RN12, hasta el Río de la Plata;
- b) el segundo, desde la bifurcación Paraná de las Palmas-Paraná Guazú hasta el Río de la Plata.

Las razones de tal división se basan en la necesidad de obtener mayor detalle para evaluar correctamente el impacto de eventuales dragados en las bocas.

3.2 IMPLEMENTACION DEL MODELO REDUCIDO

De los cursos existentes en la región inferior del Delta, sólo se tomaron 11:

- * río Paraná de las Palmas,
- * río Paraná Guazú,
- * río Paraná Bravo,
- * río Paraná Miní,
- * río Carabelas Grande,
- * río Barca Grande,
- * río Sauce,
- * canal L. Comas,
- * canal Gobernador de la Serna,
- * canal N° 4,
- * canal Gobernador Arana.

Se considera que esta selección de cursos es suficiente para representar el comportamiento de la zona modelada. La inclusión de otros cursos menores no significaría mejorar los resultados. Es sabido que la complicación de un modelo que representa un fenómeno natural no trae aparejada necesariamente una mejoría de su capacidad predictiva. Más aún, como lo establece Jørgensen ([10]), pasado cierto número de componentes, el conocimiento del sistema decae (Figura 3.1).

3.2.1 Secciones transversales de los cursos de la red

La red de cálculo se constituyó en base a los cursos citados, disponiéndose filamentos en correspondencia con cada uno de ellos, a excepción de los canales Gobernador de la Serna y N° 4, que fueron fusionados en un solo filamento para

mayor simplicidad. De este modo, la red quedó conformada con 10 filamentos. En la Figura 3.2 se esquematiza la red, indicándose los filamentos tomados.

En las Figuras 3.3 a 3.63 se muestran algunas secciones de los cursos de la red elegida. Las mismas fueron digitalizadas a partir de planos de la DNCPyVN, tal como se adelantara en el capítulo 1. Las cotas se hallan referidas a un cero local. Estos perfiles serán completados con las planicies de inundación en etapas posteriores.

En la Tabla 3.1 se presentan las características de los filamentos en cuanto a longitud, cantidad de secciones, progresiva y filamento de comienzo, progresiva y filamento de finalización, condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo.

3.2.2 Estudio de los ceros locales para las secciones de la red

Para referenciar los valores altimétricos vinculados al modelo, se eligió el cero del IGM como plano de comparación general. El paso siguiente fue vincular a los ceros locales con este cero global. Para ello se utilizó una tabla del Departamento Distrito Río de la Plata de la DNCPyVN, que se reproduce como Tabla 3.2. Se utilizó la columna resaltada, en la que se indica el referenciamiento del cero local respecto al cero MOP. Luego, estos valores fueron referidos al cero IGM.

3.2.3 Corrida preliminar

A fin de poner en funcionamiento el modelo reducido en régimen permanente, se realizó una corrida preliminar.

Se estipularon caudales en los dos nodos de aguas arriba (filamentos de los ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú) y niveles en los seis nodos de aguas abajo (filamentos de los ríos Paraná de las Palmas, Paraná Guazú, Paraná Bravo, Paraná Miní, Barca Grande y Sauce). Se eligió un caudal circulante por el río Paraná Inferior de 10.000 m³/s, atribuyéndose un 23 % al río Paraná de las Palmas y el resto al Paraná Guazú, en base a los porcentajes de la Tabla 1.1. Se establecieron los siguientes niveles aguas abajo: Paraná Guazú, 0,45 m IGM, Paraná de las Palmas, -0,15 m IGM, manteniéndose los cursos cercanos al primero en 0,45 m IGM.

Se tomó un paso espacial de alrededor de 1,4 Km (éste se reajusta automáticamente en cada filamento para determinar un paso uniforme) con lo cual se arriba a un total de 228 nodos, y uno temporal de 0.01 hs. El paso temporal de Courant resulta de alrededor de 1 minuto (para una celeridad de la onda de 25 m/s). Los cálculos se efectuaron con $\Delta t = 0,6$ minutos.

Se estipularon condiciones iniciales arbitrarias y se corrió el modelo hasta obtener condiciones permanentes.

La corrida fue llevada a cabo en una computadora personal con procesador

80586 (Pentium) y 32 Mb de RAM ("random access memory", es decir memoria de acceso aleatorio). El tiempo de corrida fue cercano a los 40 minutos, desarrollándose 5000 pasos de cálculo (50 hs de simulación). Esto arroja una tasa de 2,1 milisegundos por paso de cálculo y por sección.

En las Figuras 3.64 a) y b) se muestran los perfiles longitudinales de los cursos de agua de la red calculados por el modelo. Los cursos se ubicaron de acuerdo a su conectividad. Obviamente, no es posible respetar gráficamente dicha conectividad para todos ellos.

La diferencia de niveles que se observa en la intersección de los cursos se produce por la transferencia de energía cinética en potencial. El modelo EZEIZA V impone la conservación de la energía mecánica en los puntos de ramificación.

Finalmente, en la Tabla 3.3 se detallan las pendientes del pelo de agua de los distintos cursos, calculadas por el modelo.

REFERENCIAS

- [1] BESIO, C. A., BREA, J. D., Determinación de lugares de ubicación de escalas hidrométricas en el Delta del río Paraná, Informe LHA-INCYTH S3-43-94, Ezeiza, junio de 1994.
- [2] BREA, J. D., BESIO, C. A., Campaña de mediciones en el Delta del río Paraná, Provincia de Buenos Aires. Julio de 1992. Versión preliminar, Informe LHA-INCYTH S3-37-92, Ezeiza, agosto de 1992.
- [3] HOPWOOD, H. J., MENENDEZ, A. N., CHIVIDINI, M. F., CAVALIERE, M. A., BREA, J. D., Informe de diagnóstico sobre navegación en la ruta Rosario-oceano, Informe LHA-INCYTH 114-01-94, Ezeiza, mayo de 1991.
- [4] MOLINARI, G., CASTELLANO, R. D., Estudio de la Costanera Sur de la Ciudad de Buenos Aires. Determinación de las condiciones hidrodinámicas, Informe LHA-INCYTH 59-03-90, Ezeiza, julio de 1990.
- [5] SIR HALCROW & PARTNERS, Estudio y proyecto del canal de vinculación entre el Puerto de Buenos Aires y el río Paraná de las Palmas, Informe Final, DNCPyVN, abril de 1969.
- [6] TECMES, S. R. L., Estudio sedimentológico de los canales del área de Martín García, Informe Final, Tomo I, Comisión Administradora del Río de la Plata, febrero de 1994.
- [7] BREA, J. D., MENENDEZ, A. N., YAÑEZ, M. N., BOMBARDELLI, F. A., MONTALVO, J. L., ARDUINO, G., DE LOS SANTOS, J., SANGUINETTI, J., PINTOS, M., DIAS, R., BIANCHI, G., CIELLI, P., Estudio de evolución de márgenes aguas abajo de la presa de Salto Grande, Informe Final, diciembre de 1993.
- [8] CAPONI, E. A., Recopilación de información, análisis preliminar y proposiciones para un estudio integral del Río de la Plata, Informe LHA-INCYTH S5-75, Ezeiza, 1975.
- [9] MENENDEZ, A. N., FUNAI, R., BEIRAK, E., CARERAS, P. E., Ezeiza IV: Un sistema computacional para el cálculo de la traslación de ondas en ríos y canales, Informe LHA-INCYTH 67-001-87, Ezeiza, septiembre de 1987.
- [10] ILEC, UNEP, Guidelines of lake management, Volume 1: Principles of lake management, JØRGENSEN, S. E. y VOLLENWEIDER, R. A. editores, 1988.

FIGURAS

**ESCALA HIDROMETRICA DE ROSARIO
NIVEL MEDIO ANUAL**

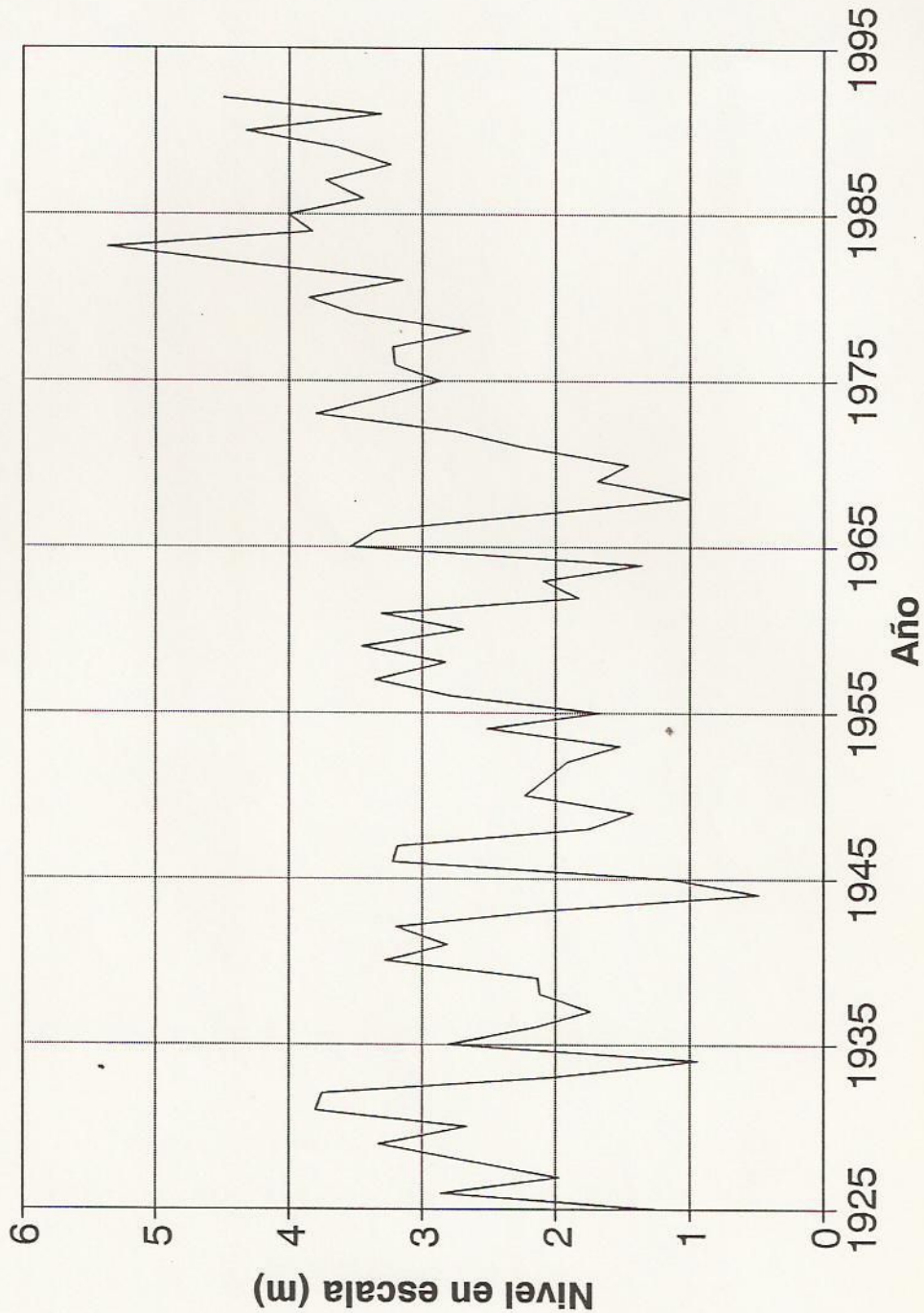


Figura 1.2

CAUDALES EN EL RIO PARANA ESCALA PARANA (1970-1992)

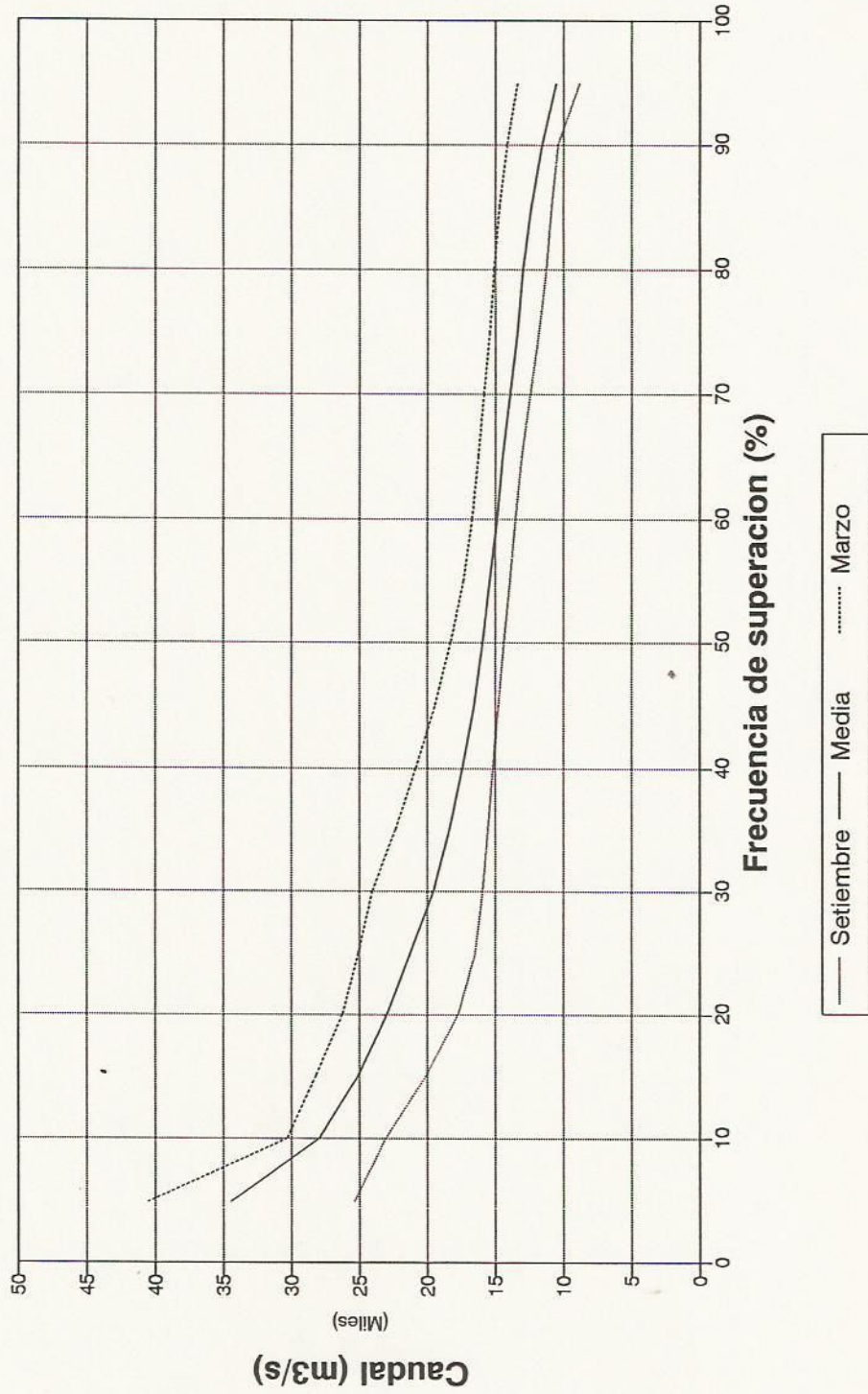


Figura 1.3

NIVELES EN EL RIO PARANA
 ESCALA ROSARIO (1970 - 1992)

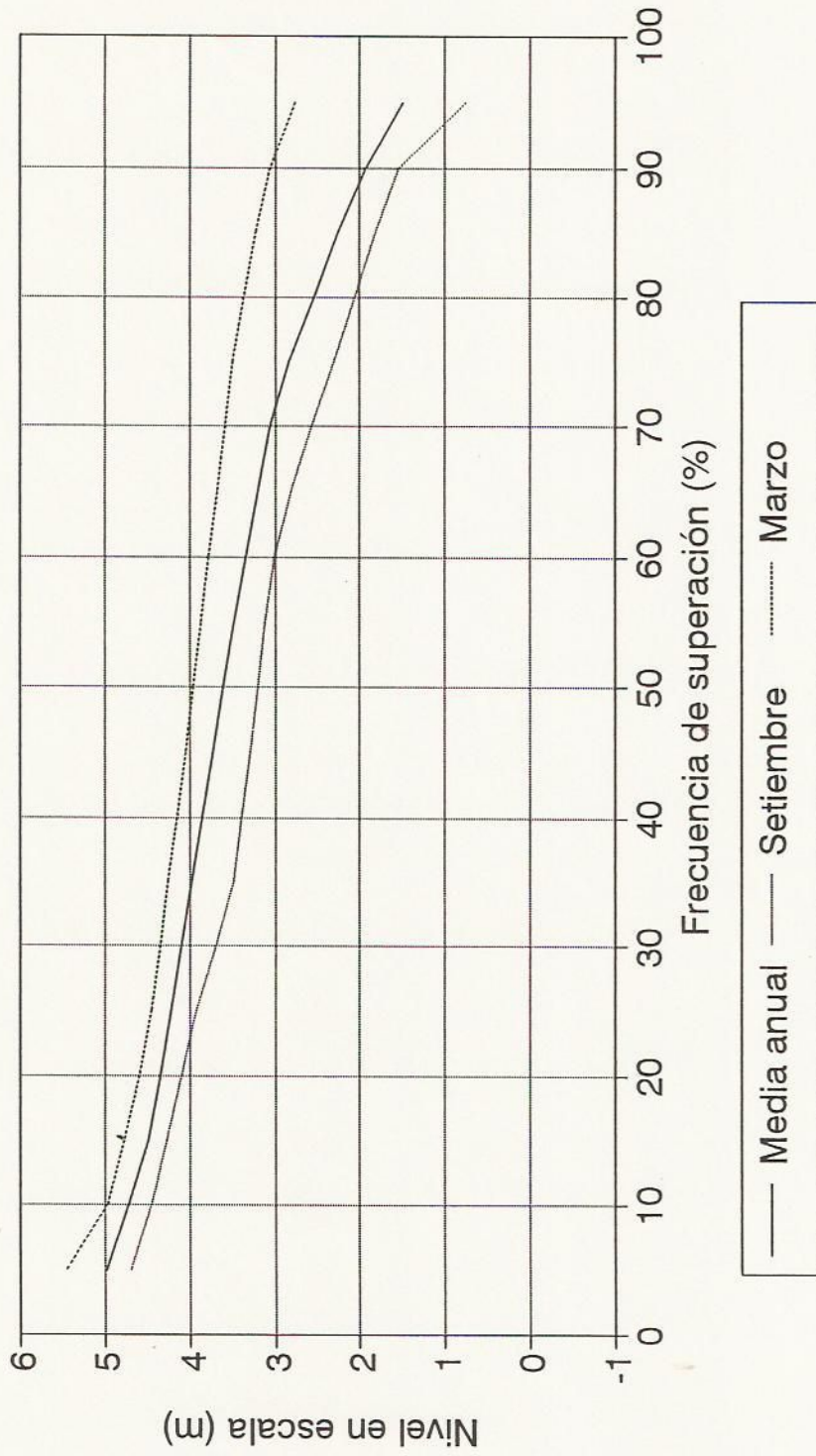


Figura 1.4a

NIVELES EN EL RIO PARANA ESCALA ROSARIO (1884 - 1992)

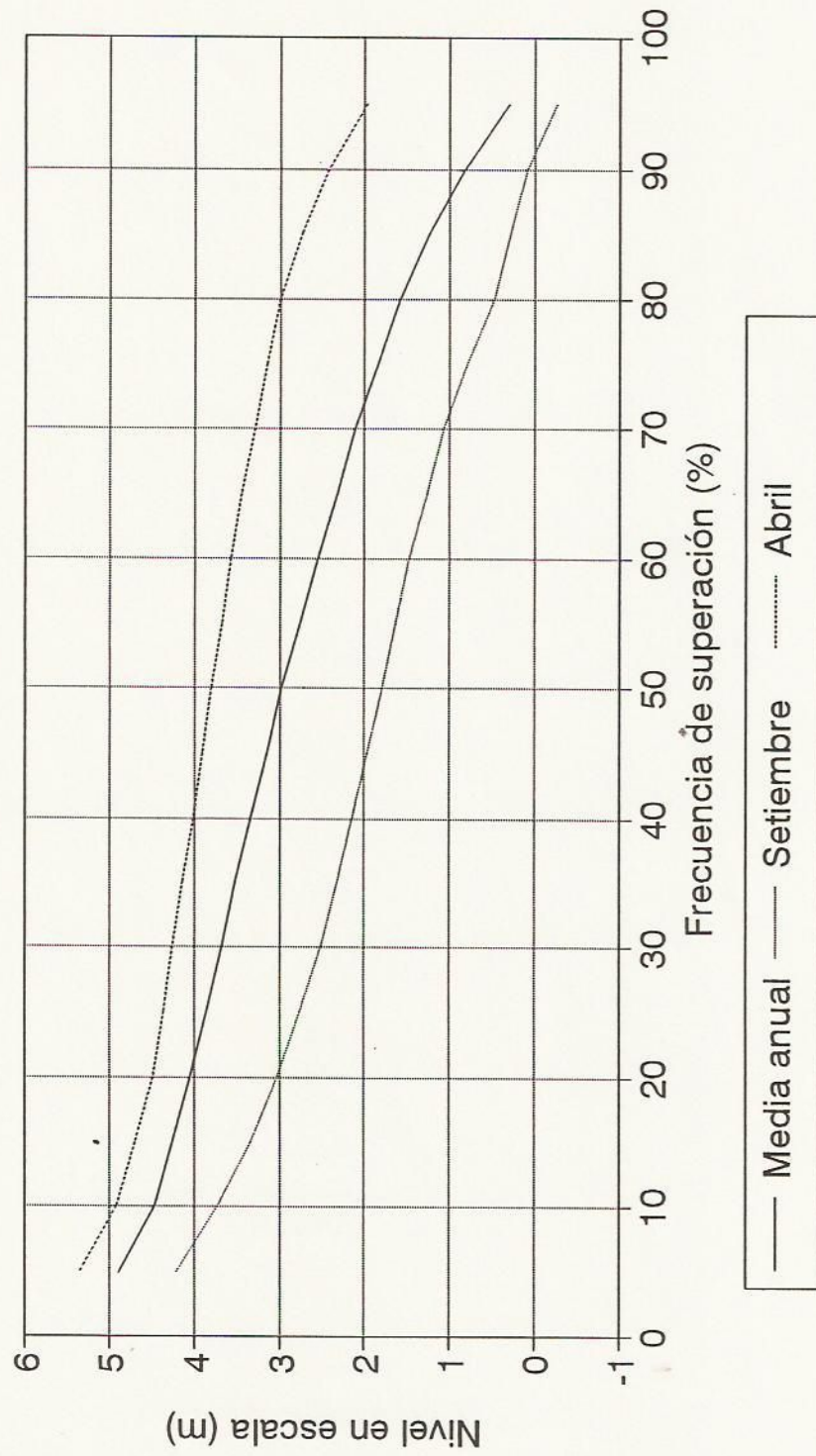


Figura 1.4b

NIVELES EN EL RIO PARANA ESCALA ROSARIO

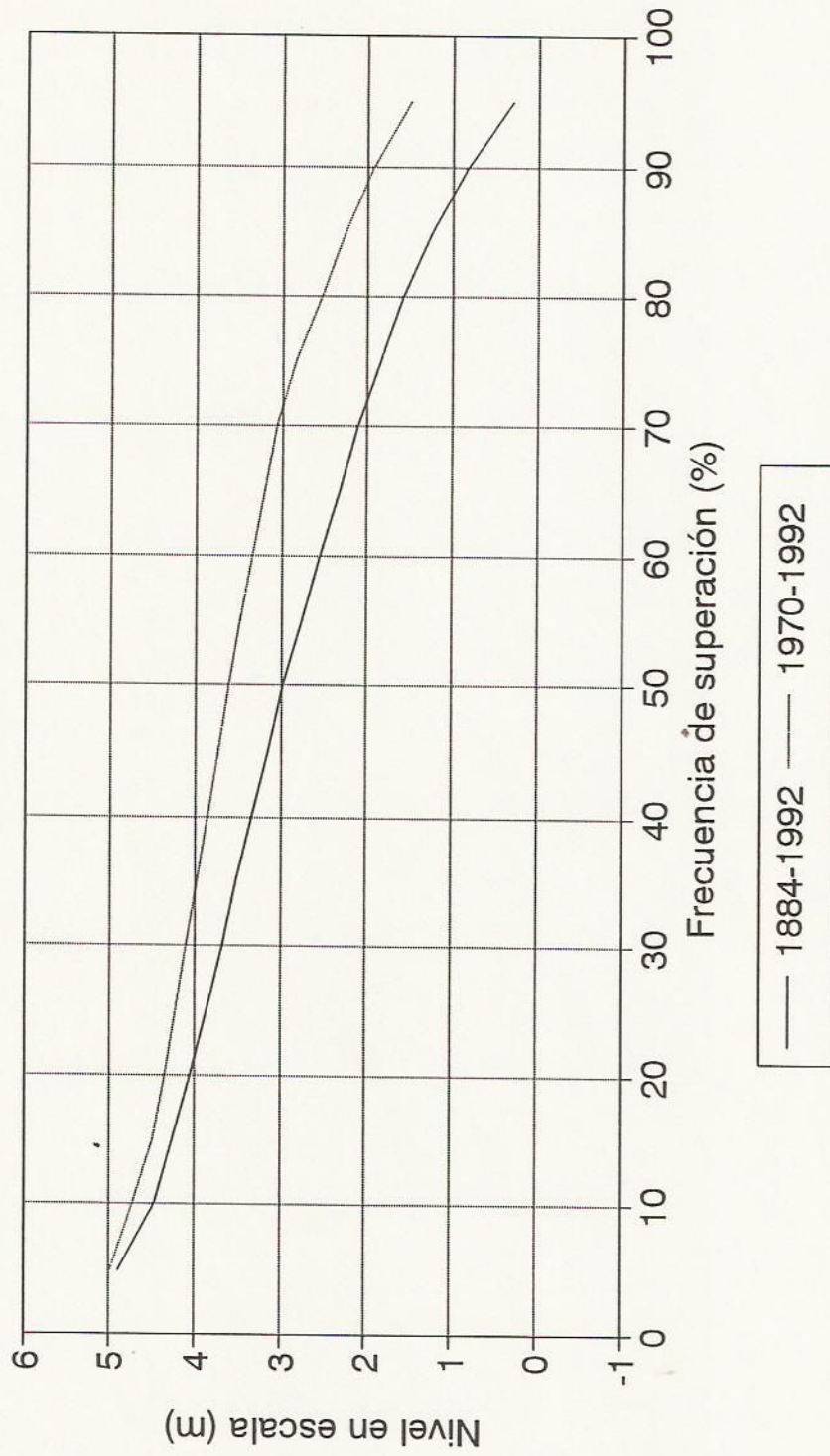


Figura 1.4c

RECURRENCIA DE CAUDALES EXTREMOS ESCALA DE PARANA (1905-1979)

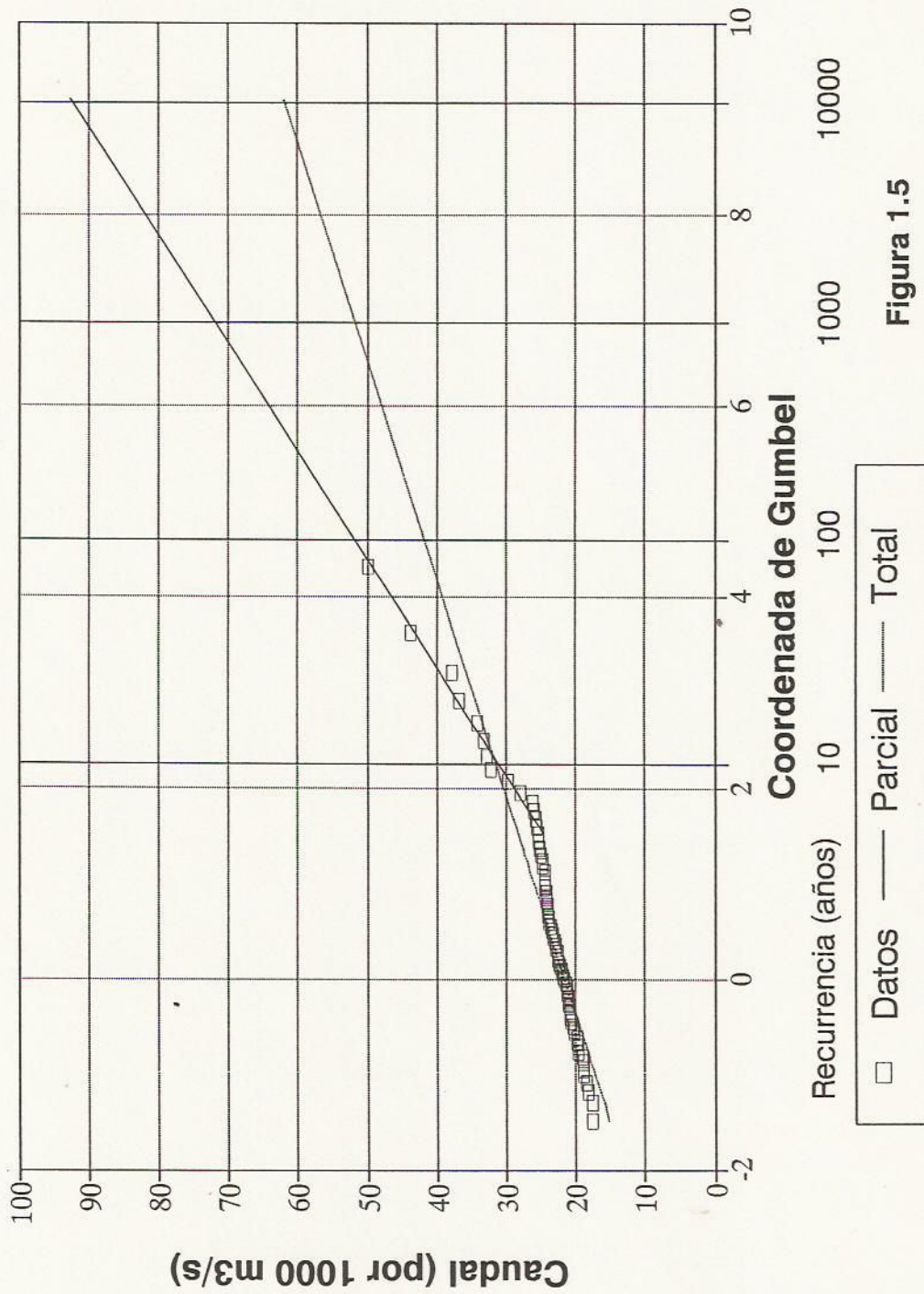
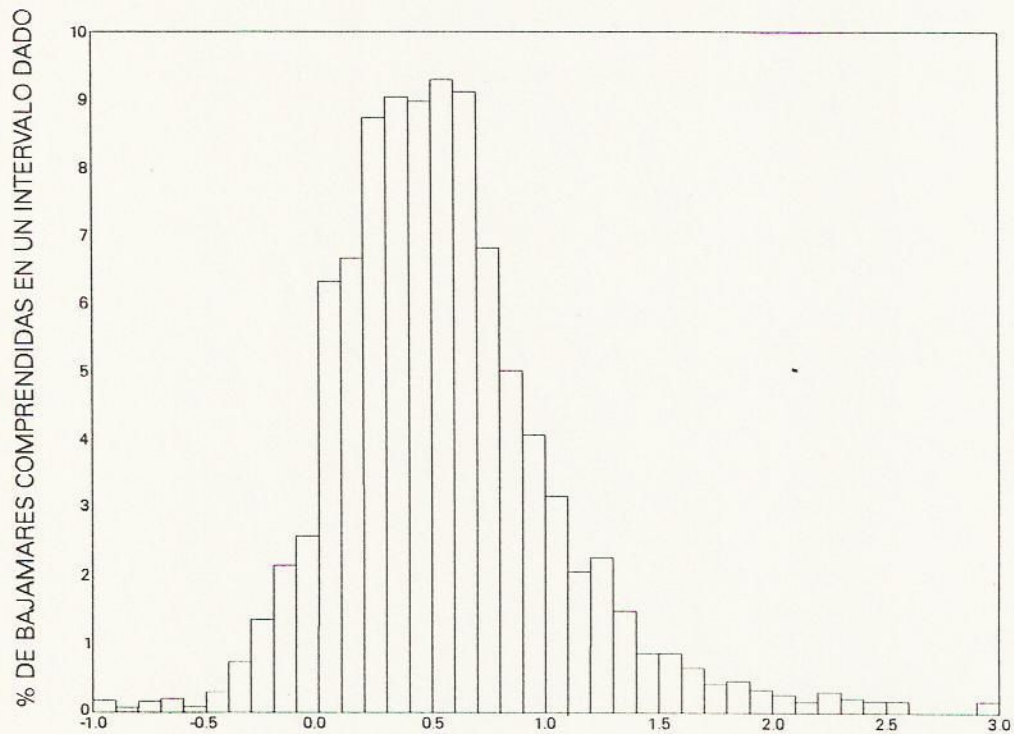


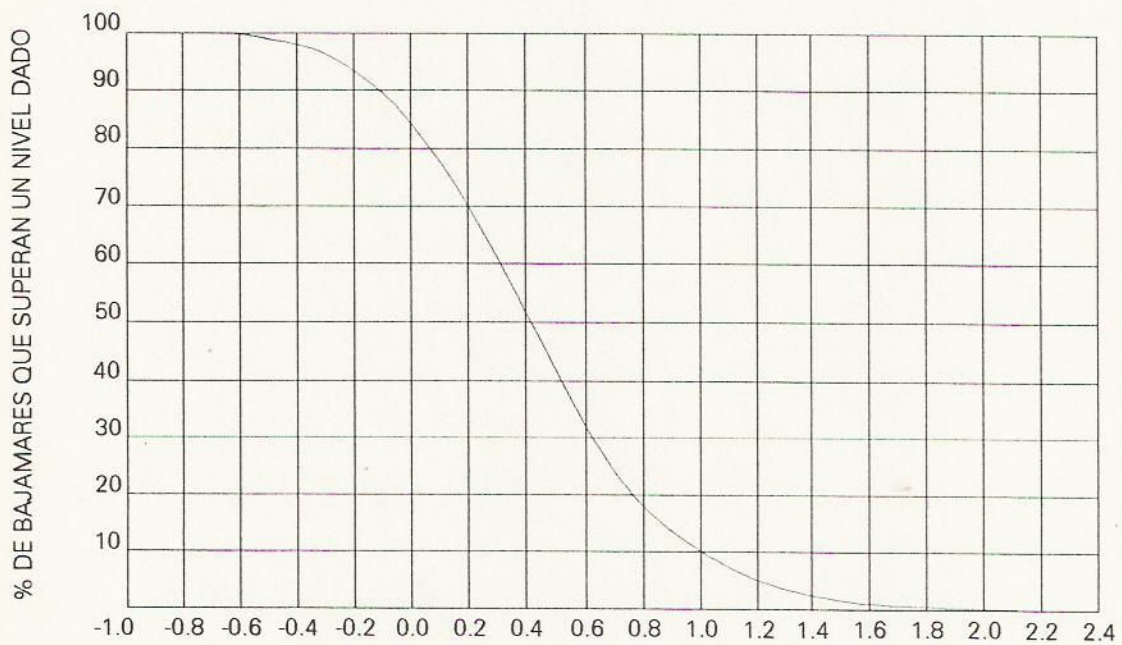
Figura 1.5

Figuras 1.6: Análisis estadístico de las bajamares en Buenos Aires
 Período: enero de 1980 a diciembre de 1984

- a) Histograma
- b) Frecuencia acumulada



a) NIVEL EN (m) SOBRE EL CERO DEL MOSP ("cero del Riachuelo")



b) NIVEL EN (m) SOBRE EL CERO DEL MOSP ("cero del Riachuelo")

Figuras 1.7: Análisis estadístico de las pleamares en Buenos Aires
Período: enero de 1980 a diciembre de 1984

- a) Histograma
- b) Frecuencia acumulada

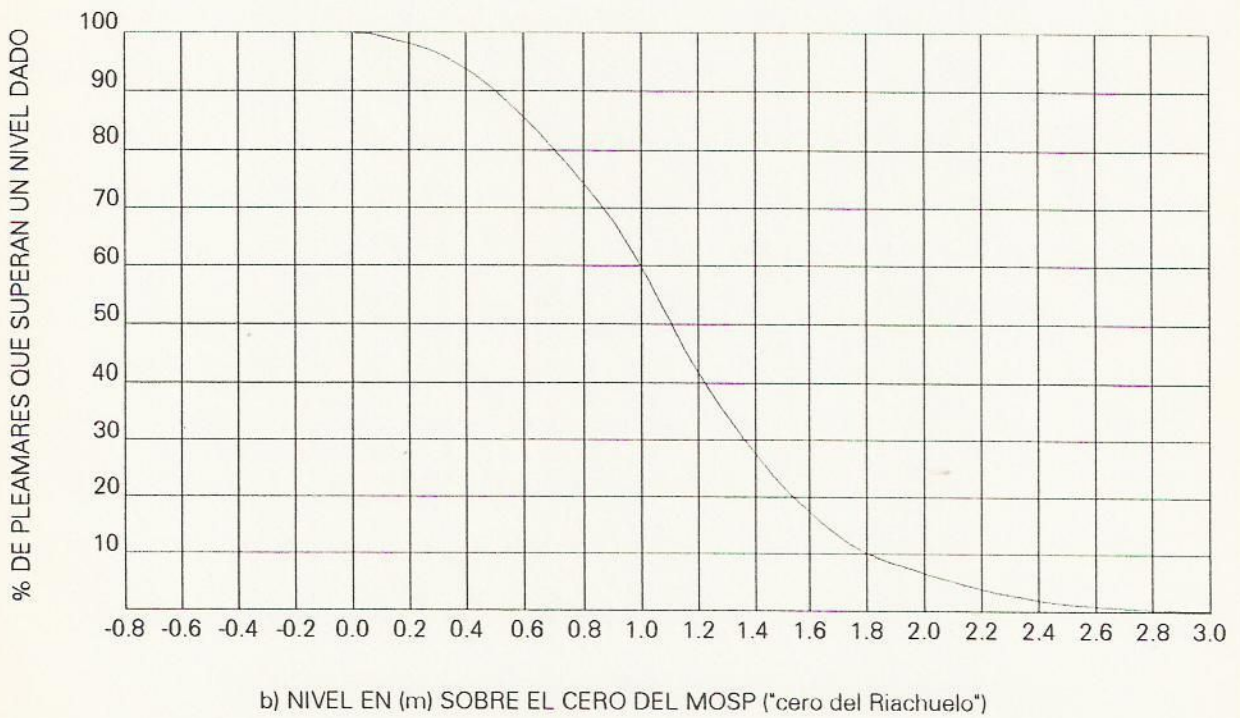
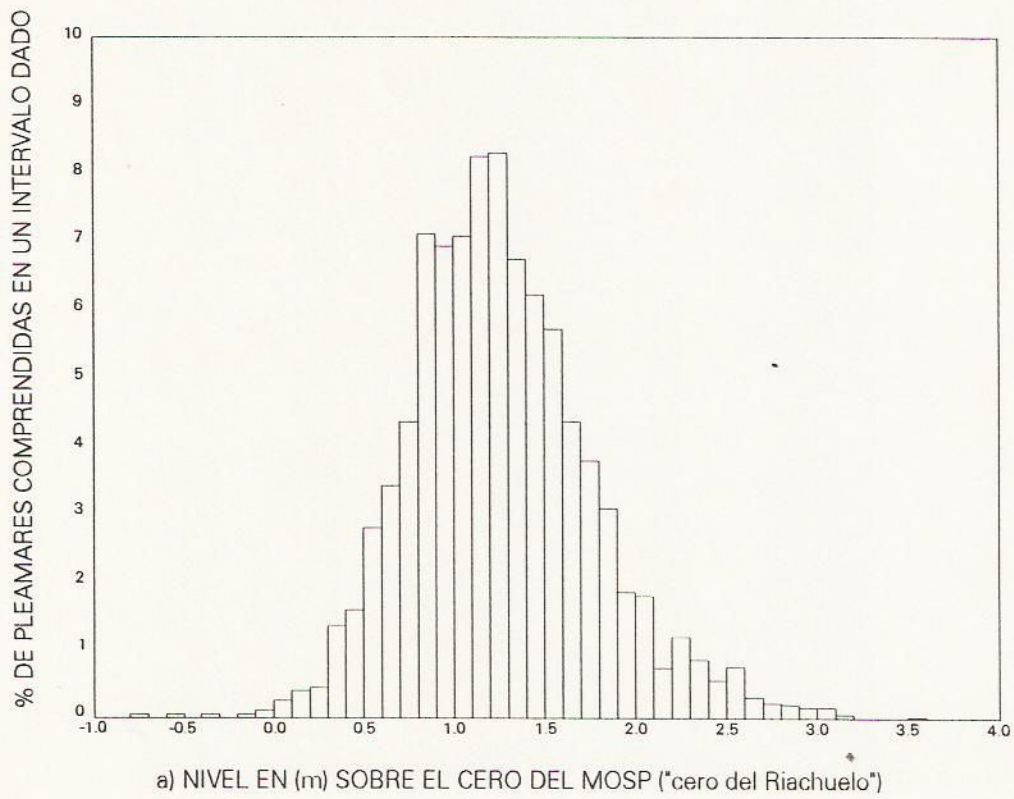
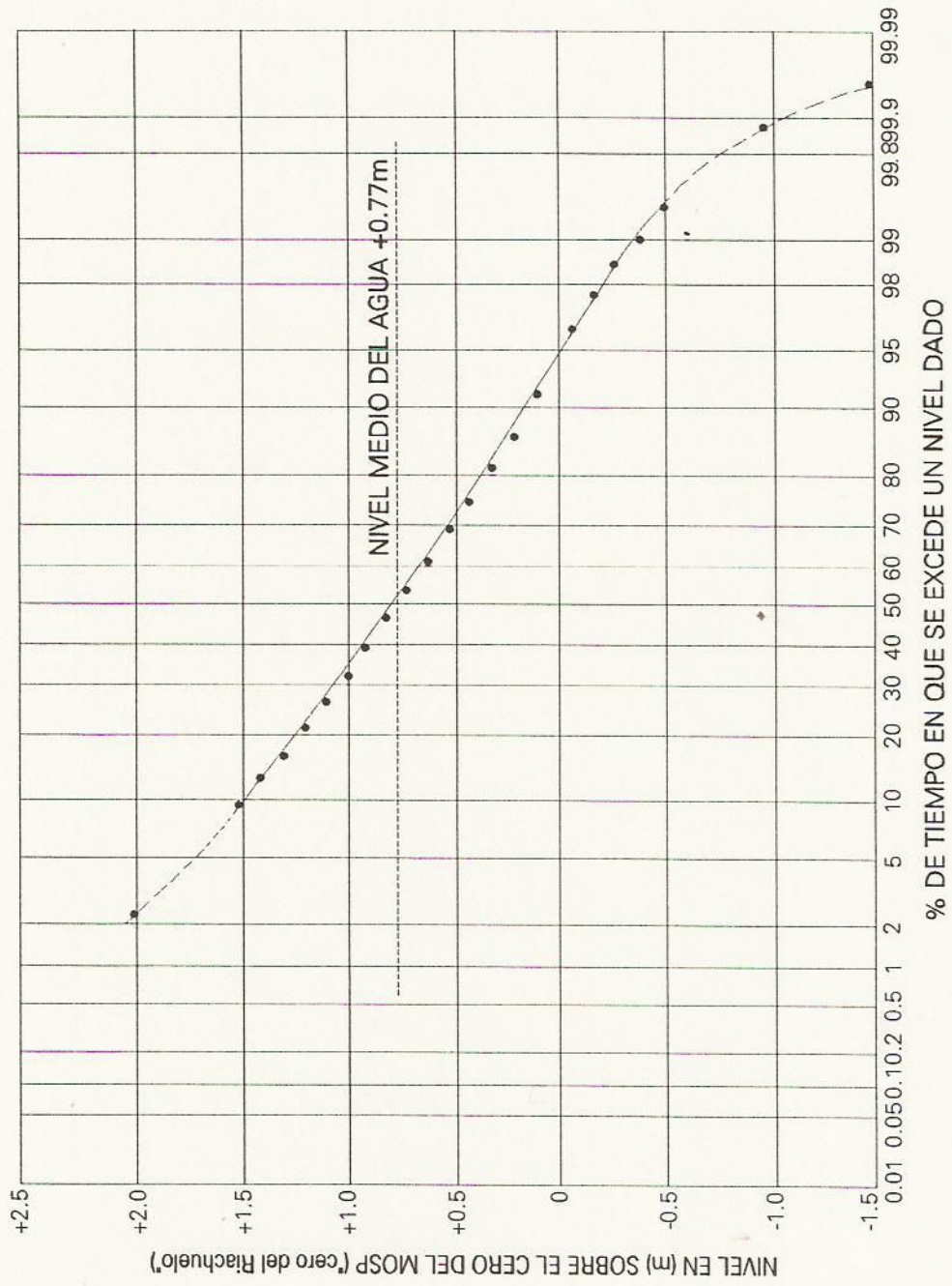
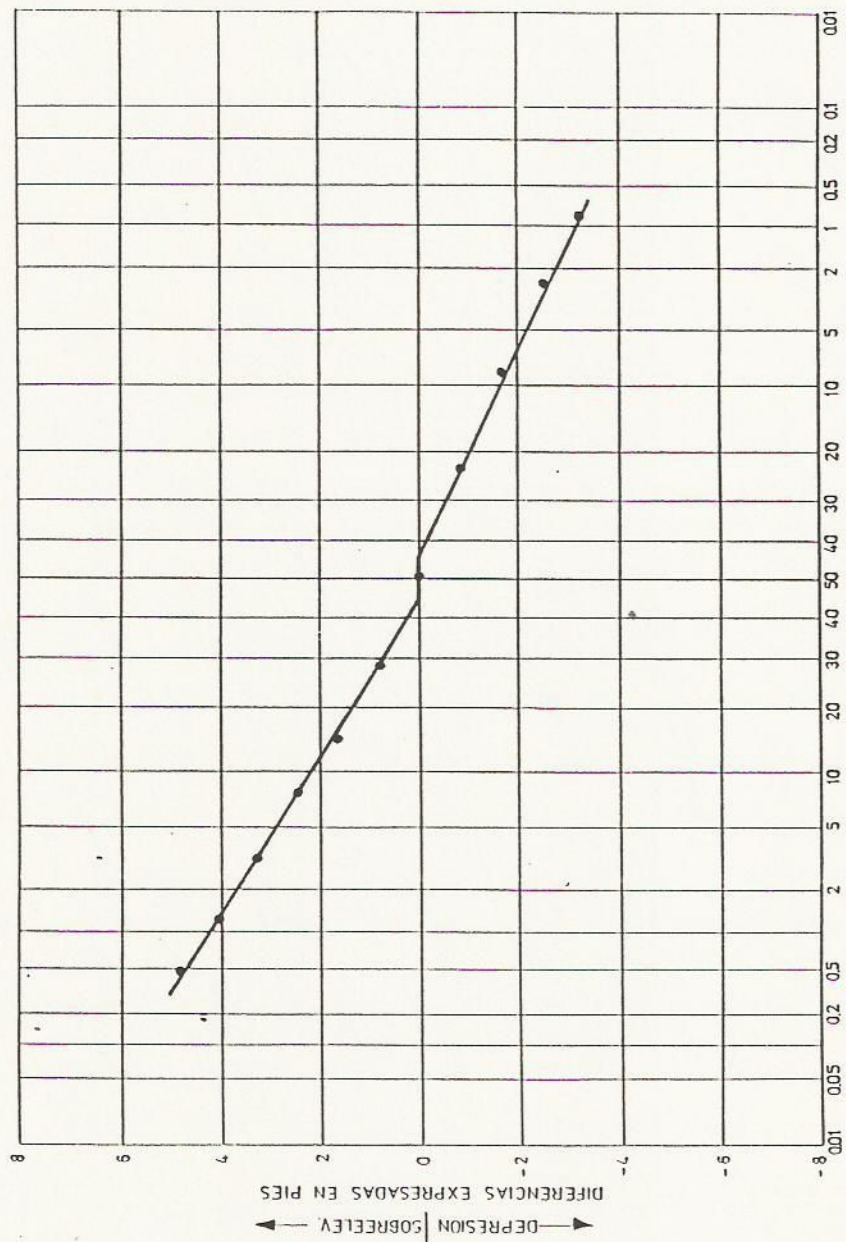


Figura 1.8: DURACION MEDIA ANUAL DE LOS NIVELES EN BUENOS AIRES



**EFFECTO DEL VIENTO SOBRE EL NIVEL EN
BUENOS AIRES (MAYO 1965-MAYO 1966)**



% DE TIEMPO EN QUE SE EXCEDEN LOS VALORES DE LA DEPRESION O LA SOBREELEVACION

Figura 1.9

NIVELES EN EL RIO DE LA PLATA CIUDAD DE BUENOS AIRES (1989-1991)

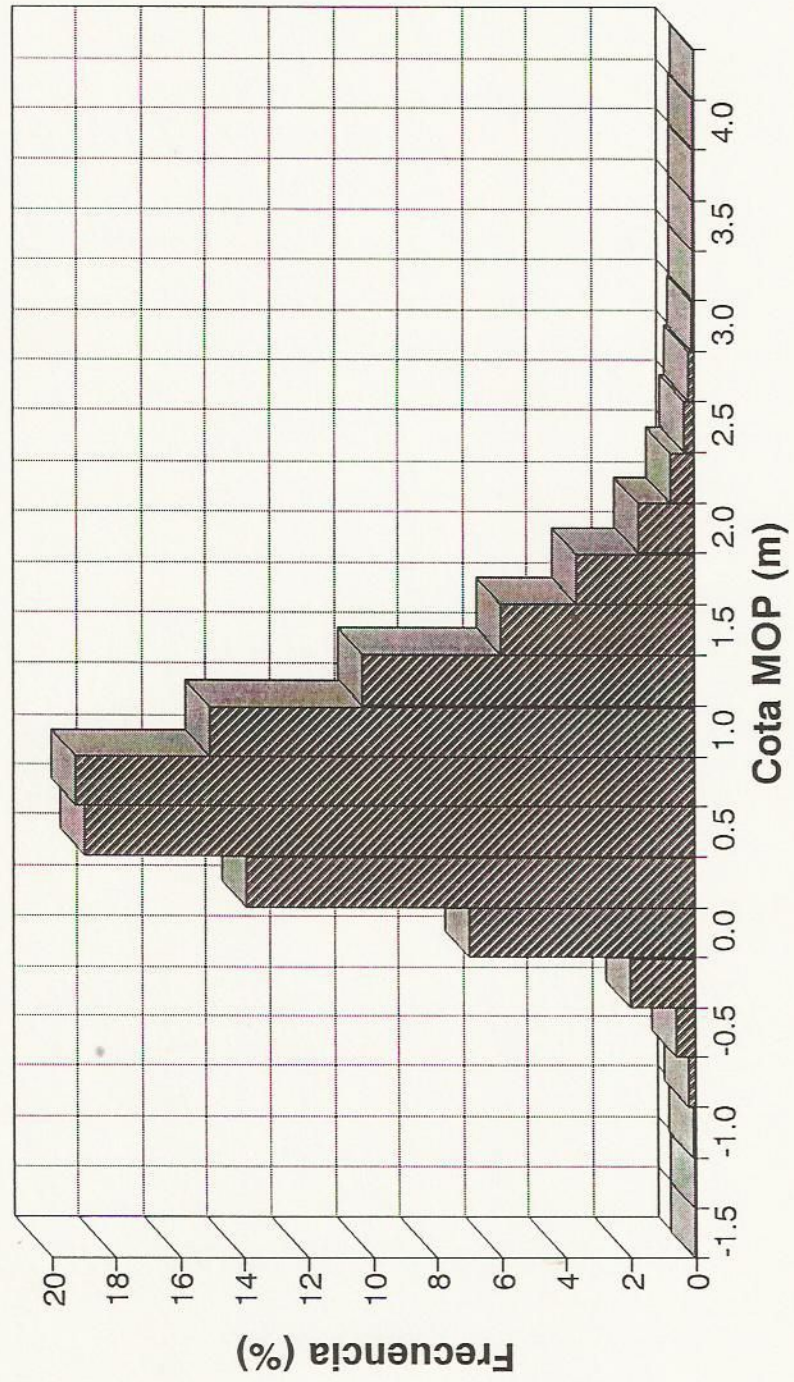


Figura 1.10

NIVELES EN EL RIO DE LA PLATA CIUDAD DE BUENOS AIRES (1989-1991)

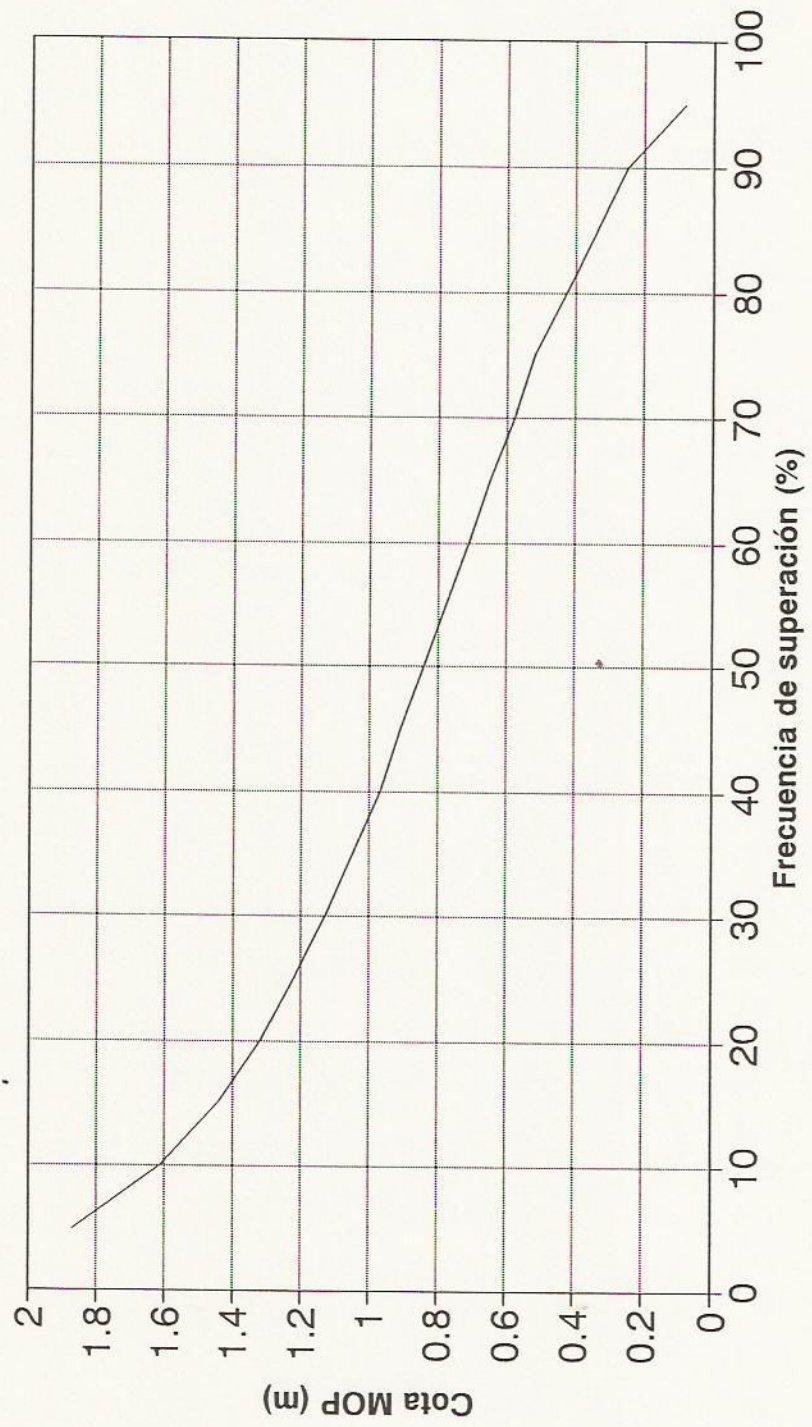


Figura 1.11

RECURRENCIA DE NIVELES MAXIMOS CIUDAD DE BUENOS AIRES (1905-1993)

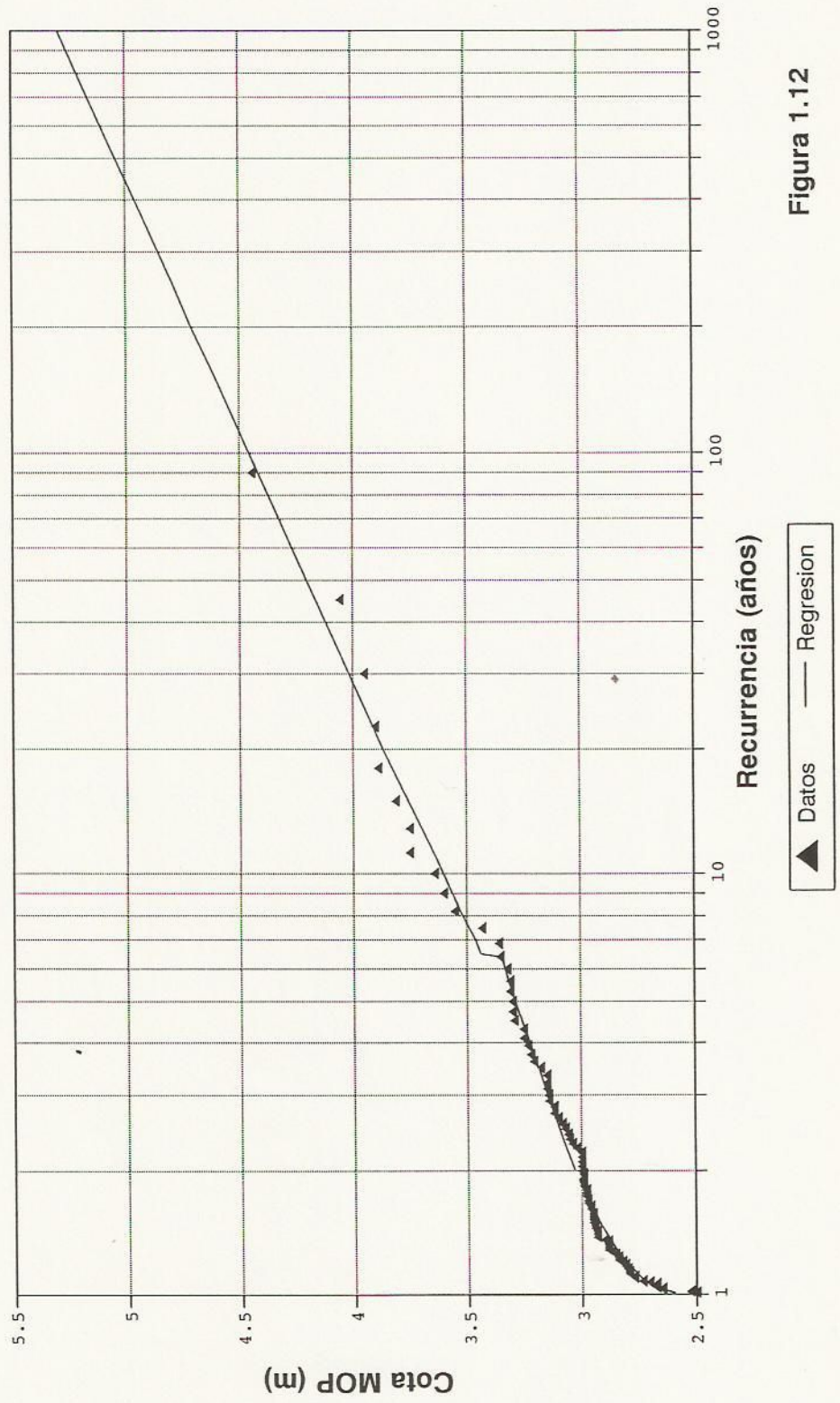


Figura 1.12

RECURRENCIA DE NIVELES MAXIMOS CIUDAD DE BUENOS AIRES (1905-1959)

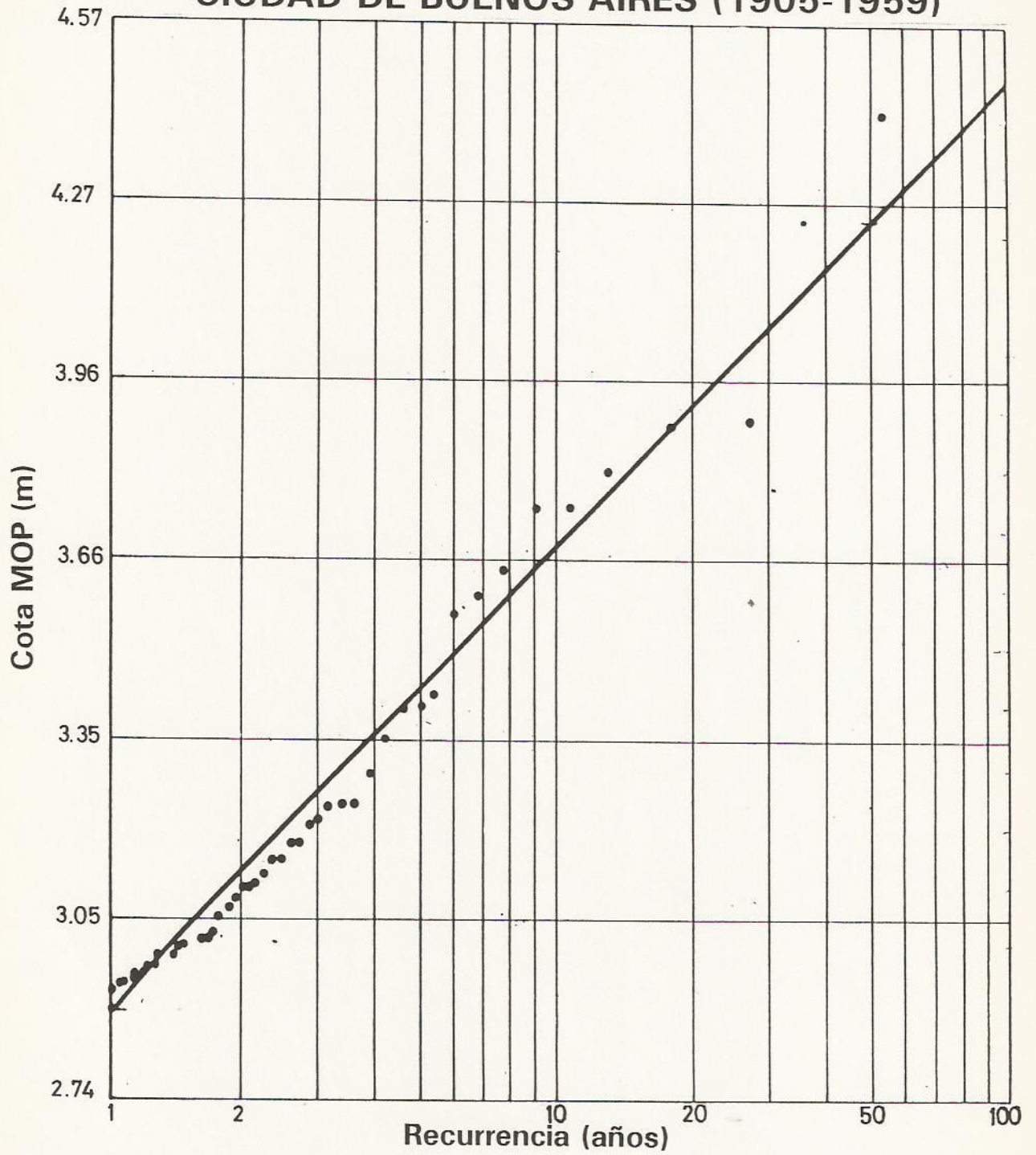
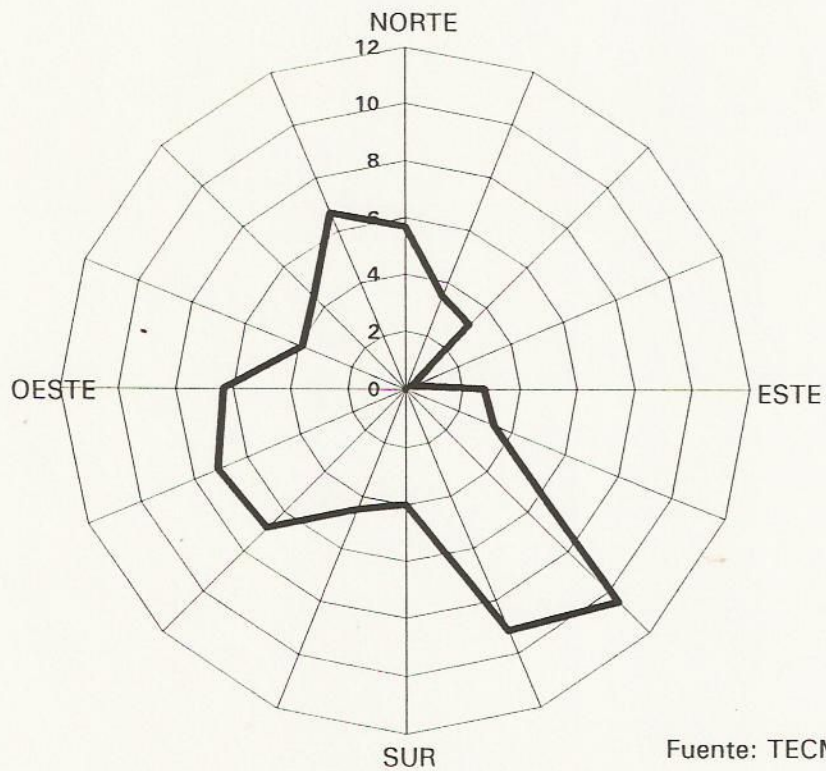
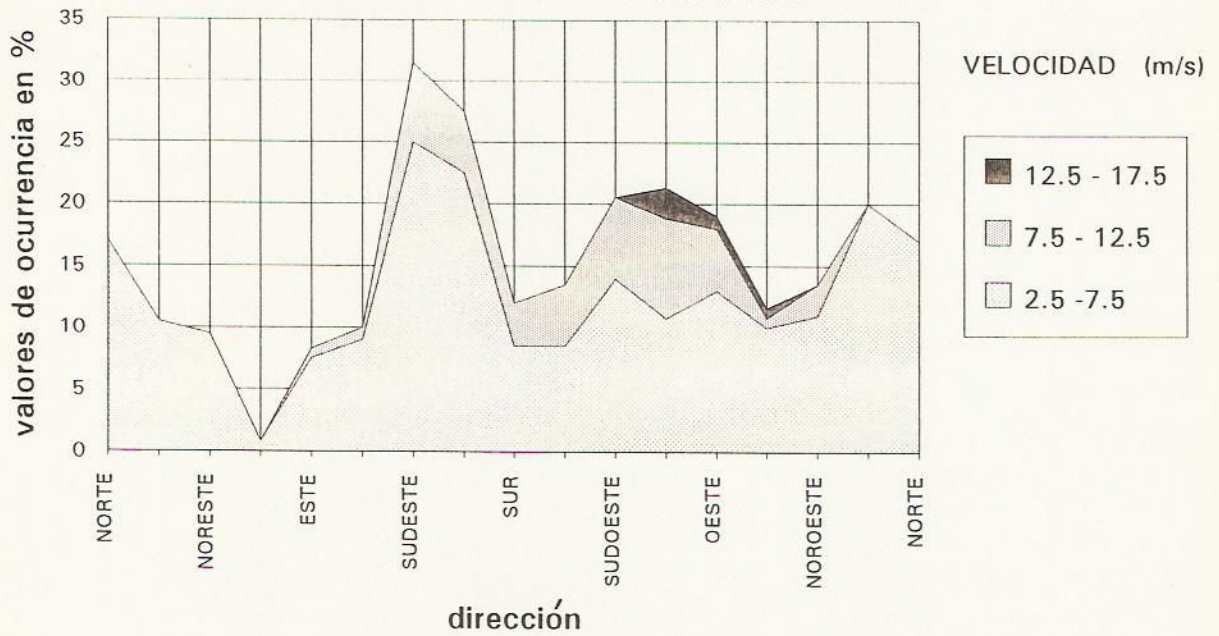


Figura 1.13

VIENTOS EN ESTACION AEROPARQUE

(ciudad de Buenos Aires)

Período: 1984



Fuente: TECMES S.R.L.

Figura 1.14

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1898 - 1914)**

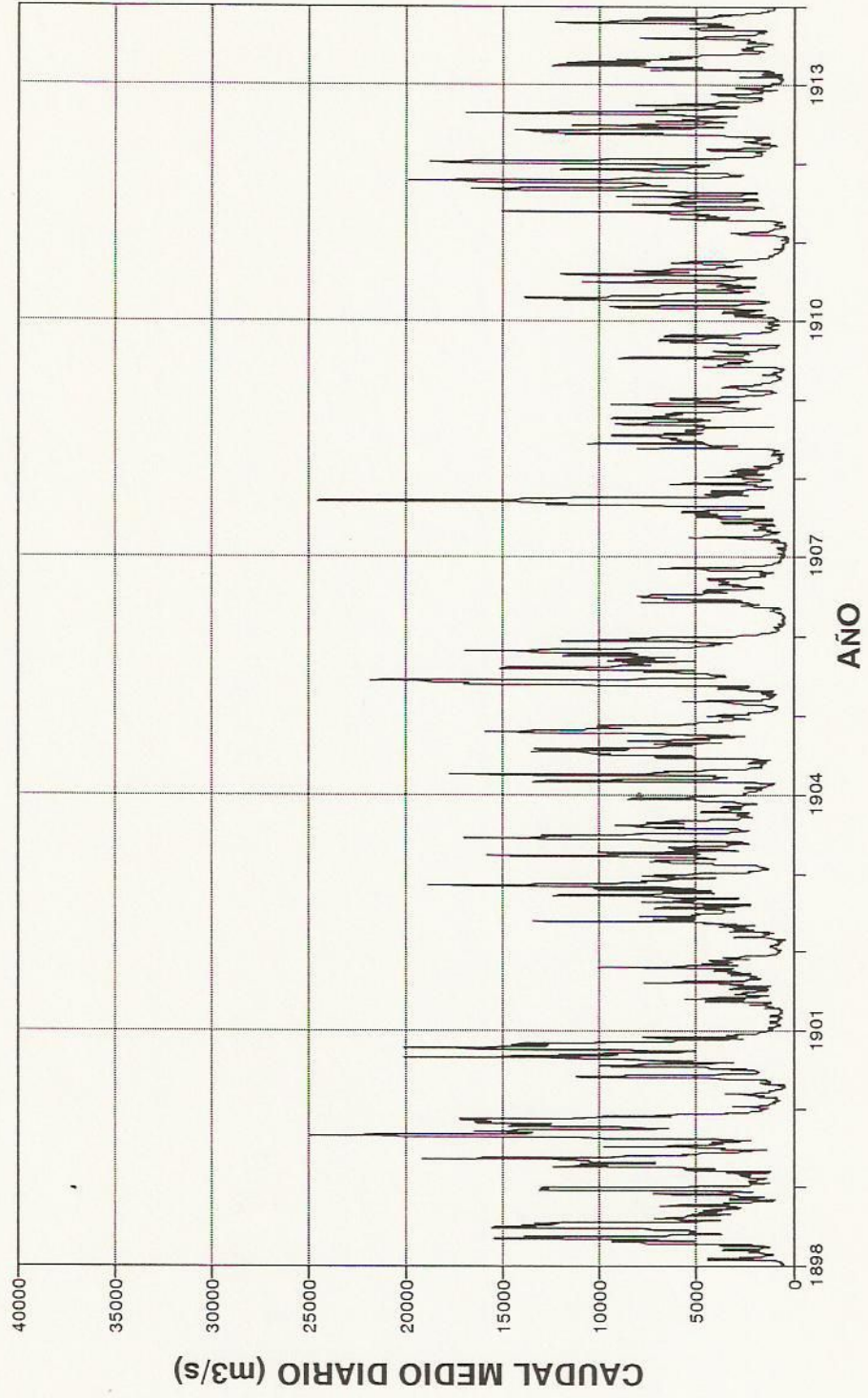


Figura 1.15a)

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1914 - 1930)**

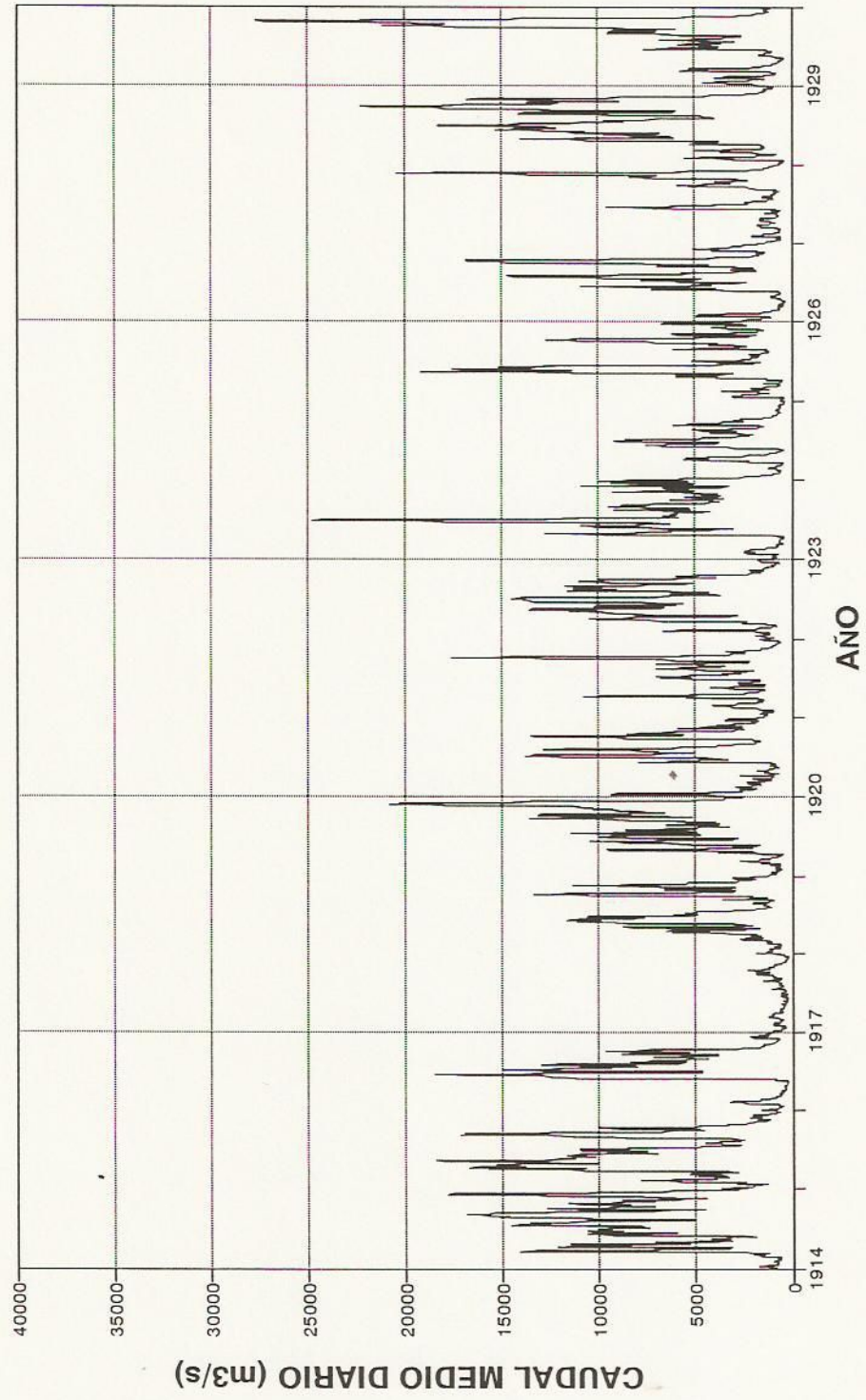


Figura 1.15b)

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1930 - 1946)**

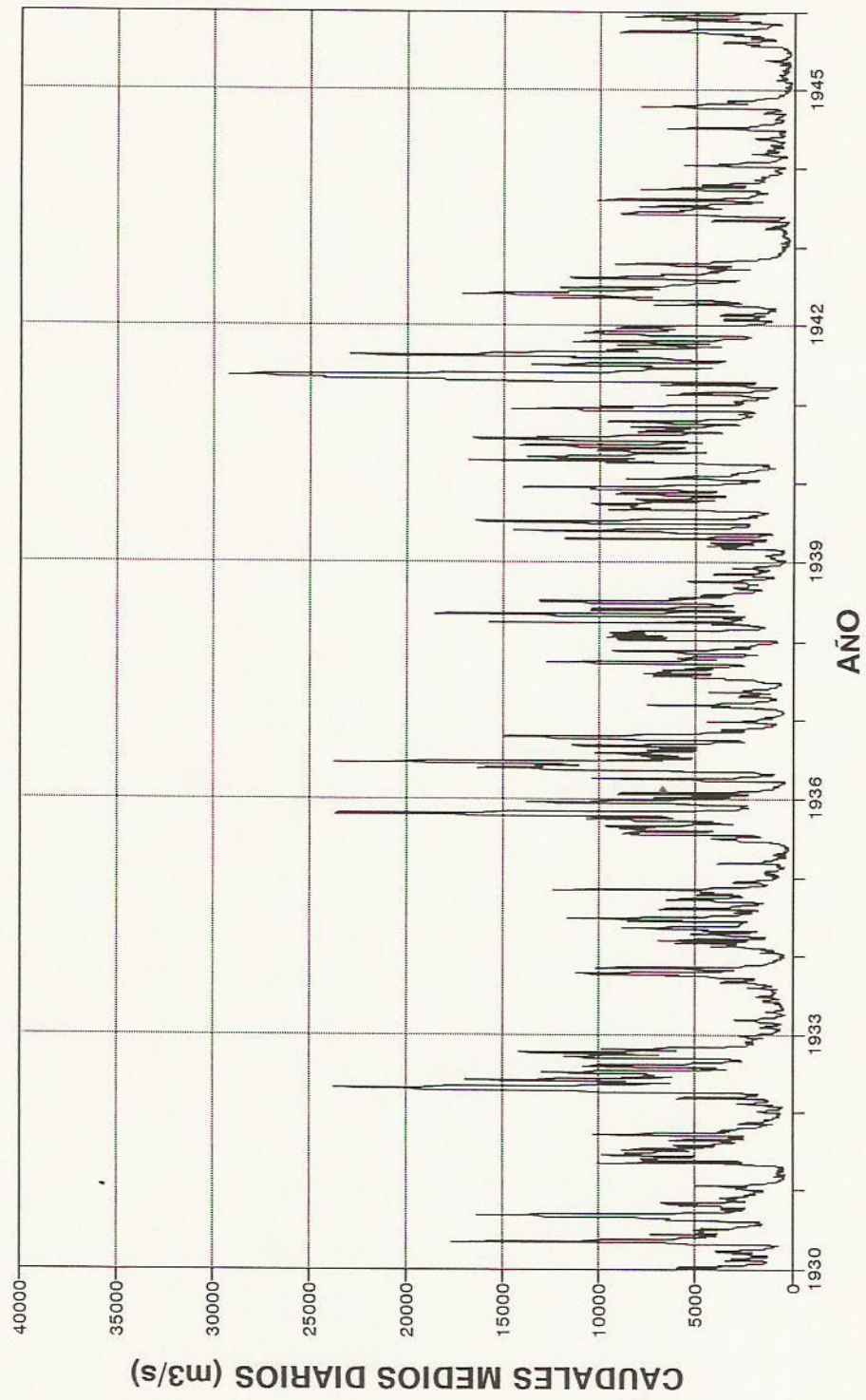


Figura 1.15c)

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1946 - 1962)**

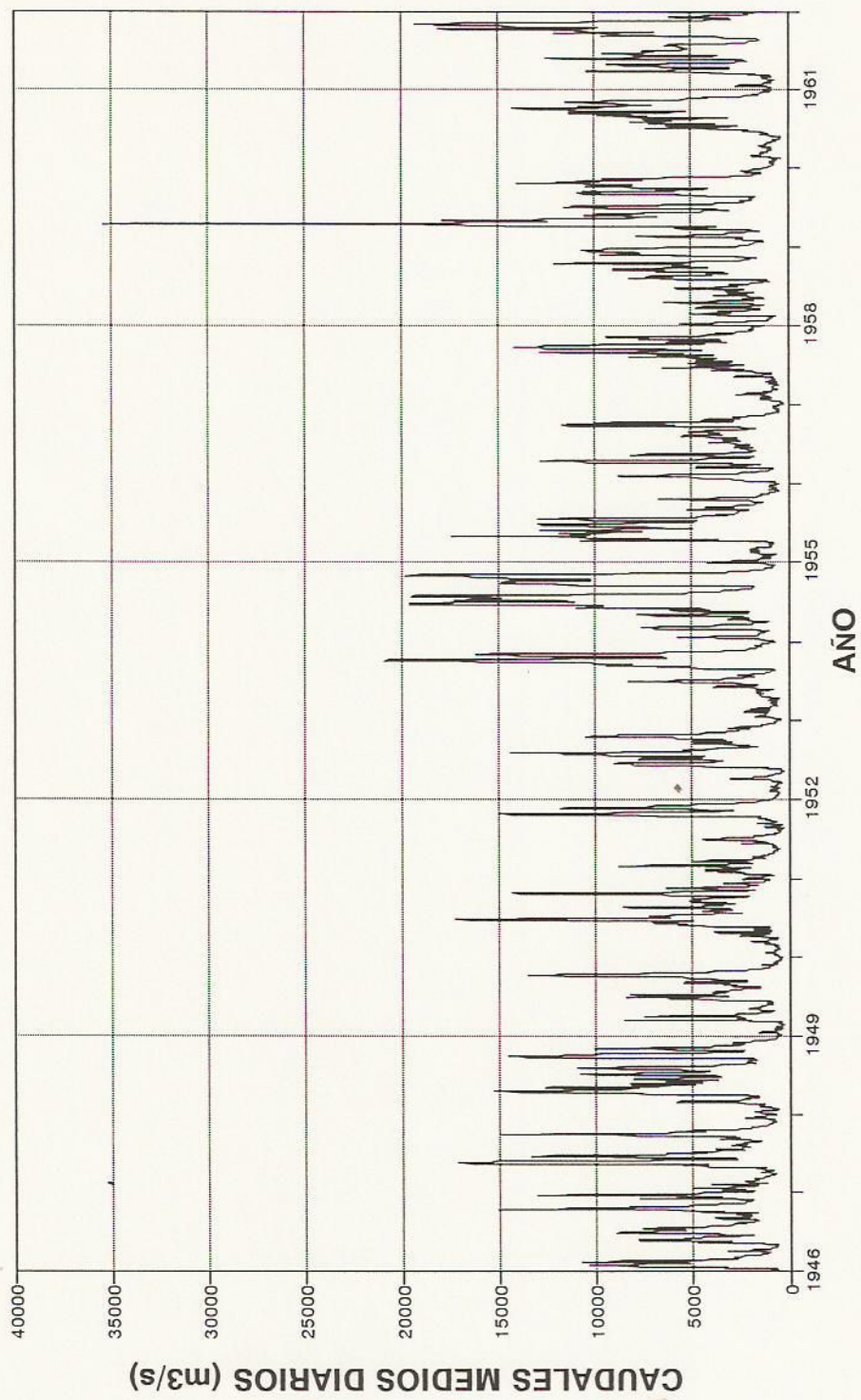


Figura 1.15d)

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1962 - 1978)**

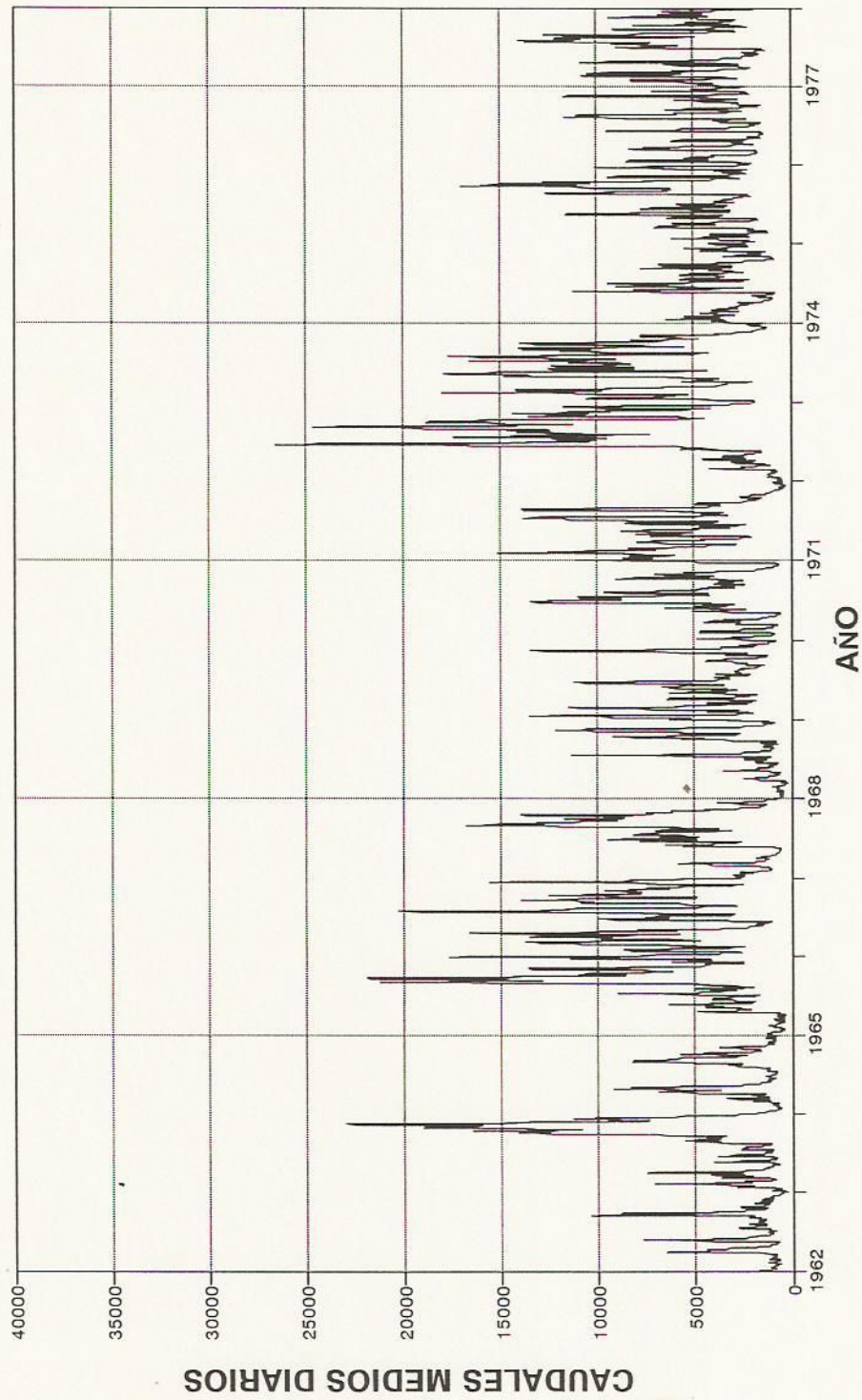


Figura 1.15e)

**CAUDALES APORTADOS AL EMBALSE
DE SALTO GRANDE (1978 - 1991)**

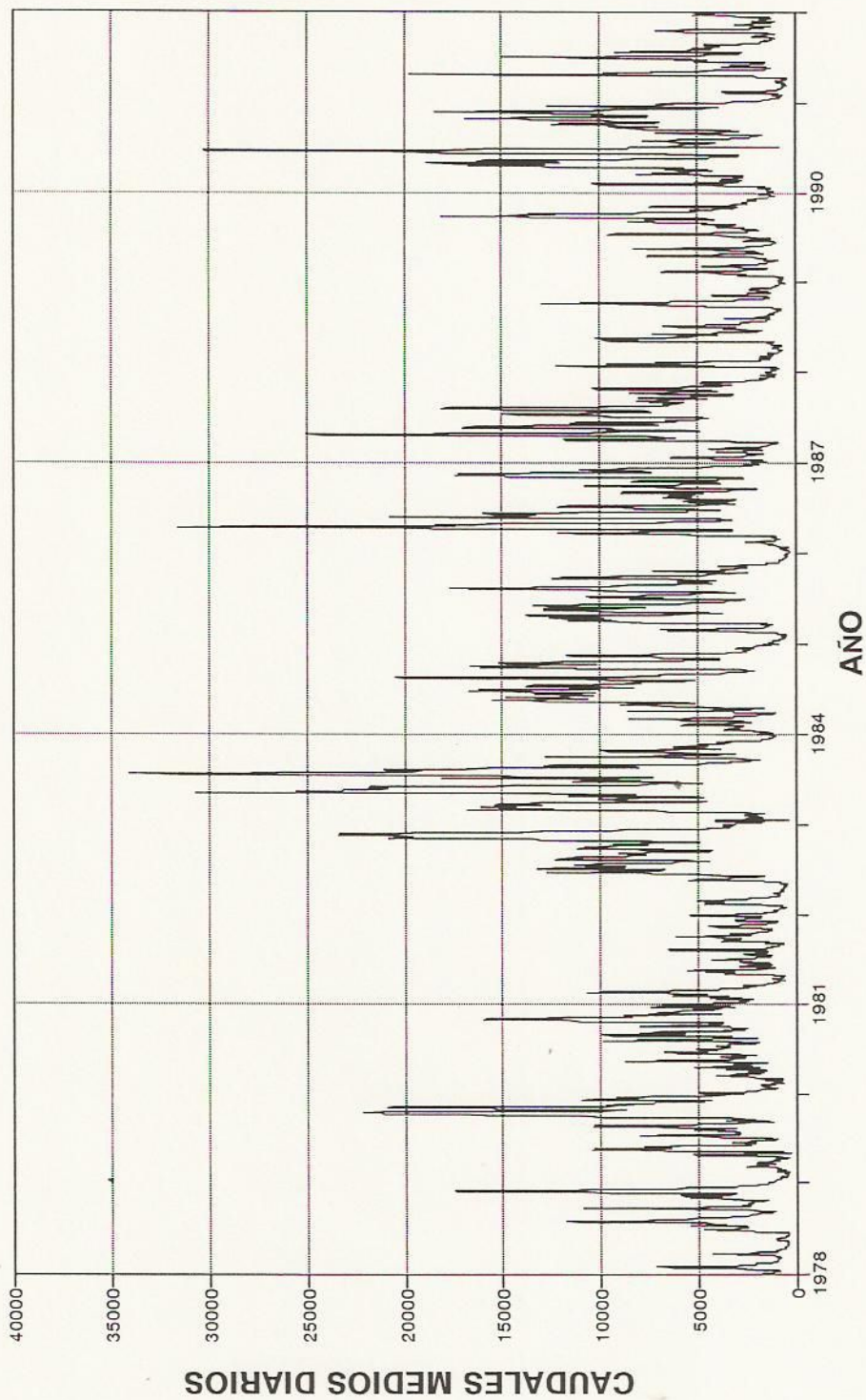


Figura 1.15f)

**CAUDALES EN EL RIO URUGUAY
ESTACION CONCORDIA (1898 - 1978)**

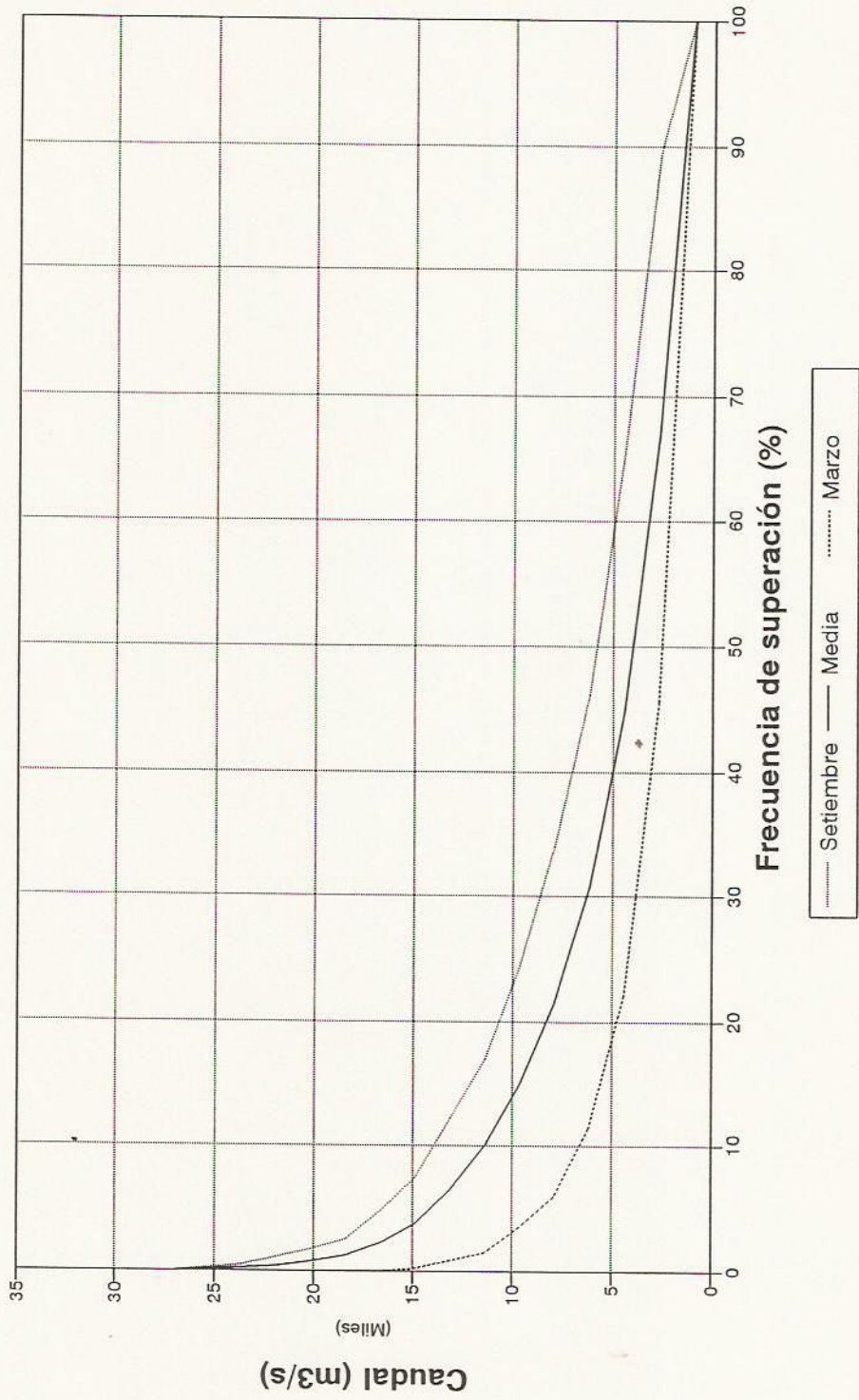


Figura 1.16

**CAUDALES EN EL RIO URUGUAY
ESTACION CONCORDIA (1979 - 1993)**

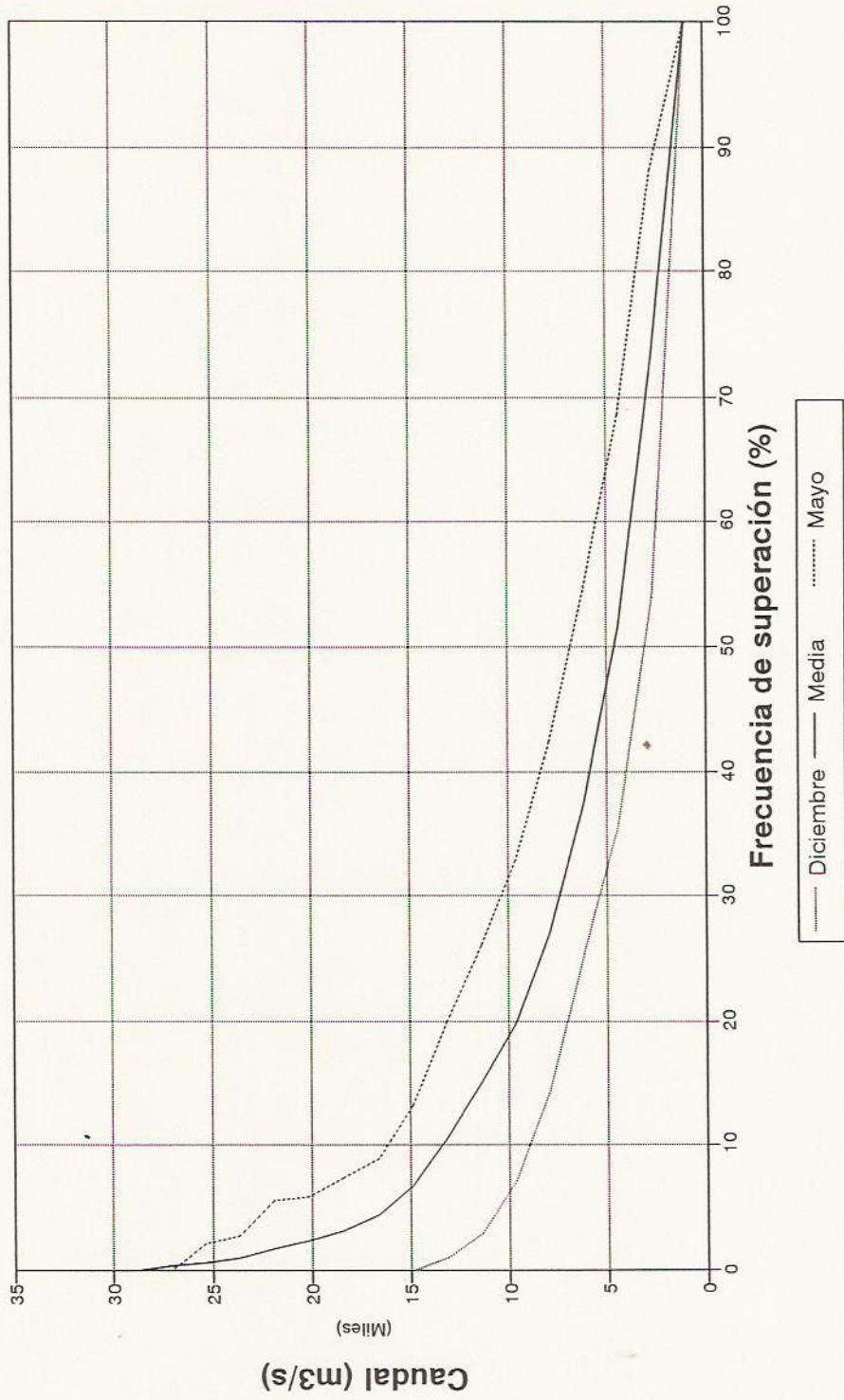
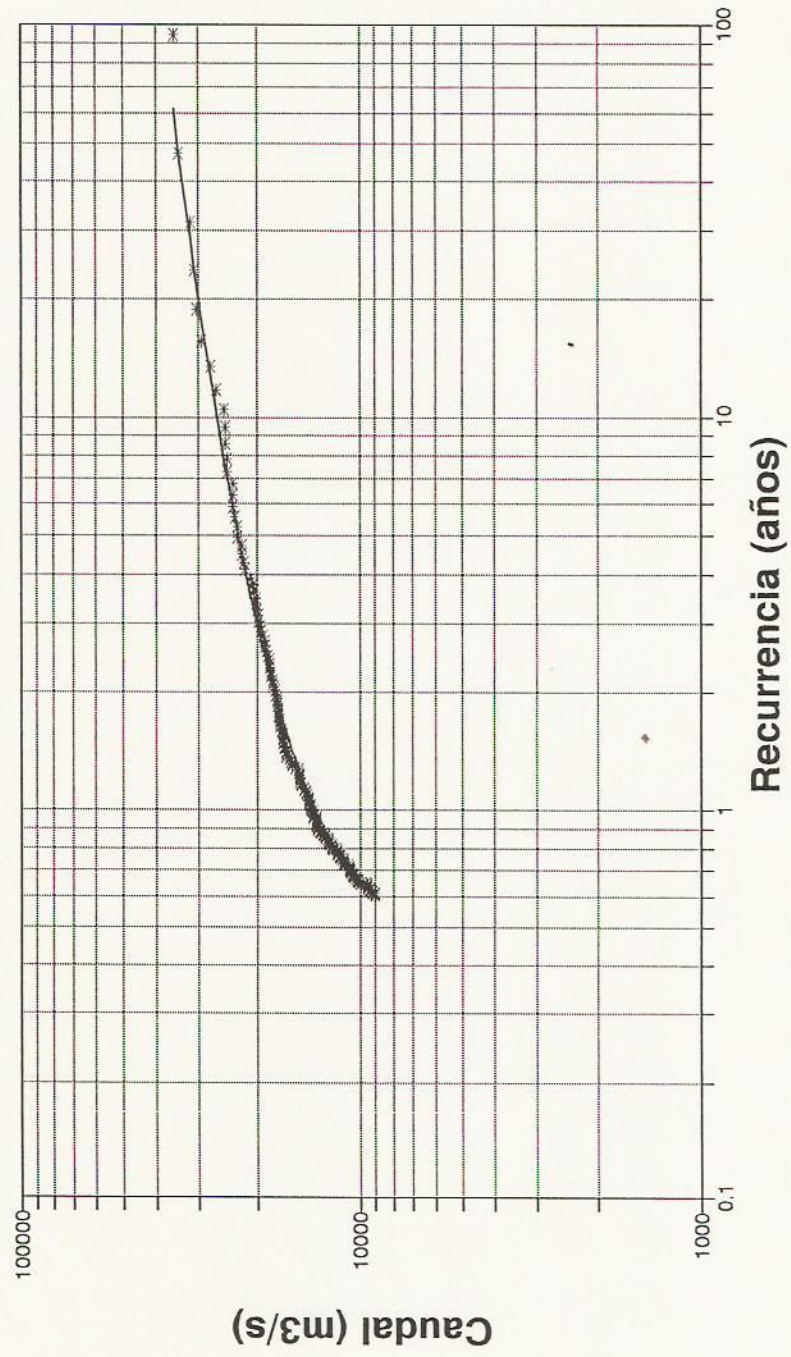


Figura 1.17

RECURRENCIAS DE CAUDALES MÁXIMOS ANUALES APORTADOS A SALTO GRANDE



— Ley de Gumbel * Datos

Figura 1.18

**CONOCIMIENTO DE UN SISTEMA VERSUS
LA COMPLEJIDAD DEL MODELO**

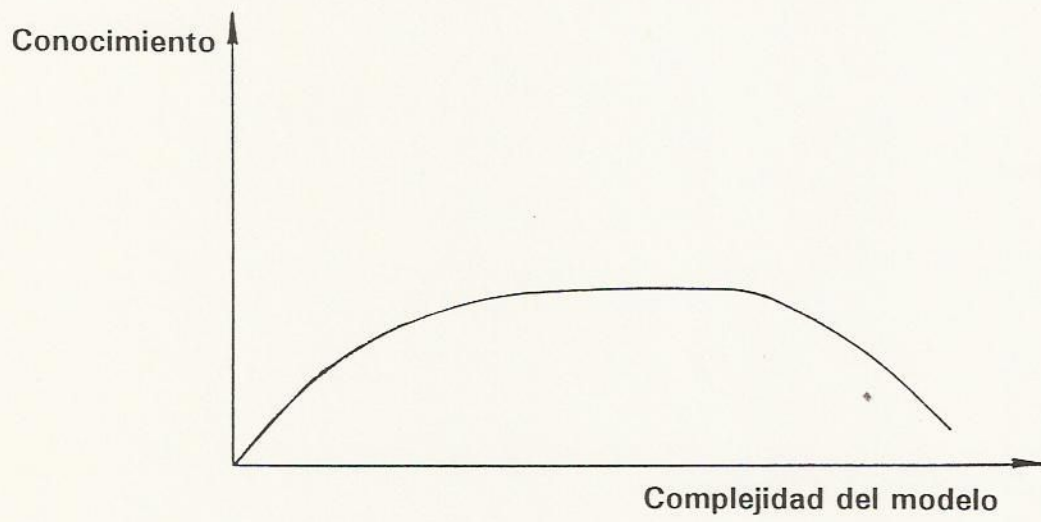


Figura 3.1

ESQUEMATIZACION DEL DELTA DEL RIO PARANA

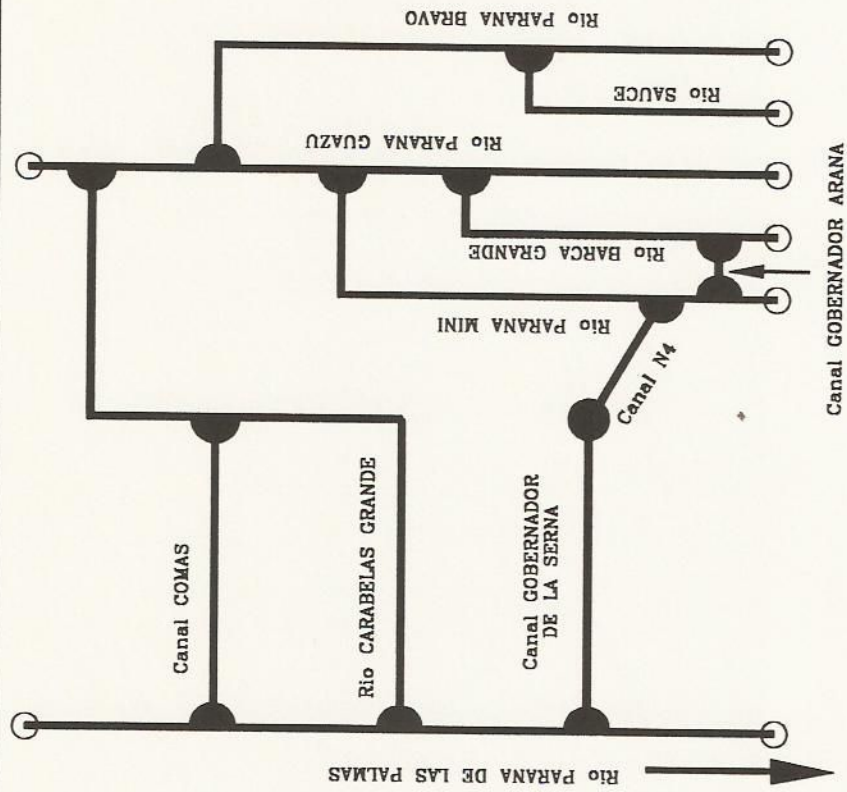
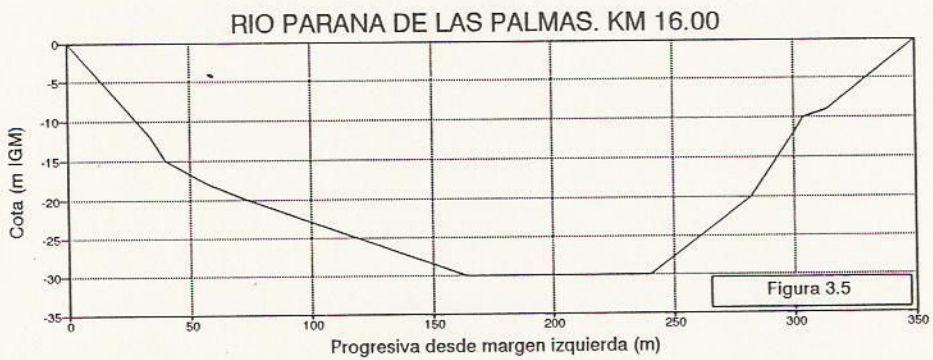
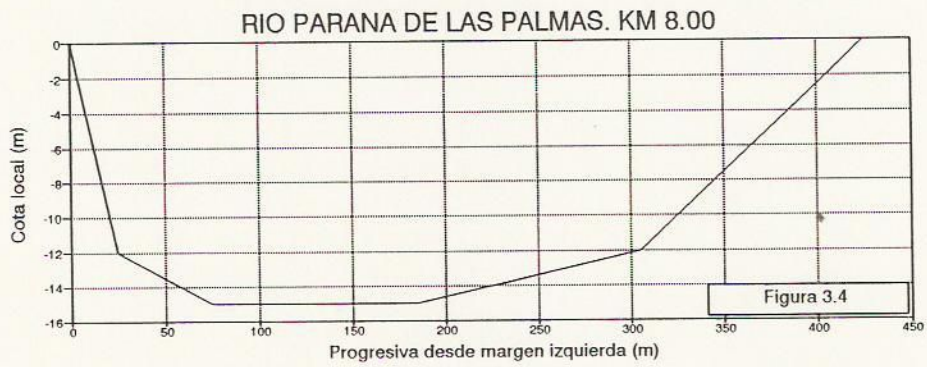
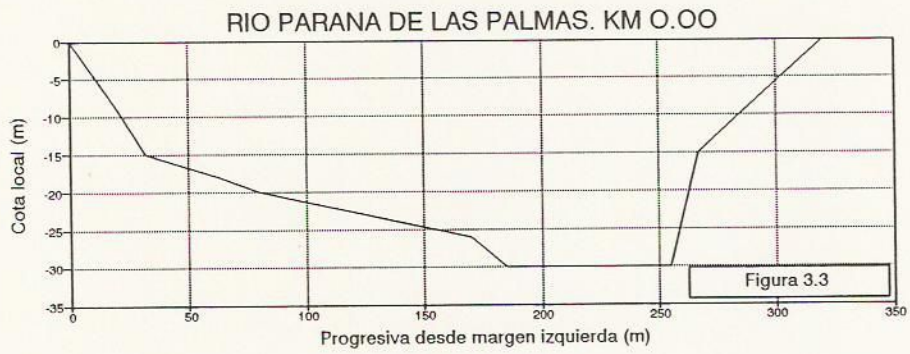
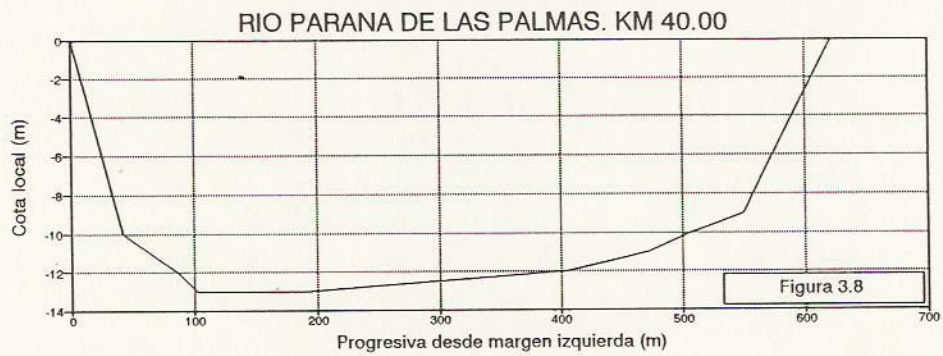
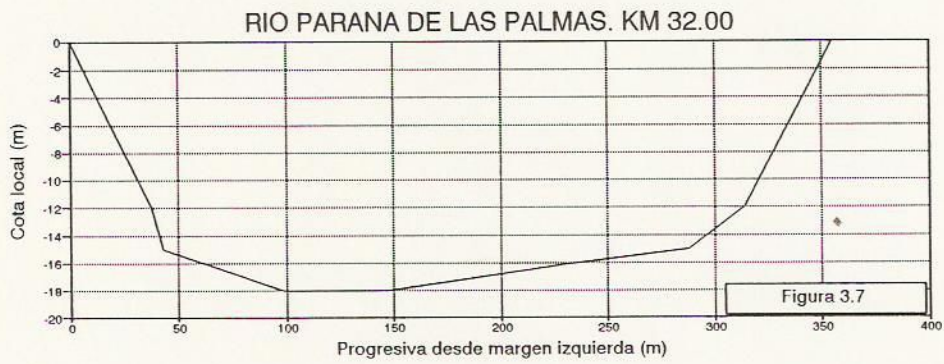
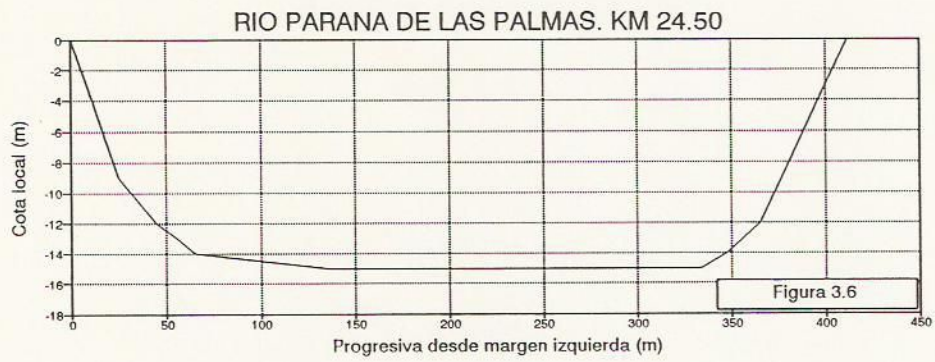
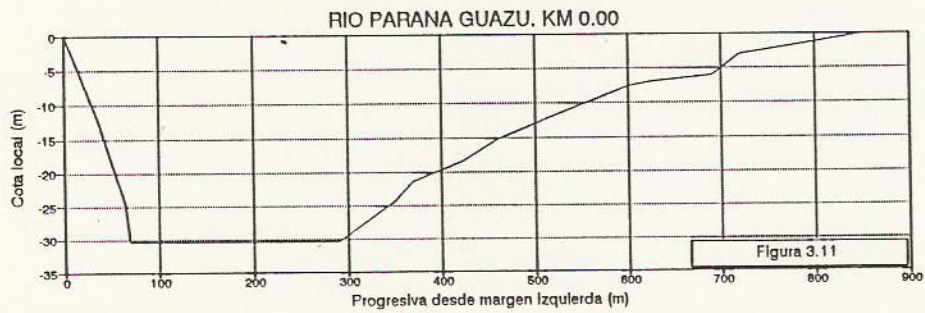
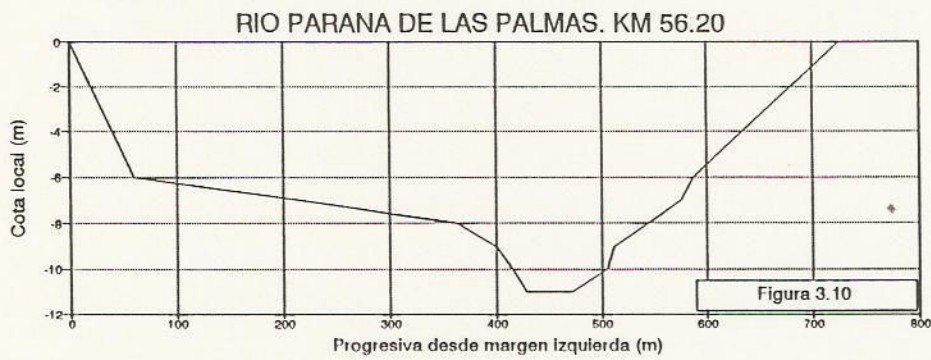
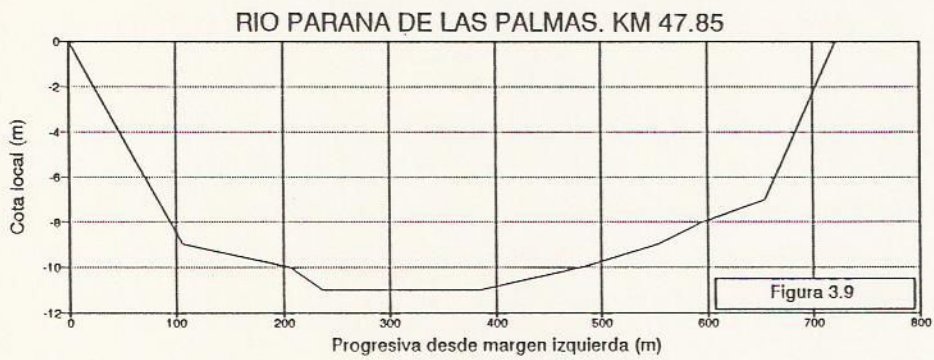
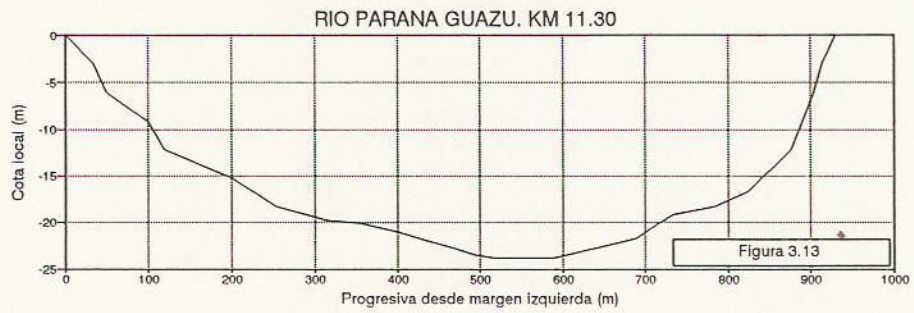
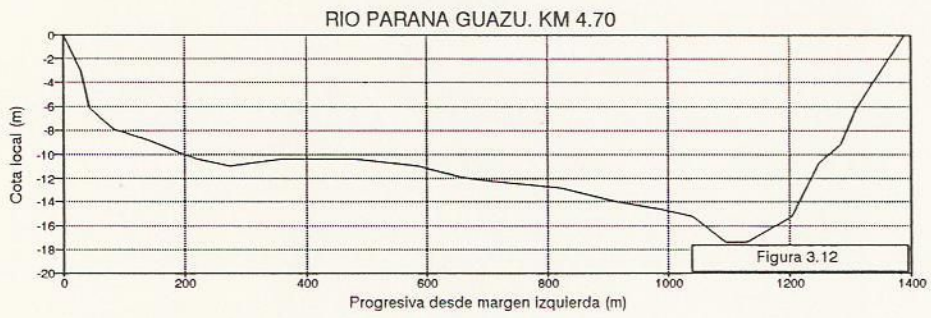


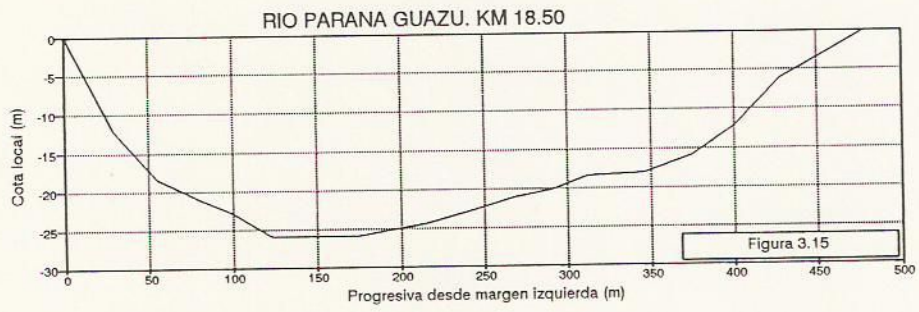
Figura 3.2

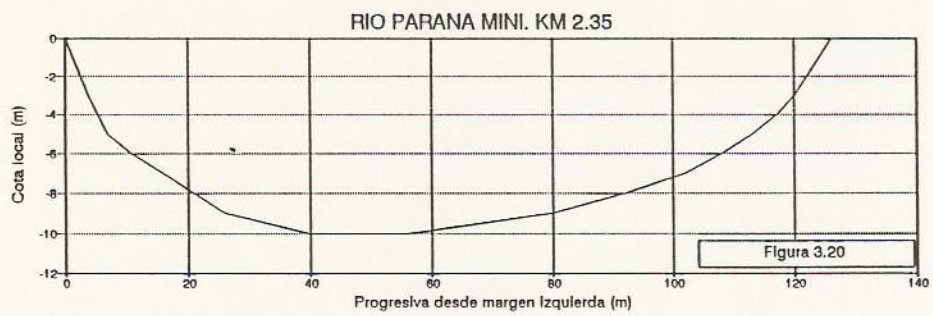
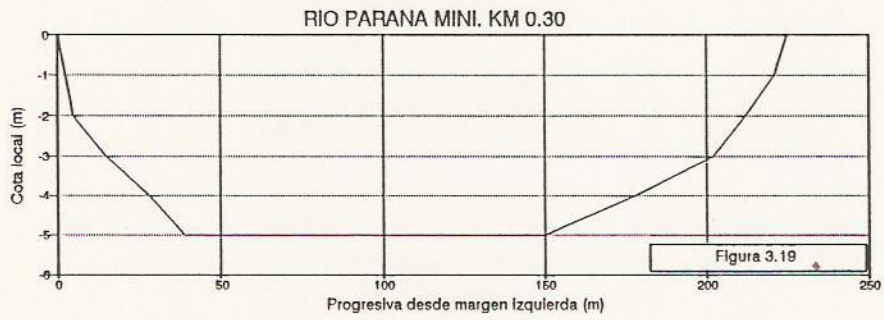
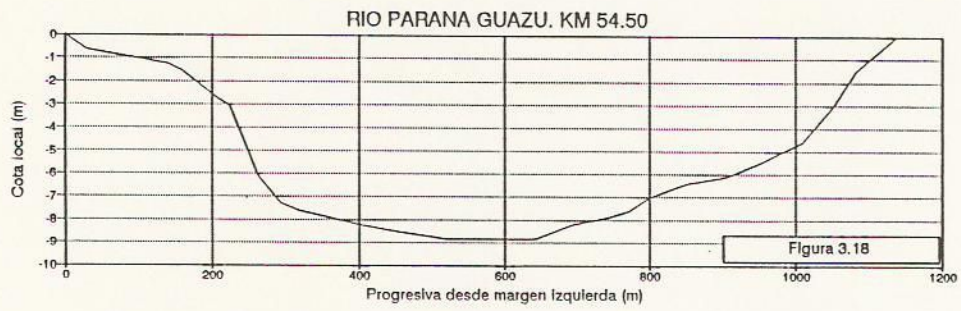


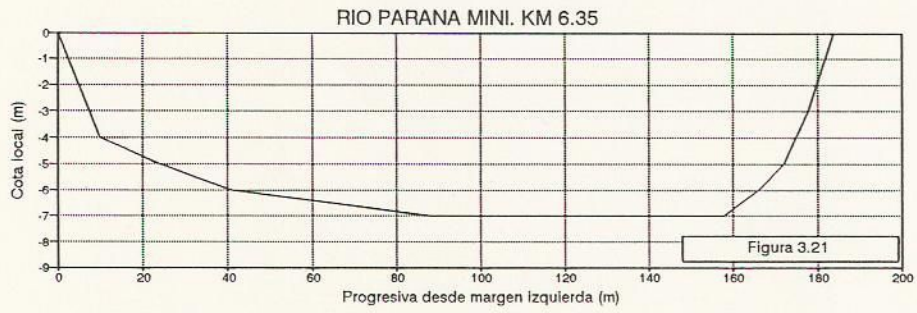


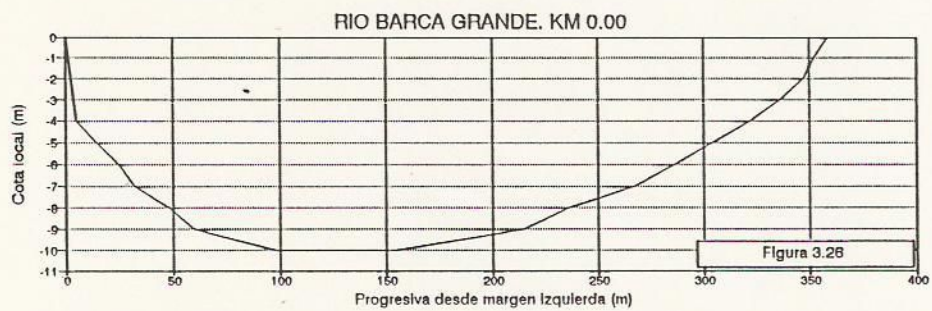
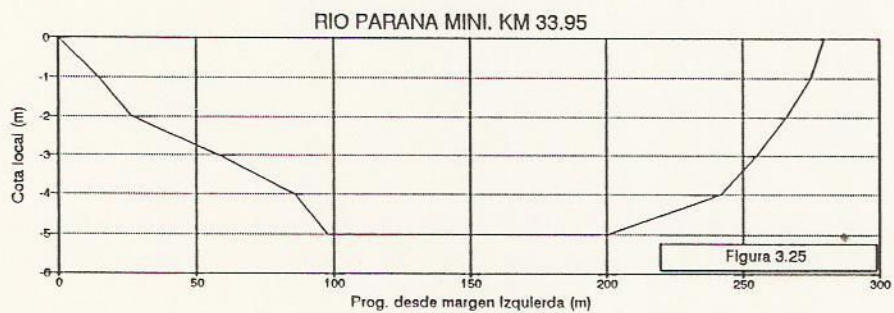
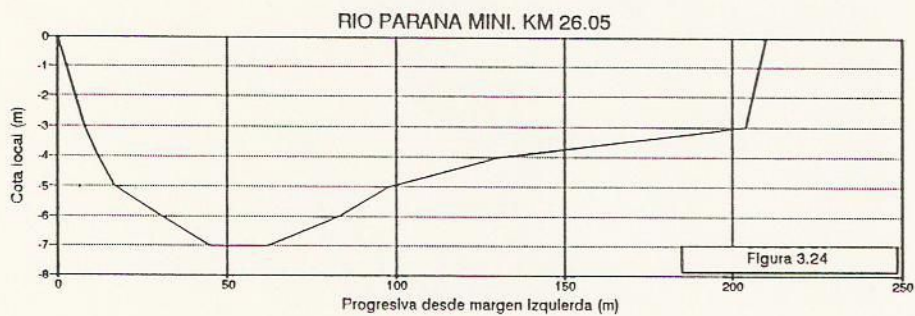


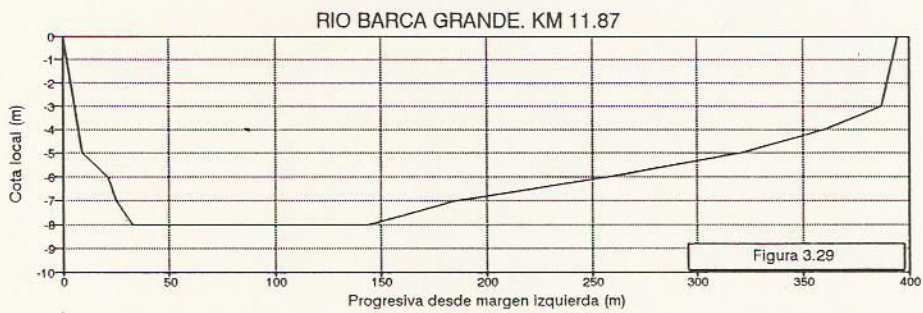
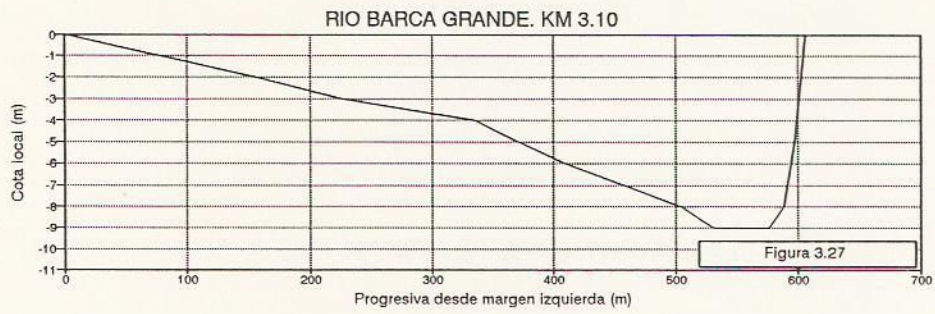


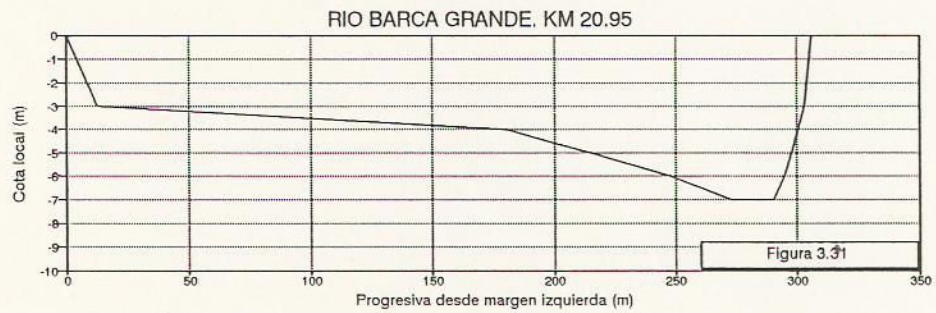
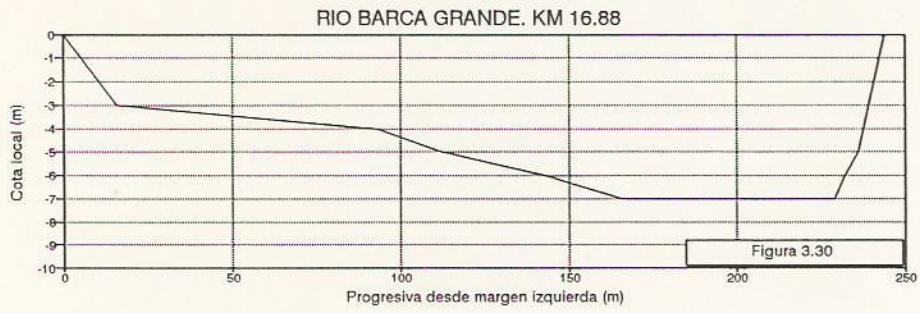


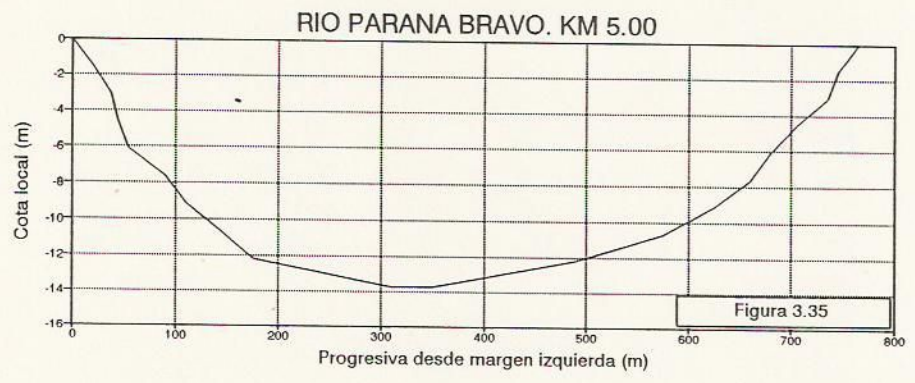
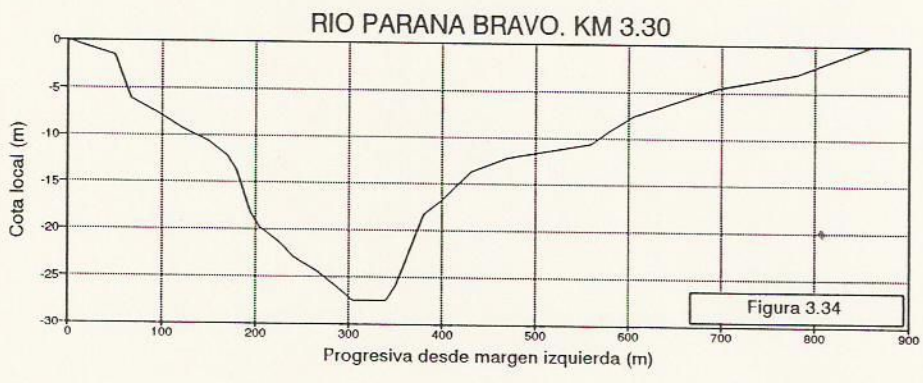
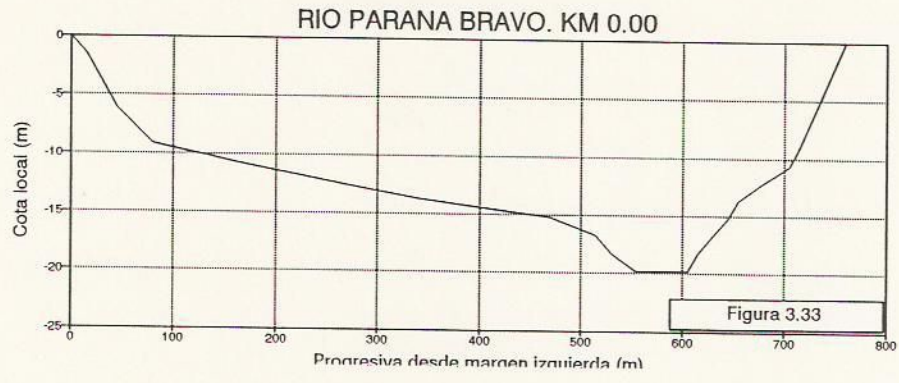


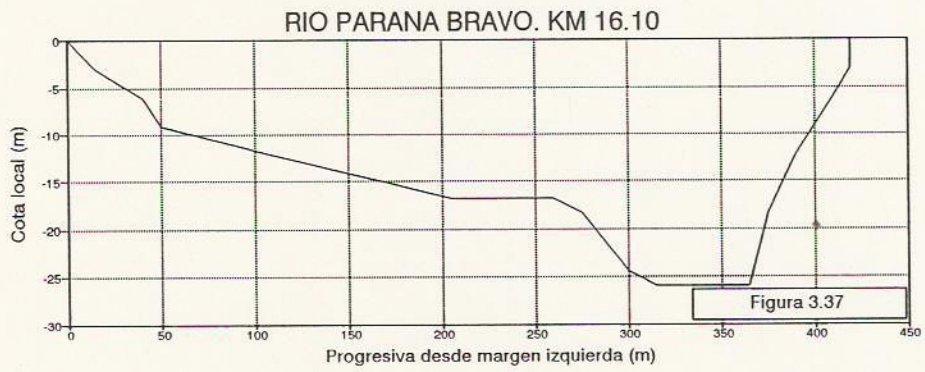
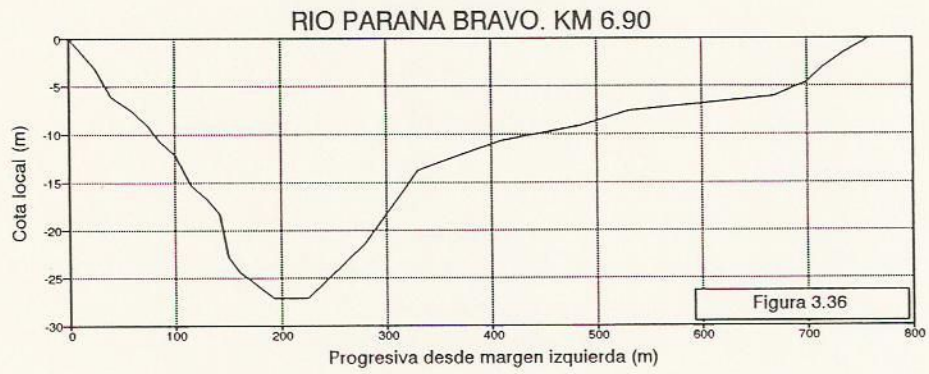


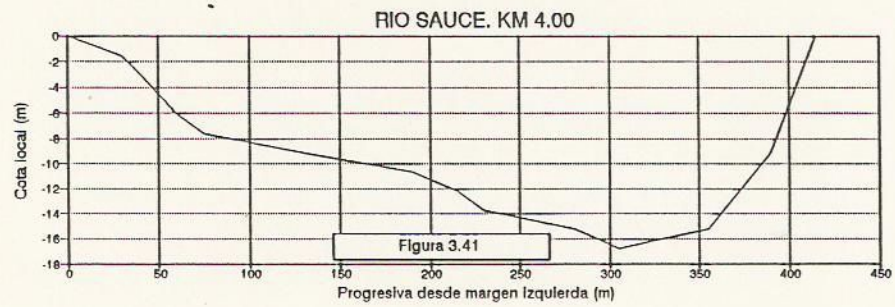
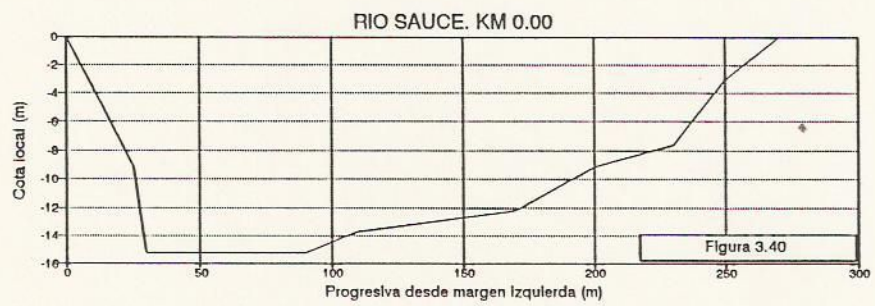
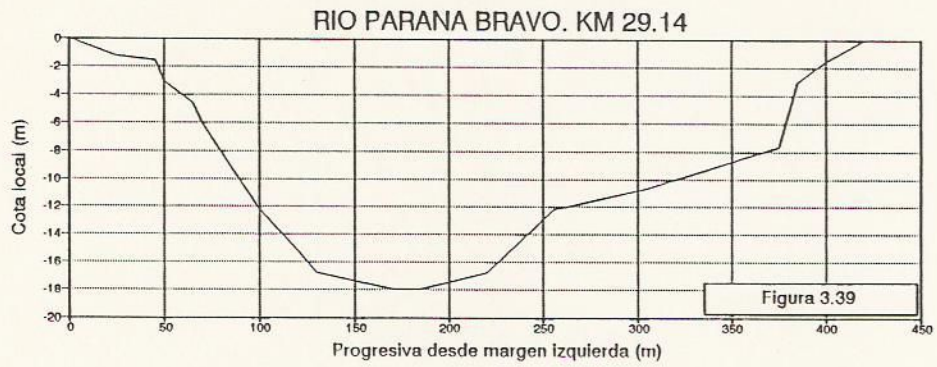


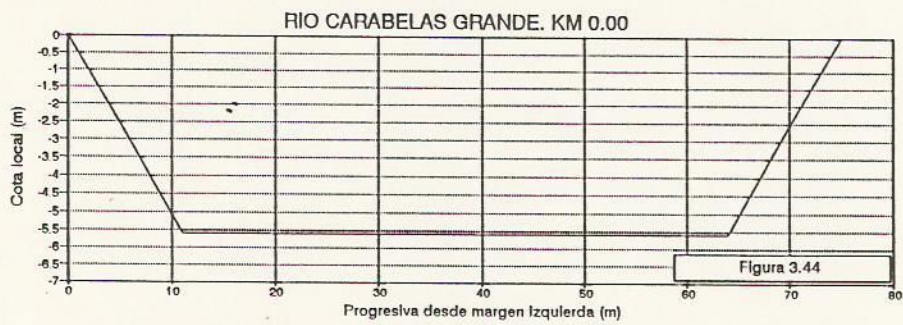
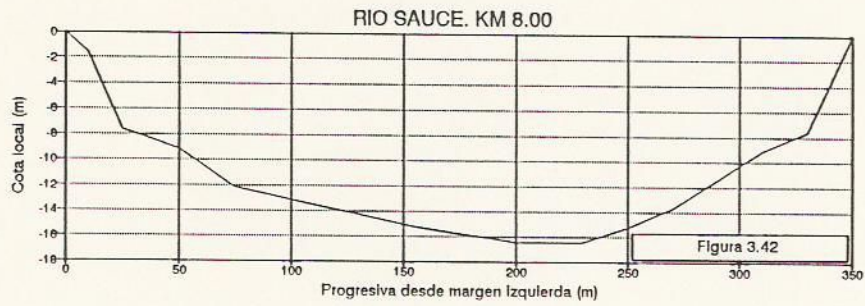


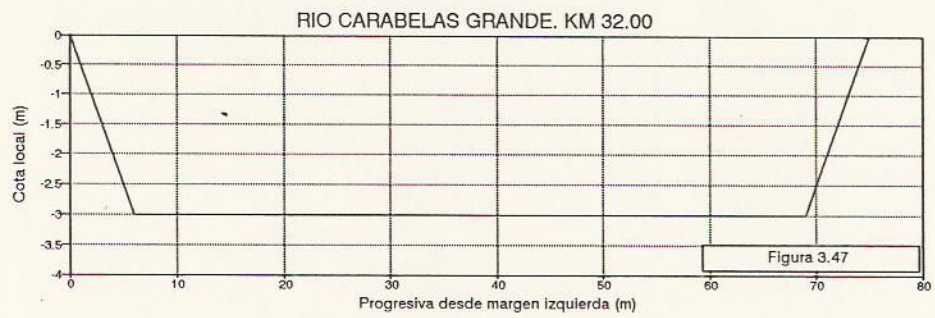
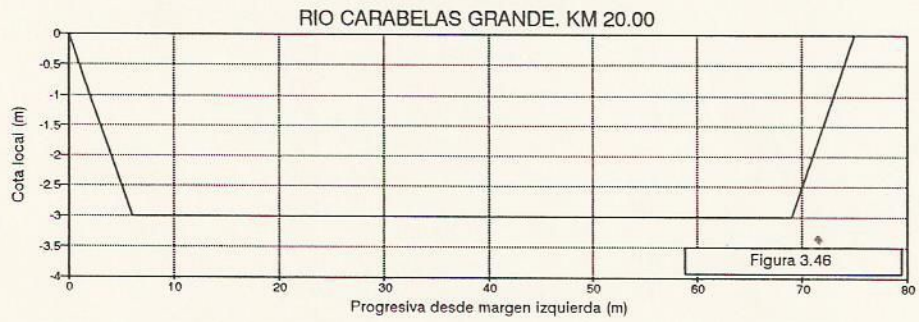
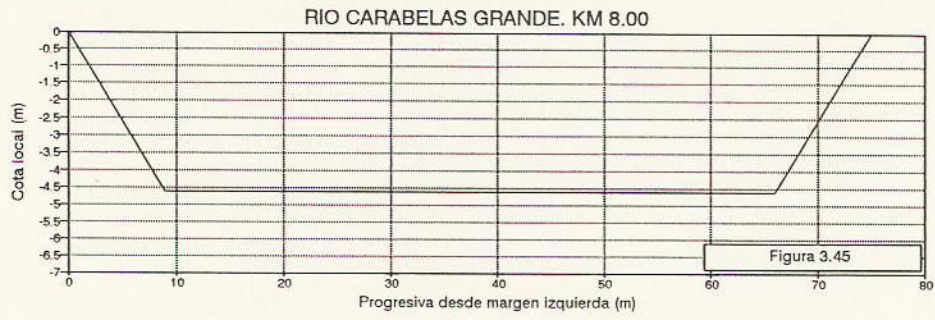


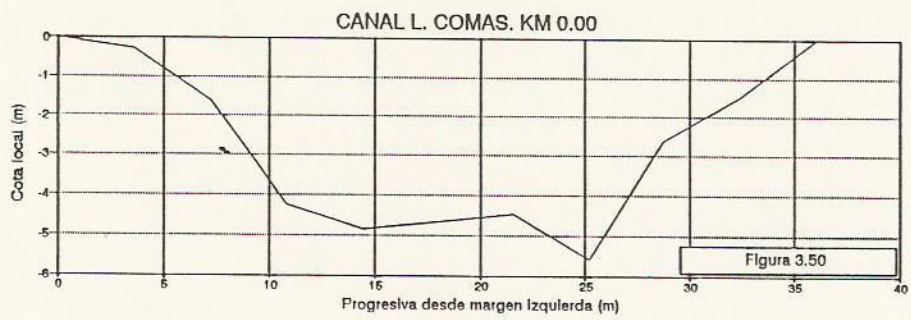
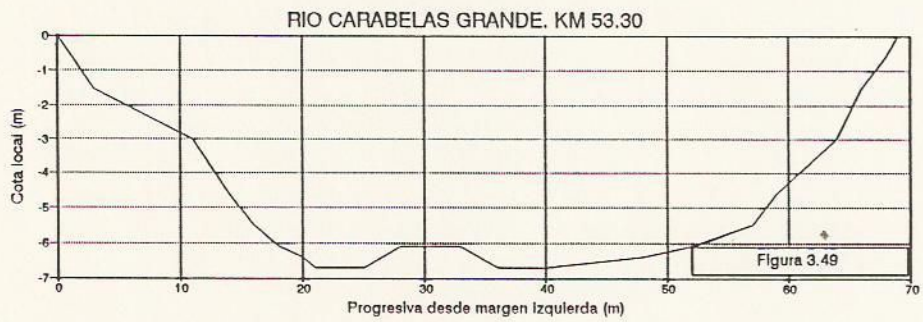
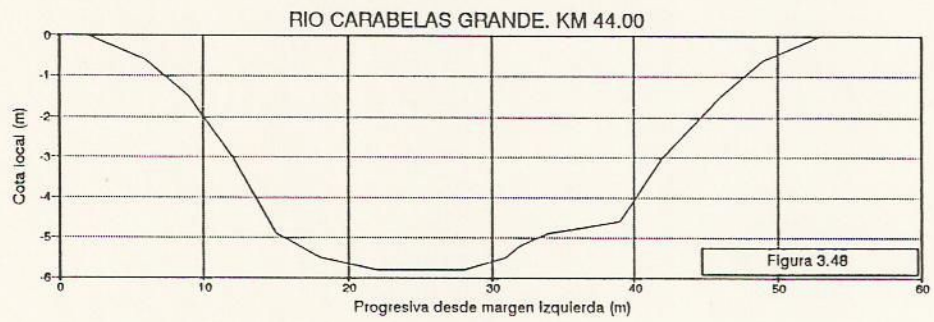


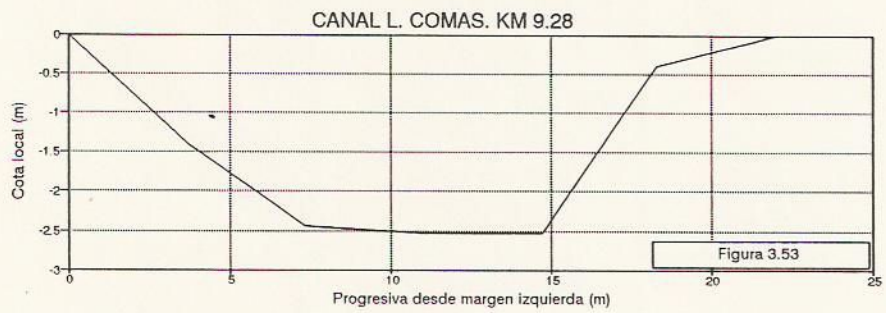
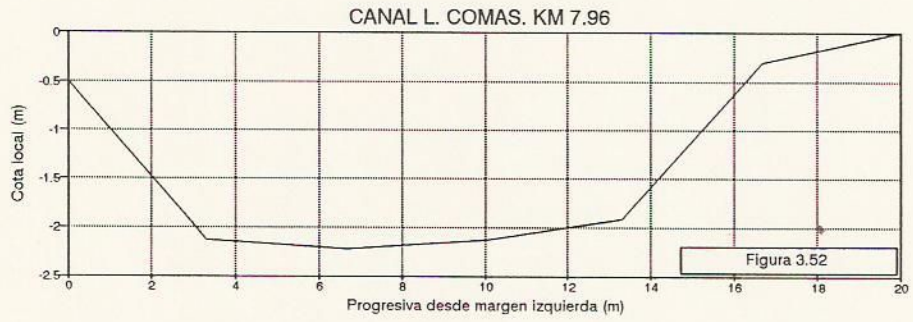
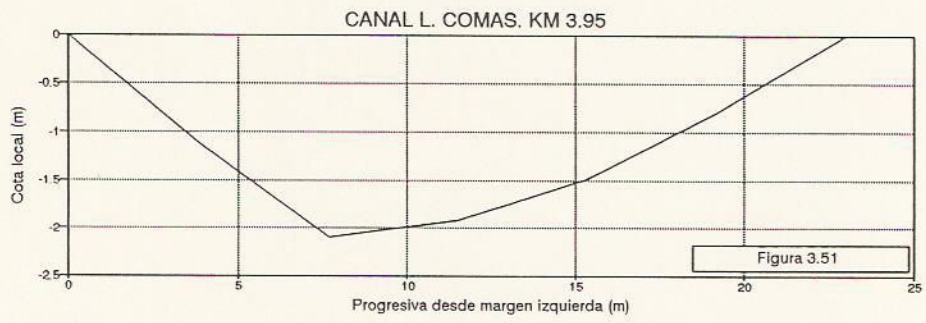


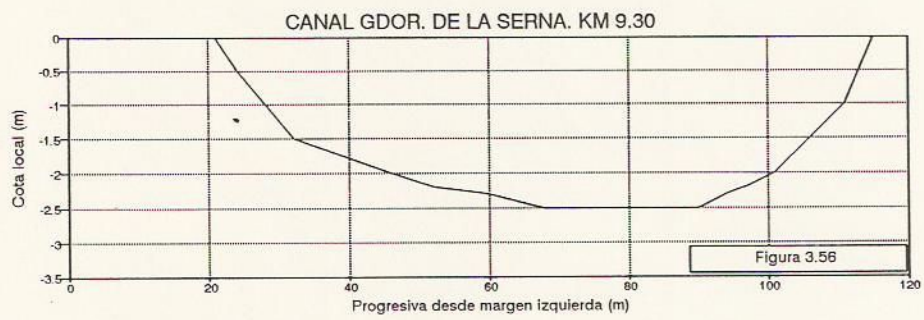
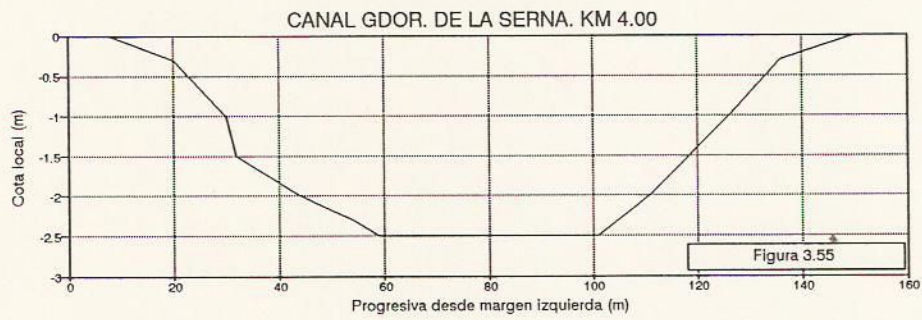
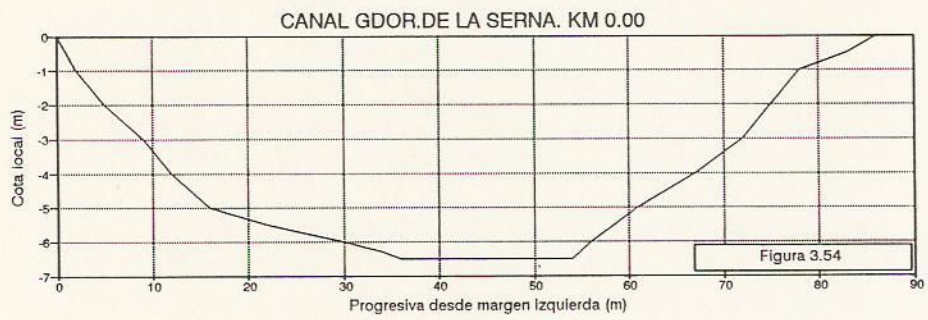


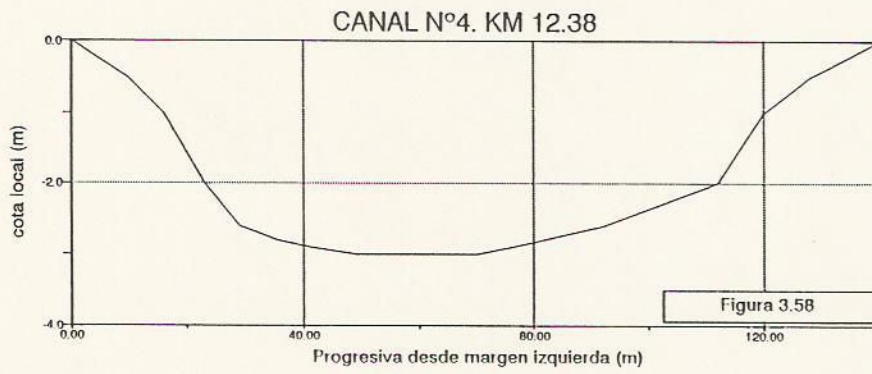
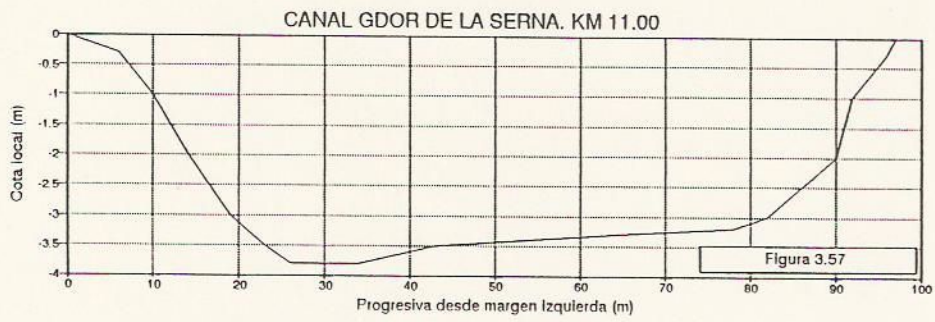


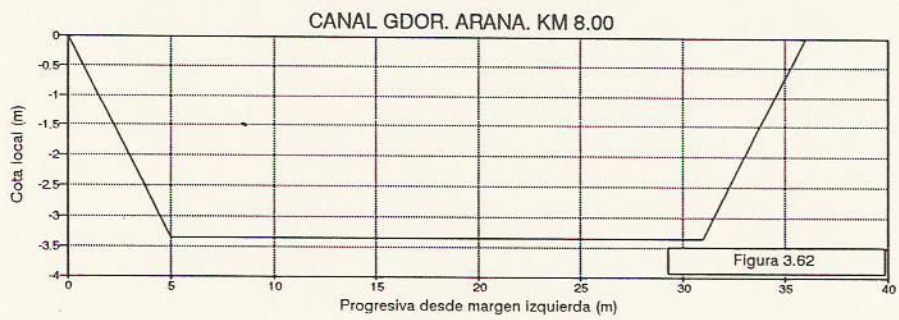


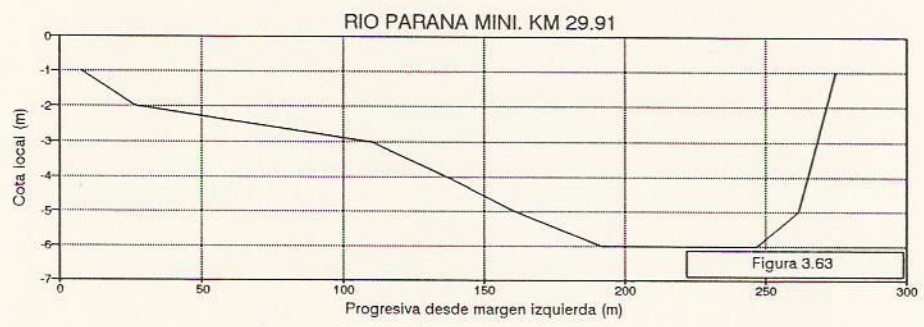












PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CURSOS DEL DELTA DEL RIO PARANA

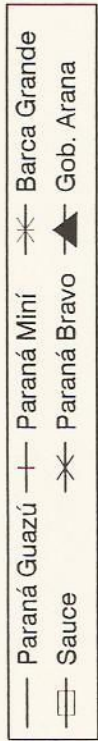
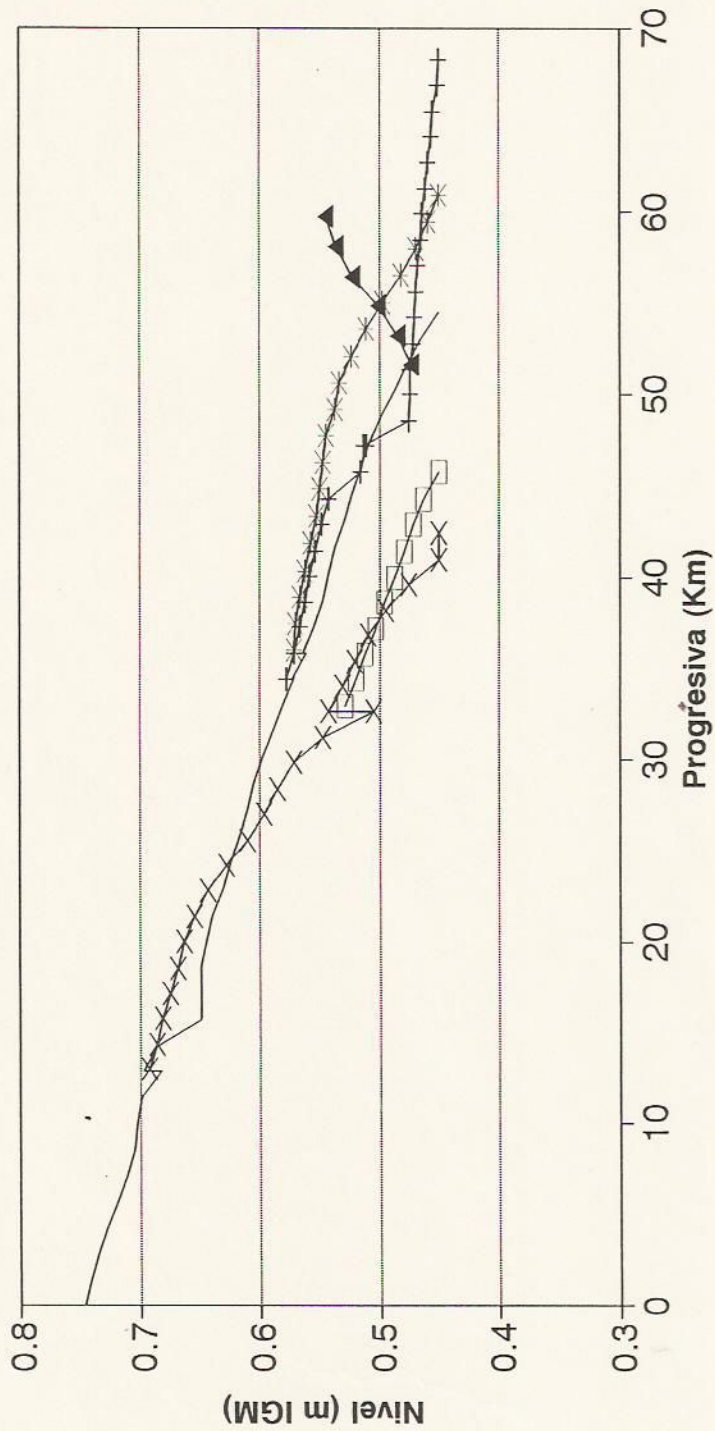
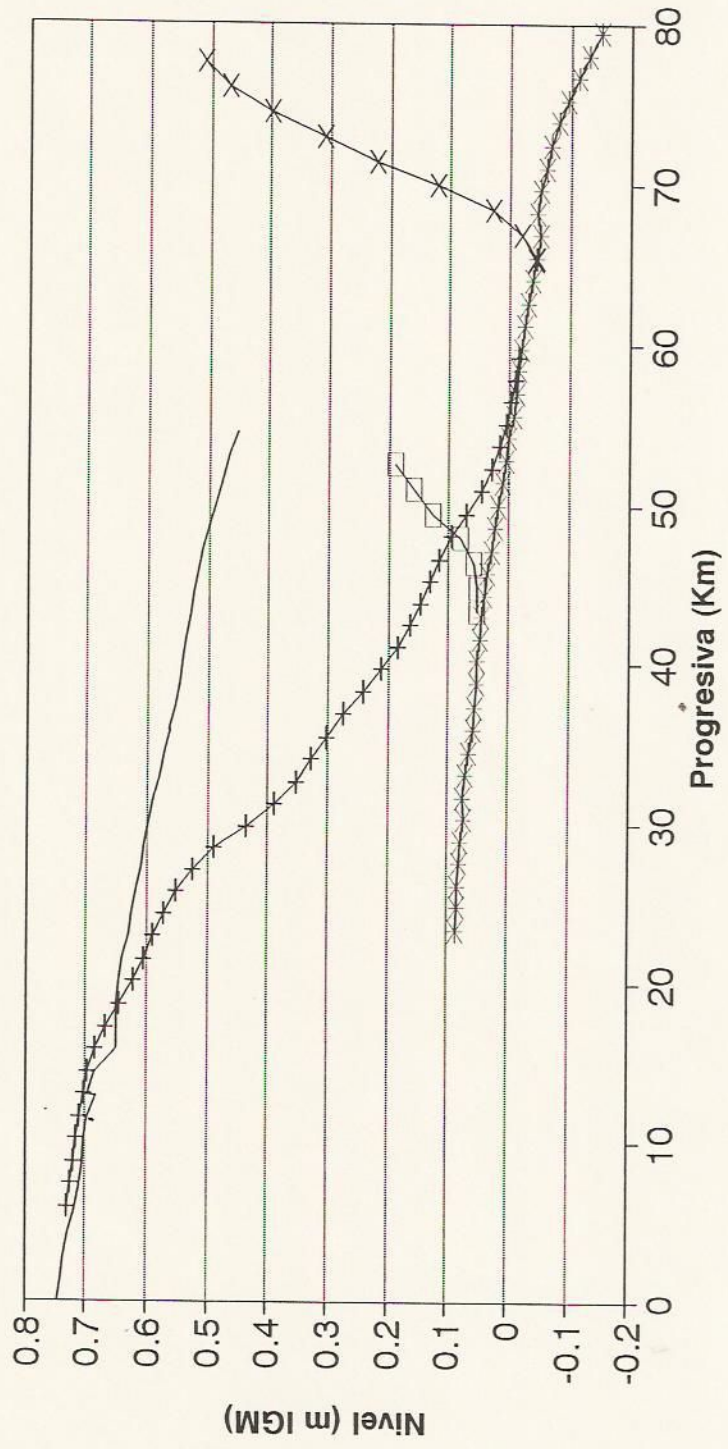


Figura 3.64a)

PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CURSOS DEL DELTA DEL RIO PARANA



— Paraná Guazú + Carab. Gde. x P. Palmas
 □ C. Comas — Serna-Nº 4

Figura 3.64b)

TABLAS

Reparticion de caudales

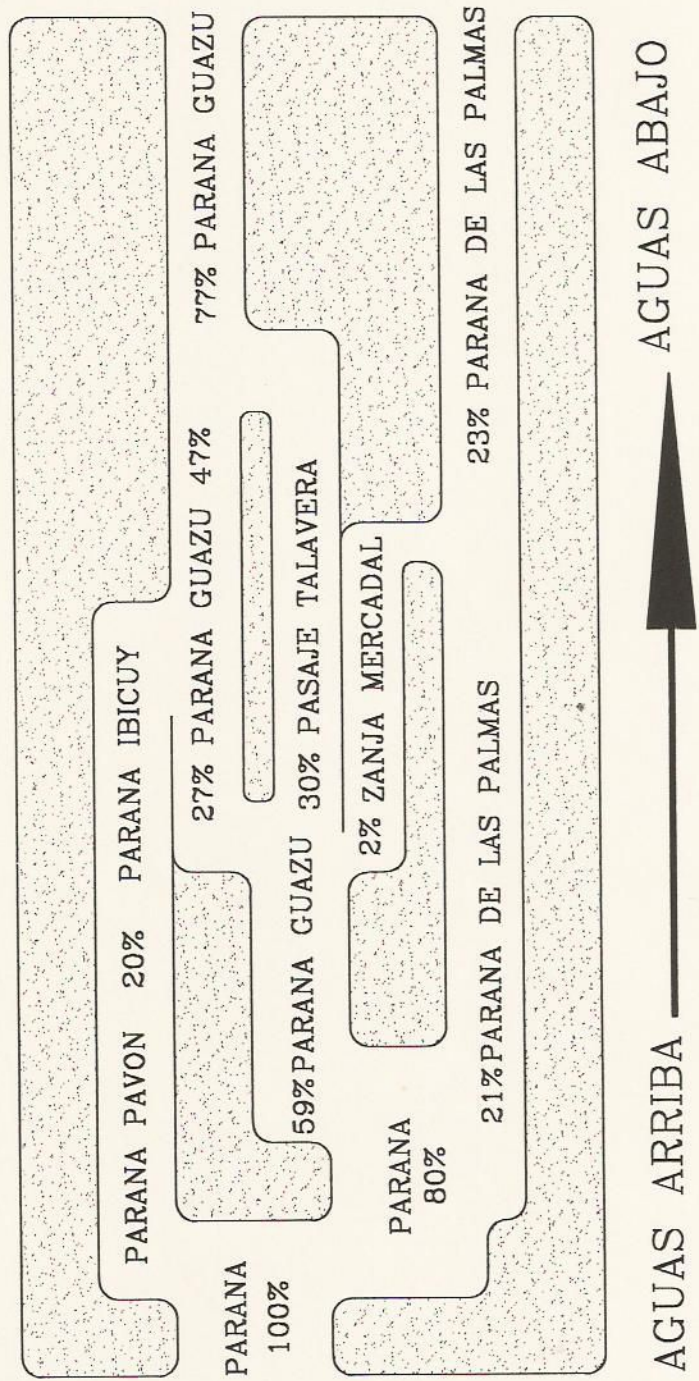


Tabla 1.1

TABLA 1.2: REPARTICION DE CAUDALES ENTRE LOS RIOS PARANA DE LAS PALMAS Y PARANA GUAZU

Fecha	Río Paraná Guazú		Río Paraná de las Palmas		Fuente
	Caudal (m ³ /s)	Porcentaje	Caudal (m ³ /s)	Porcentaje	
marzo 1920	11865	67	5732	33	DNCyVN
julio 1965	18200	76	5700	24	MOP, Div. Est.
enero 1983	19000	76	6100	24	INCYTH
julio 1992	29268	81	6887	19	INCYTH
abril 1983	30847	80	7791	20	INCYTH

**TABLA 1.3: Recurrencia de niveles máximos anuales
en Buenos Aires**

Recurrencia (años)	Cota MOP (m)	Cota IGM (m)
10.00	3.60	3.05
20.00	3.86	3.31
50.00	4.20	3.64
100.00	4.45	3.90
200.00	4.71	4.15
500.00	5.04	4.48

Tabla 1.4
Listado de cartas topográficas del IGM existentes en el INCYTH (LHA)

Carta topográfica	Años de levantamiento
Aldea Asunción (Entre Ríos)	1963
Aldea valle María (Entre Ríos-Santa Fé)	1910/19/20/62
Altamirano (Entre Ríos)	1934
Arroyo Barrancoso (Entre Ríos)	1963
Arroyo El Tala (Entre Ríos)	1928/29/36
Arroyo Martillo (Entre Ríos)	1963
Arroyo Martinez (Entre Ríos)	1970
Boca Río Gualeguay (Entre Ríos)	1970
Boca Río Victoria (Entre Ríos)	1964
Bovril (Entre Ríos)	1943
Brazo Largo (Buenos Aires-Entre Ríos)	1970
Buenos Aires-Distrito Federal (Bs. As.-Entre Ríos)	1960
Caleta Olivia (Santa Cruz)	1966
Campana (Buenos Aires)	1978
Campana Sur (Buenos Aires)	1978
Campo de Mayo (Buenos Aires)	1906/7/8/9/10/12/13/39/45
Caseros (Entre Ríos)	1928/29/30
Ceibas (Entre Ríos)	1970
Ceibas (Entre Ríos)	1969/70
Ciudad de Buenos Aires.Distrito Federal (Bs. As.)	1909/10/45
Colón (Entre Ríos)	1928
Colón (Entre Ríos)	1928/29/30
Colonia Elía (Entre Ríos)	1928/30
Colonia El Potrero (Entre Ríos)	1971
Colonia Las Hermanas (Entre Ríos)	1928
Concepción del Uruguay (Entre Ríos)	1928/29
Concepción del Uruguay (Entre Ríos)	1928/29/30
Concepción del Uruguay (Entre Ríos)	1952/53
Concordia (Entre Ríos-Corrientes)	1951
Corte Careaga (Entre Ríos-Santa Fé)	1923/64
Cuatro Manos (Entre Ríos)	1969
Cupalén (Entre Ríos)	1928/30
Diamante (Entre Ríos-Santa Fé)	1918/19/82
Diamante (Entre Ríos-Santa Fé)	1918/19/23/26
Diamante Sur (Entre Ríos-Santa Fé)	1918/19/26/49
Dos cerros (Entre Ríos)	1969/70
El Sauce (Entre Ríos)	1933/34
Embarcadero Berisso (Entre Ríos)	1969
Embarcadero km 261 (Entre Ríos)	1970
Establecimiento isla Don Antonio (Entre Ríos)	1964
Estancia El Potrero (Entre Ríos)	1928/30
Estancia El Retiro (Entre Ríos)	1969

Fábrica Liebig (Entre Ríos)	1928
Galarza (Entre Ríos)	1933/36/37
General Racedo (Entre Ríos)	1921/22/23/24/25/43
Gobernador Castro (Entre Ríos)	1962/72
Gualeguay (Entre Ríos)	1969
Gualeguaychú (Entre Ríos)	1969
Ibicuy (Entre Ríos)	1969
Ibicuy (Buenos Aires-Entre Ríos)	1963/69/70/72
Isla Cambacué (Entre Ríos)	1928
Isla de la Paloma (Entre Ríos)	1971
Isla del paraguayo (Entre Ríos-Santa Fé)	1927/64
Isla Martín García	1915
Laguna el salto (Entre Ríos-Santa Fé)	1963
Larroque (Entre Ríos)	1969
Larroque Oeste (Entre Ríos)	1969
La Tapa de la Caldera (Entre Ríos)	1972
Mazaruca (Entre Ríos-Buenos Aires)	1970
Médanos (Entre Ríos-Buenos Aires)	1970
Paraná (Entre Ríos-Santa Fé)	1920/23/24/26
Paraná (Entre Ríos-Santa Fé)	1920/23/25/52
Pasaje La Tacuara (Entre Ríos)	1963/64
Planta General Savio (Buenos Aires-Entre Ríos)	1936/58/64
Posta de San Martín (Santa Fé-Entre Ríos)	1920/22/26/27/28/36/37
Puerto Baradero (Buenos Aires-Entre Ríos)	1970
Puerto Ruiz (Entre Ríos)	1969
Puerto Unzué (Entre Ríos)	1930
Punta caballos (Entre Ríos)	1969
Punta del Monte (Entre Ríos)	1964/59/70
Punta del Monte (Entre Ríos)	1969
Rincón del Doll (Entre Ríos)	1963
Rincón de Nogoyá (Entre Ríos)	1958/59/70
Rincón de Nogoyá Sur (Entre Ríos)	1970
Río Alféres Nestor Page (Entre Ríos-Buenos Aires)	1970
Rosario (Santa Fé-Entre Ríos)	1919/20/21/22/23
Rosario Tala (Entre Ríos)	1934
Rosario Tala Sur (Entre Ríos)	1933/34
San Nicolás de los arroyos (Bs. As.-Sta. Fé-E. Ríos)	1927/37
San Nicolás de los arroyos (Bs. As.-Sta. Fé-E. Ríos)	1937/64
Santa Fé (Entre Ríos)	1963
Talitas (Entre Ríos)	1933
Tres Bocas (Entre Ríos)	1964
Urdinarráin (Entre Ríos)	1928/29/30/33
Victoria (Entre Ríos)	1963
Villa Constitución (Bs. As.-Sta. Fé-E. Ríos)	1927/37
Villaguay (Entre Ríos)	1934
Villaguay (Entre Ríos)	1934/35/43
Villa Paranacito (isla del Ibicuy) (Entre Ríos)	1970
Zárate (Buenos Aires)	1961/72

Curso	Lámina	Comienzo (km)	Final (km)	Escala	Fecha de relevamiento
Río Paraná de las Palmas	1	48.80	56.20	1:5000	1993
	2	56.40	63.80	1:5000	1993
	3	63.40	70.80	1:5000	1993
	4	70.40	78.00	1:5000	1993
	5	78.00	85.40	1:5000	1993
	6	84.20	93.00	1:5000	1993
	7	92.60	102.20	1:5000	1993
	8	101.80	109.80	1:5000	1993
	9	109.40	118.20	1:5000	1993
	10	117.20	125.40	1:5000	1993
	11	125.20	134.80	1:5000	1993
	12	134.60	143.80	1:5000	1993
	13	143.60	152.20	1:5000	1993
	14	152.00	161.20	1:5000	1993
	15	161.20	168.20	1:5000	1993
	16	168.00	175.20	1:5000	1993
	17	174.20	177.30	1:5000	1993
Río Paraná de las Palmas	1	52.00	62.10	1:5000	1976
	2	61.00	76.40	1:5000	1980
	3	62.00	68.00	1:5000	1976
	4	68.00	76.00	1:5000	1976
	5	75.00	85.00	1:5000	1976
	6	84.00	97.00	1:5000	1974
	7	117.00	122.00	1:5000	1974
	8	121.00	129.00	1:5000	1985
	9	129.00	140.00	1:5000	1974
	10	140.00	147.40	1:5000	1974
	11	147.40	157.50	1:5000	1974
	12	157.50	167.50	1:5000	1974
	13	167.50	177.50	1:5000	1974
Río Paraná Guazú	1	122.50	140.00	1:10000	1937
	2	143.00	161.00	1:10000	1958
	3	161.00	185.00	1:10000	1958
	4	179.00	203.00	1:10000	1958
	5	215.00	217.00	1:5000	1991
	6	211.00	217.70	1:5000	1964
	7	215.00	232.00	1:5000	
Río Paraná Bravo	1			1:10000	1939
Pasaje Talavera	1	183.00	190.00	1:5000	1981
	2	190.00	196.00	1:5000	1981
	3	196.00	203.00	1:5000	1981
	4	203.00	211.00	1:5000	1981
	5	211.00	218.00	1:5000	1981
Zanja Mercadal	1			1:2000	1976
Canal M. Irigoyen	1	P. Palmas	8.00	1:2000	1954
	2	8.00	16.00	1:2000	1954
	3	16.00	Pasaje Talavera	1:2000	1954
Canal Gdor. Serna	1			1:2000	1985
Canal N°4	1	A° Paycarabí	12.35	1:2000	1986
Río Paraná Miní	1	52.00	60.00	1:5000	1983
	2	59.60	71.00	1:5000	1983
	3	71.00	77.00	1:5000	1983
	4	76.70	85.00	1:5000	1983
Río Barca Grande	1	60.00	68.00	1:5000	1982
	2	68.00	76.40	1:5000	1982
	3	76.40	85.00	1:5000	1982
Canal Gdor. Araña	1			1:10000	1970
Canal N°6 (Comas)	1			1:2000	1961
Río Carabelas Grande	1	P. Palmas	canal A. Seoane	1:2000	1959
	2	P. Palmas	P. Guazú	1:100000	1932
Río Paraná	1	544.00	561.50	1:5000	1976
	2	555.00	562.00	1:5000	1964
	3	555.50	568.00	1:5000	1974
	4	556.00	580.00	1:5000	1971
	5	565.00	568.50	1:5000	1969
A° Boca Falsa y A° La Barquita	1	Confluencias	Desembocadura	1:5000	1982
A° La Barquita	1	Río Barca Grande	A° Boca Falsa	1:5000	1982
Puerto Ibicuy	1			1:1000	
Canal Honda	1	41.50	42.30	1:2000	1977
Pozos del Barca Grande	1			1:20000	1987
Río Urión	1	A° Malvinas	Canal vinculación	1:2000	1975
	2	can. este-Honda	A° Malvinas	1:2000	1975
Canal de vinculación	1			1:2000	1985

Tabla 1.4 continuación

TABLA 3.1: Características de los filamentos de la red del Delta del río Paraná

Filamento N°	Curso	Longitud (Km)	Cant. de secciones relevadas	Filamento de inicio	Progresiva de inicio	Filamento de finalizac.	Progresiva de finalizac.	Condición de borde aguas arriba	Condición de borde aguas abajo
1	Paraná de las Palmas	56.20	16	-----	-----	-----	-----	Q	H
2	Paraná Guazú	54.50	20	-----	-----	-----	-----	Q	H
3	Paraná Mini	33.95	11	2	34.40	-----	-----	-----	H
4	Barca Grande	24.89	10	2	36.00	-----	-----	-----	H
5	Paraná Bravo	29.40	14	2	13.00	-----	-----	-----	H
6	Sauce	12.80	4	5	19.90	-----	-----	-----	H
7	Carabelas Grande	53.30	16	2	6.00	1	36.00	-----	-----
8	Canal Comas	9.28	5	1	20.00	7	35.50	-----	-----
9	de la Serna N° 4	12.38	8	1	42.00	3	13.15	-----	-----
10	Gob. Arana	8.00	4	3	17.25	4	11.89	-----	-----

DIVISION RELEVAMIENTO Y SEÑALIZACION
RED HIDROMETRICA ZONAS NORTE, DELTA Y RIO DE LA PLATA

Nº DE R.D.E.N.	UBICACION			NIVELACION REFERIDA AL CERO DE LA N.G. DE LA S. E. O. P.				CERO HIDROGRAFICO (CERO LOCAL)			UNIDAD DE GRADUACION	TIP DE HIDROM.					
	CURSO DE AGUA	Km.	LUGAR	CERO DEL HIDROMETRO	FECHA	MOJONES DE REFERENCIA			EN LECTURA	COTA REFERIDA A N. G.			OBTENIDA POR:				
						MOJON	COTA m.	CATALOGO O PLANILLAS									
1	PUERTO NUEVO Y ANTEPUERTO NORTE		Dársena F - Muelle Flota Fluvial	0,014	11-3-1959	Bul. Dna. F	4,101	Est. Hidrog. 54	0,025	0,039	Calc.	2 cm.	Perfora. Enlocad. Perfora.				
2			Dársena F - Muelle Subprefectura	-0,003	22-4-1965	Bul. Dna. F	4,101	Est. Hidrog. 54	0,042	0,039							
3			Dársena E -	0,001	20-4-1965	Bul. Dna. E	4,646	Est. Hidrog. 54	0,038	0,039							
4			Dársena D -	-0,008	20-4-1965	Rn. 901	3,753	Est. Hidrog. 54	0,047	0,039							
5			Dársena C -	-0,010	20-4-1965	Bul. Dna. C	4,690	Est. Hidrog. 54	0,049	0,039							
6			Dársena B -	0,007	20-4-1965	Rn. 799	3,748	Est. Hidrog. 54	0,032	0,039							
7			Dársena A -	-0,001	20-4-1965	Rn. 798	3,727	Est. Hidrog. 54	0,040	0,039							
8			Relevo Yacht Club														
78	CANAL DEL ESTE	17,800	Canal del Este-Urion - Mareógrafo	0,450	18-8-1971	Rp. 1802	2,304	Est. Hidrog. 52	-0,129	0,321	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
79	RIO CAPITAN	54,600	Río Capitán-Paraná de las Palmas - Pilote	0,380	5-11-1959	Rp. 1925	2,014	Est. Hidrog. 52	0,000	0,380	Calc.	20 cm.	Enloz. Dentis.				
80		54,600	Río Capitán-Paraná de las Palmas - Pilote	0,380	1-10-1969	Rp. 1925	2,014	Est. Hidrog. 52	0,000	0,380							
81	RIO PARANA DE LAS PALMAS	53,900	Y Río Capitán - Mareógrafo	0,656	2-9-1971	T.n. 1	2,690	Est. Hidrog. 52	-0,276	0,380	Calc.	2 cm.	Enloz. Dentis.				
82		62,100	Y Canal Gobernador La Serna - Pilote	0,467	23-5-1972	Rp. 3069	2,732	Est. Hidrog. 53	0,012	0,479							
83		62,100	Y Canal Gobernador La Serna - Pilote	0,479	22-7-1960	Rp. 3069	2,732	Est. Hidrog. 53	0,000	0,479							
84		76,300	Y Arroyo Las Rosas - Mareógrafo	0,372	28-9-1971	Rp. 1923	2,733	Est. Hidrog. 52	0,215	0,587							
85		84,200	Vuelta del Tordillo - M. Agricultura Mac.	0,590	19-5-1959	Rn. 1507	2,668	Año 1953	0,052	0,642							
86		95,700	Campana - Muelle Fiscal (Nº 1 bajo muella)	0,890	25-4-1956	Rn. 792	5,110	Est. Hidrog. 53	-0,166	0,724							
87		95,700	Campana - Muelle Fiscal (Nº 2 sobre muella)	0,909	3-10-1963	Rn. 792	5,110	Est. Hidrog. 53	-0,185	0,724							
88		105,700	Zárate - Atracadero Ferrocarril	0,299	10-10-1960	Rp. 474	3,099	Est. Hidrog. 55	0,489	0,788							
89		106,700	Zárate - Mareógrafo	0,878	21-3-1973	Rn. 305	5,464	Est. Hidrog. 55	-0,083	0,795							
90		107,000	Zárate - Atracadero de Balsas	0,944	7-6-1971	Rn. 305	5,464	Est. Hidrog. 55	-0,144	0,800							
91		122,600	Muelle Heinonen	1,075	11-5-1971	Rp. 3414	4,983	Est. Hidrog. 55	0,006	1,081							
92		140,000	Y Río Baradero - Mareógrafo	1,698	24-9-1971	Moj. Coment.	6,107	Div. Relevam.	-0,306	1,392							
93		157,000	500m. aguas abajo de Zanja Mercadal	1,639	3-9-1975	Moj. 20	4,151		-0,002	1,637							
94		157,500	Y Zanja Mercadal - Pilote	1,639	14-5-1970	Moj. 20	4,151		-0,002	1,637							
95		RIO PARANA	131,800	Guazú Desembocadura - Mareógrafo	0,883	18-9-1968	Rp. 1784	2,411		0,112				0,995	Calc.	2 cm.	Enlozad.
96			124,700	Y Arroyo Guazucito - Muelle Subprefectura	1,003	18-9-1968	Rp. 1773	2,509	Catálogo Nº 85	-0,008				0,995			
97	144,700		Y Río Paraná Mini - Ex-Mareógrafo	0,629	20-11-1960	Moj. HOP.	1,761	Est. Hid. 1953/59	0,016	0,695							
98	165,400		Y Arroyo Carabelitas-Muelle Subprefectura	0,500	24-7-1971	Moj. 65	2,711		0,244	0,744							
99	165,700		Y Arroyo Carabelitas - Mareógrafo	0,752	13-5-1972	Moj. 65	2,711		-0,303	0,744							
100	172,000		Isla El Dorado - Pilote	0,753	21-1-1960				0,058	0,808							
101	182,000		Y Arroyo Brazo Largo - Pilote	1,280	12-6-1957				-0,133	0,947							
102	183,000		Y Arroyo Brazo Largo - Mareógrafo	1,275	11-9-1975	Moj. HOP.	2,365	Est. Hidrog. 55	-0,329	0,947							
103	197,000		Puerto Costanza - Atracadero de Balsas	1,177	25-8-1952				0,216	1,171							
104	220,100		Isla Vizcaino - Ex-Mareógrafo	1,531	8-12-1952	Rp. 1817	3,522	Catálogo Nº 85	0,063	1,531							
105	172,000		Isla El Dorado - Pilote	0,753	21-1-1960				0,058	0,808							
106	182,000		Y Arroyo Brazo Largo - Pilote	1,280	12-6-1957				-0,133	0,947							
107	183,000		Y Arroyo Brazo Largo - Mareógrafo	1,275	11-9-1975	Moj. HOP.	2,365	Est. Hidrog. 55	-0,329	0,947							
108	197,000		Puerto Costanza - Atracadero de Balsas	1,177	25-8-1952				0,216	1,171							
109	220,100		Isla Vizcaino - Ex-Mareógrafo	1,531	8-12-1952	Rp. 1817	3,522	Catálogo Nº 85	0,063	1,531							
110	217,500		Isla Vizcaino - Ex-Mareógrafo Año 1919	0,924	18-7-1952	Rp. 1819	3,767	Catálogo Nº 85	0,432	1,594							
111	237,000	Las Palmas-Guazú - Mareógrafo	1,210	19-12-1971	Rp. 1815	3,696	Catálogo Nº 85	0,313	1,940								
112	231,000	Guazú-Las Palmas - Pilote	1,211	3-7-1968													
107	RIO PARANA BRAVO	142,000	Bravo Desembocadura - Mareógrafo	1,020	23-5-1972	Rp. 1776	2,339	Catálogo Nº 85	0,053	1,073	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
108		140,000	Bravo Desembocadura - Destacamento P.N.A.	1,020	23-9-1965				0,053	1,073							
109	RIO IBICUY	218,500	Puerto Ibicuy - Subprefectura	0,857	17-9-1975	Rp. 353	4,459	Catálogo Nº 15	0,714	1,571	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
110		218,700	Puerto Ibicuy - Atracadero Ferrocarril	0,960	17-9-1975	Rp. 353	4,459	Catálogo Nº 15	0,614	1,574							
111		219,000	Puerto Ibicuy - Mareógrafo	1,647	1-6-1972	Rp. 353	4,459	Catálogo Nº 15	-0,072	1,575							
112	CANAL L. N. ALEM	0,050	Club Pescadores Campana - 1ra. Sección	0,734	25-8-1960	Moj. N.G. 1	2,505	Est. Hidrog. 51	-0,010	0,724	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
113		20,300	Hidrometro Pilote - 2da. Sección	0,876	25-10-1960	Moj. 1942	3,196	Catálogo Nº 85	0,090	0,966							
114		15,480	Escuela Nº 18 - Muelle 1ra. Sección	1,045	18-10-1960	Moj. N.G. 4	2,969	Est. Hidrog. 51	0,030	1,075							
115		32,000	Alem-Guazú Hidrometro - 2da. Sección	0,756	15-9-1960	Rp. 1940	3,393	Catálogo Nº 85	0,340	1,096							
116	CANAL GOBERNADOR LA SERNA	11,300	Y Canal Nº 5 - Las cuatro bocas	0,222	27-1-1970	Rp. 3071	2,942		0,258	0,480	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
117		0,650	Recreo "La Navarra"	0,467	23-5-1972	Rp. 3069	2,732	Est. Hidrog. 53	0,013	0,480							
118	CANAL ARIAS	0,100	Muelle Sr. Ramella - A 100m. Frnt. Las Palmas	0,480	18-11-1959	Rp. 1920	2,280	Est. Hidrog. 53	-0,001	0,479	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
119		0,100	Boca Arroyo Los Nogales	-0,490	19-11-1959				0,969	0,479							
120	RIO PARANA MINI	78,250	1.200 mts. aguas arriba del Canal Nº 4	0,480	6-4-1972	Rn. 1996	2,756	Est. Hidrog. 53	0,000	0,480	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
121		66,000	Y Arroyo Chandá - Subprefectura	0,270	26-11-1973	Rp. 1995	3,072	Est. Hidrog. 41	0,000	0,270							
122		79,300	M.O.P. Provincia Buenos Aires - Muelle	-0,284	21-6-1956	Rn. 1996	2,756	Est. Hidrog. 53	0,769	0,485							
123		80,000	M.O.P. Provincia Buenos Aires - Mareógrafo	-0,278	21-6-1956	Rn. 1996	2,756	Est. Hidrog. 53	0,763	0,485							
124		80,000	M.O.P. Provincia Buenos Aires - Varadero	-0,300	17-9-1959				0,785	0,485							
125	0,450	450 mts. del Río Paraná Guazú	0,697	27-9-1968	Moj. HOP.	1,794		-0,002	0,695								
126	RIO BARCA GRANDE	60,500	Barca Grande - Desembocadura - Mareógrafo	0,733	30-5-1972	Rp. 1805	2,933	Catálogo Nº 85	0,108	0,841	Calc.	2 cm.	Enlozad.				
127		72,700	Y Arroyo Laguna Grande - Ex Mareógrafo	0,883	21-7-1960	Rp. 1931	2,953	Catálogo Nº 85	-0,018	0,865							
128	CANAL IRIGOYEN	15,500	Atracadero Balsas - Estancia Cognoni	1,130	19-1-1961	Moj. 13	2,923	Est. Hidrog. 53			Calc.	2 cm.	Enlozad.				
129	RIO SAUCE		Río Sauce - Desembocadura - Destacam. P.N.A.	1,020	23-9-1965												
130	RIO GUTIERREZ		Río Gutierrez y Canal Nuevo - Subprefectura														
131	CANAL No 4		Canal 4 y Paraná Mini - Pilote Km. 77,300	0,246	22-9-1953	Moj. 1	2,840	Est. Hidrog.									

**TABLA 3.3: Pendientes de las superficies libres
de los cursos del Delta del río Paraná**

Filamento N	Curso	Pendiente media (*e-6)
1	Paraná de las Palmas	3.87
2	Paraná Guazú	5.26
3	Paraná Miní	3.56
4	Barca Grande	4.63
5	Paraná Bravo	9.06
6	Sauce	6.17
7	Carabelas Grande	13.67
8	Canal Comas	14.65
9	de la Serna Nº 4	44.51
10	Gob. Arana	9.00