Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas

ESTUDIO DEL IMPACTO HIDRAULICO DEL PUENTE BUENOS AIRES-COLONIA

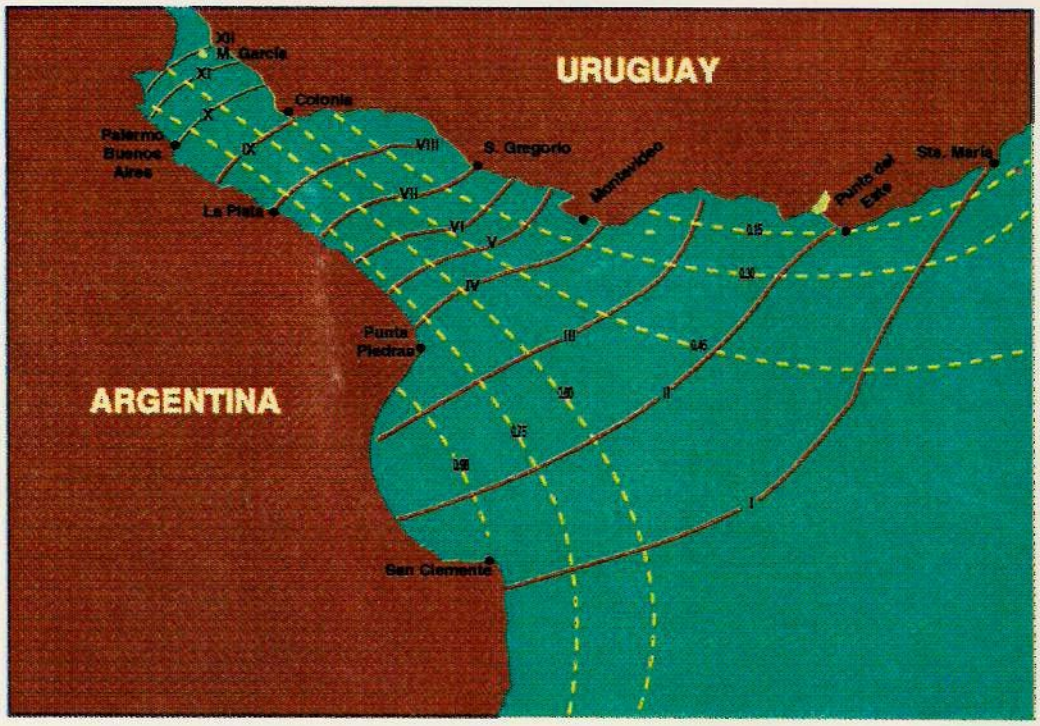
Informe Nº 1

Enero, 1995
Informe LHA-INCyTH 141-01-95

INCYTH
Laboratorio de Hidráulica Aplicada

ESTUDIO DEL IMPACTO HIDRAULICO DEL PUENTE BUENOS AIRES-COLONIA

Informe Nº 1



Enero, 1995
Informe LHA-INCyTH 141-01-95

Dr. ANGEL N. MENENDEZ
JEFE DTO. MODELOS MATEMATICOS

SECRETARIA DE
RECURSOS NATURALES
Y AMBIENTE HUMANO

INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIA Y TECNICA
HIDRICAS

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

ESTUDIO DEL IMPACTO HIDRAULICO DEL PUENTE BUENOS AIRES-COLONIA

Informe Nº 1

Informe LHA-INCYTH 141-01-95

Ezeiza, enero de 1995

SECRETARIA DE
RECURSOS NATURALES
Y AMBIENTE HUMANO

INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIA Y TECNICA
HIDRICAS

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

ESTUDIO DEL IMPACTO HIDRAULICO DEL PUENTE BUENOS AIRES-COLONIA

Informe Nº 1

RESUMEN

Se presenta información hidrosedimentológica sobre los ríos de la Plata, Paraná y Uruguay, la cual sirve de base para los estudios destinados a determinar la factibilidad del puente Buenos Aires-Colonia en alguna de las trazas proyectadas, y definir sus parámetros de diseño.

DESCRIPTORES TEMATICOS: datos hidrosedimentológicos, corrientes, olas, mareas, niveles de agua, vientos, sedimentos.

DESCRIPTORES GEOGRAFICOS: Río de la Plata, río Paraná, río Uruguay.

DESCRIPTORES INSTITUCIONALES: Comisión Binacional del Puente Buenos Aires-Colonia.

ESTUDIO DEL IMPACTO HIDRAULICO DEL PUENTE BUENOS AIRES-COLONIA
Informe Nº 1

AUTORIDADES DEL INCYTH

PRESIDENTE DEL INCYTH: Dr. Mario R. 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

INVESTIGADORES:

Ing. Fabián A. BOMBARDELLI
Lic. Carla X. P. VILELA
Ing. José L. MONTALVO
Ing. Mariano R. LAPETINA

HIDROMETRIA:

Ing. Juan BORUS

DISEÑO TECNICO:

Srta. Susana HAYE
Sr. Carlos HASPERT

INFORME PRODUCIDO POR:

Ing. Fabián A. BOMBARDELLI
Dr. Angel N. MENENDEZ
Ing. Mariano R. LAPETINA
Ing. José L. MONTALVO

INDICE DE MATERIAS

INTRODUCCION 1

CAPITULO 1: HIDROSEDIMENTOLOGIA DEL RIO DE LA PLATA 3
1.1 ASPECTOS FISICOS GENERALES 3
1.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS GENERALES 5
1.2.1 Mareas 5
1.2.2 Descargas fluviales 6
1.2.3 Factores atmosféricos 7
1.3 NIVELES DE AGUA 9
1.4 CORRIENTES 11
1.5 VIENTOS SOBRE EL RIO DE LA PLATA 13
1.6 OLAS 14
1.7 SEDIMENTOLOGIA 15
1.7.1 Material de fondo 15
1.7.2 Material en suspensión 17

CAPITULO 2: HIDROMETRIA DEL RIO PARANA 20

CAPITULO 3: HIDROMETRIA DEL RIO URUGUAY 23

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 25

TABLAS

FIGURAS

INTRODUCCION

El proyecto de unir físicamente la Argentina y el Uruguay a través de un puente que atraviese el Río de la Plata es de larga data. Sin embargo, recién ahora se encaran los estudios técnico-económicos para determinar su factibilidad. En la Lámina 1 se muestran las cuatro trazas proyectadas (la antigua Traza 2 ya ha sido descartada). Nótese que una de ellas (la Traza 5) se desarrolla sobre el frente del Delta del río Paraná.

La empresa Louis Berger International, consultora contratada por la Comisión Binacional del Puente Buenos Aires-Colonia para desarrollar los estudios de factibilidad, subcontrató al INCYTH para que, a través de su Laboratorio de Hidráulica Aplicada (LHA), llevara a cabo los estudios hidráulicos relacionados con la obra.

El alcance de los estudios previstos es el siguiente:

I) Recopilación, análisis y procesamiento de información hidrosedimentológica relacionada al Río de la Plata y sus tributarios (ríos Paraná y Uruguay), de acuerdo al siguiente detalle:

1) Niveles de agua: frecuencia de ocurrencia y recurrencia de niveles extremos anuales.

2) Corrientes: caracterización de intensidad y dirección.

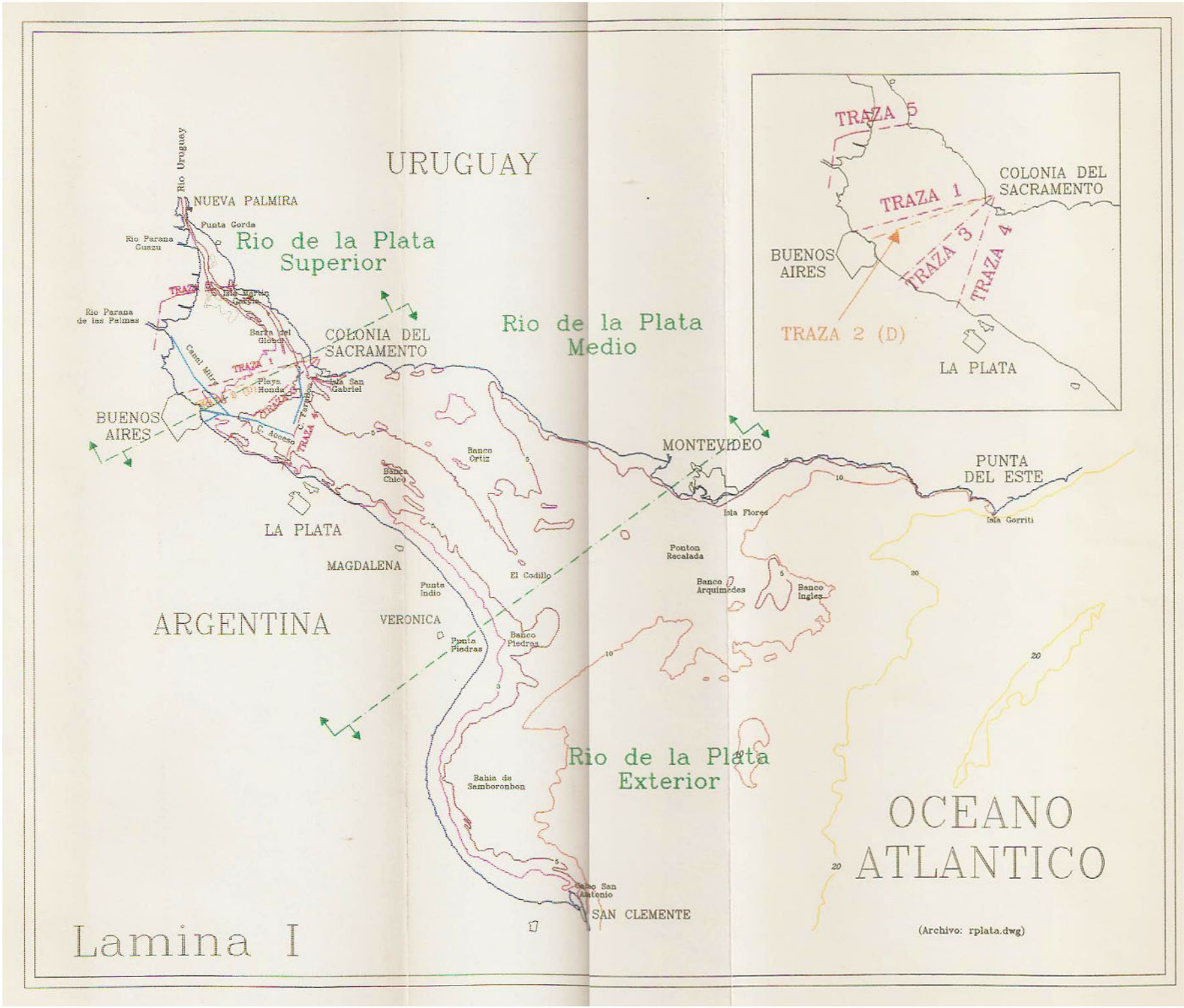
3) Vientos: frecuencia de ocurrencia, discriminada por sector y rango de velocidad.

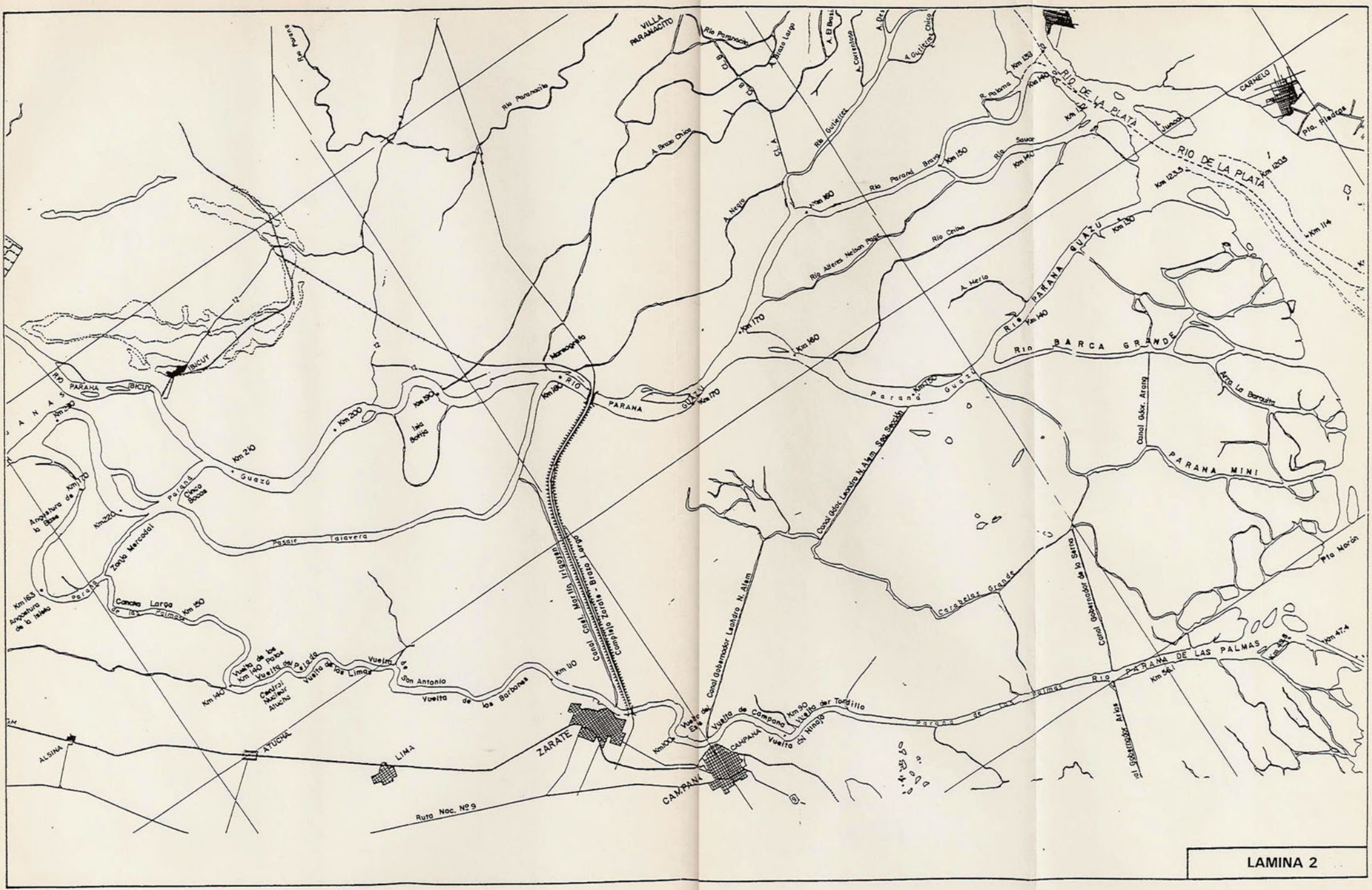
4) Olas: frecuencia de ocurrencia, discriminada por altura significativa y período.

5) Sedimentos: caracterización física de los sedimentos aluvionales que componen el fondo y del material transportado en suspensión.

II) Estudio del impacto hidráulico de las estructuras asociadas al puente (pilas, islas, terraplenes) mediante modelación matemática. En una primera etapa se analizarán las diferentes trazas de una manera esquemática y global, de modo de determinar su radio de influencia. Una vez seleccionada la traza definitiva, en una segunda etapa se implementará un modelo matemático hidrodinámico más detallado de la zona del cruce.

En este Informe se presentan los resultados correspondientes a las tareas incluídas en el punto I.


URUGUAY
Rio Uruguay
NUEVA PALMIRA
Punta Gorda
Rio Parana Guazu
Rio de la Plata Superior
Rio Parana de las Palmas
Barra del Globo
COLONIA DEL SACRAMENTO
Rio de la Plata Medio
Canal Mitre
TRAZA 1
Playa Honda
Isla San Gabriel
BUENOS AIRES
C. Acceso
TRAZA 4
Banco Ortiz
Banco Chico
MONTEVIDEO
PUNTA DEL ESTE
Isla Flores
Isla Gorriti
LA PLATA
MAGDALENA
Punta Indio
El Codillo
Ponton Recalada
Banco Arquimedes
Banco Ingles
ARGENTINA
VERONICA
Punta Piedras
Banco Piedras
Bahia de Samborombon
Rio de la Plata Exterior
OCEANO ATLANTICO
Cabo San Antonio
SAN CLEMENTE
TRAZA 5
TRAZA 1
TRAZA 3
TRAZA 4
TRAZA 2 (D)
COLONIA DEL SACRAMENTO
BUENOS AIRES
LA PLATA
Lamina I
(Archivo: rplata.dwg)


VILLA PARANACITO
Río Paranacito
A. Brazo Largo
A. El Brasil
A. Correntoso
A. Gutiérrez Chico
A. Gutiérrez
Río Gutiérrez
A. Brazo Chico
A. Negro
Río Paraná Bravo
Río Sauce
R. Paloma
Km 130
Km 140
Km 150
Km 160
Km 170
RIO DE LA PLATA
CARMELO
Pta. Piedras
Km 123,5
Km 120,5
Km 114
Río Alferez Nelson Page
Río Criba
A. Hería
PARANA GUAZU
Río BARCA GRANDE
Canal Gdor. Araoz
Arroyo La Barquita
PARANA MINI
Pta Morón
Canal Gobernador de la Serna
Río PARANA DE LAS PALMAS
Km 47,4
Km 56,1
Canal Gobernador Leandro N. Alem
Canal Gdor. Leandro N. Alem S.S.S. Sección
Canal Mitre
Canal Gobernador Leandro N. Alem - Brazo Largo
Complejo Zárate
Carabelas Grande
Parana Guazú
Km 200
Km 210
Isla Botija
Angostura de la Glea
Km 220
Parana Chico Bocas
Zanja Mercadal
Pasaje Talavera
Km 163
Angostura de la Isleta
Cancha Larga de las Palmas
Km 150
Vuelta de los Patos
Km 140
Vuelta del Pajaro
Vuelta de las Limas
Vuelta de San Antonio
Km 110
Vuelta de las Barbonas
Central Nuclear Atucha
ALSINA
ATUCHA
LIMA
ZARATE
CAMPANA
Km 100
Vuelta de Campana
Km 90
Vuelta del Torcillo
Vuelta del Hinojo
Ruta Nac. Nº 9
IBICUY
Río PARANA IBICUY
Km 230
Km 240
Km 250
Km 260
Km 270
Km 280
Km 290
Km 300
Km 310
Km 320
Km 330
Km 340
Km 350
Km 360
Km 370
Km 380
Km 390
Km 400
Km 410
Km 420
Km

CAPITULO 1

HIDROSEDIMENTOLOGIA DEL RIO DE LA PLATA

1.1 ASPECTOS FISICOS GENERALES

El Río de la Plata se presenta como una amplia hendidura en el litoral atlántico de Uruguay y Argentina. Descarga las aguas de los ríos Paraná y Uruguay (sus mayores afluentes) al Océano Atlántico y su longitud es de aproximadamente 290 Km, si se considera como inicio al paralelo de Punta Gorda y como límite exterior a la isobata de 18 m que une Punta del Este con Cabo San Antonio (Figura 1.1. Su ancho varía desde 40 Km en la región más estrecha, próxima al Delta del río Paraná, hasta 220 Km en la desembocadura [1].

Es común dividirlo en tres zonas: el denominado **Río de la Plata Superior**, que se extiende desde su nacimiento hasta una línea imaginaria que une las ciudades de Buenos Aires y Colonia; **la zona media**, que finaliza en la línea Montevideo-Punta Piedras y la **zona exterior**. En las dos primeras zonas las aguas del Río de la Plata son de un tinte amarillento opaco y se mantienen dulces, mientras que en la tercera tiene lugar la interacción entre las aguas dulces y saladas, típica de los estuarios. La salinidad, y consecuentemente la densidad de las aguas, aumenta de manera más o menos regular en dirección al mar y, además, crece con la profundidad.

El lecho del Río de la Plata está obstruído por numerosos bancos, siendo los principales Playa Honda, Ortiz, Chico, Alemán, Inglés y Arquímedes (Figura 1.1). Su curso está también afectado por islas de poca extensión, como Martín García (de 2 Km^2 de superficie), Hornos, San Gabriel, López, Flores y Gorriti. La profundidad media frente a Buenos Aires es de 2,5 m. En la zona superior la profundidad media no supera los 5 m, y se mantiene relativamente uniforme en el rango de 5 a 7 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 volumen total medio del sistema es del orden de 300 Km^3 y el área media del espejo de agua es de alrededor de 35000 Km^2. En la Tabla 1.1 y en las Figuras 1.2 a) a c) se presentan, para cada una de las secciones transversales indicadas en la Figura 1.1, los valores del ancho superficial, la profundidad media y el área transversal.

Las costas opuestas del Río de la Plata son completamente distintas: del lado argentino la costa es baja y fangosa, con playas formadas por limos y cienos y con abundancia de juncos; del lado uruguayo, en cambio, es alta y peñascosa.

Desde un punto de vista general, en la topografía del Río de la Plata pueden distinguirse claramente una serie de depresiones naturales que bordean zonas de extensos bancos. Desplazándose desde la cabecera hacia la boca, el canal más importante está constituído por la continuación de las desembocaduras de los ríos Uruguay y Paraná Guazú, que sigue la costa norte con un canal profundo y un sistema de barras. Cerca de Colonia éste se bifurca en un canal pequeño con profundidades de entre 3 y 6 m, que pasa entre la costa uruguaya y el banco Ortiz, y un canal principal que cruza el estuario hacia La Plata y luego continúa paralelo a la costa, con una profundidad promedio de 8 m, donde se concentra la mayor descarga líquida (Figura 1.1). En la frontera con la zona exterior del Río de la Plata, el canal es deflectado hacia la costa uruguaya por los bancos Arquímedes e Inglés. En su tramo posterior paralelo a esa costa, el canal tiene profundidades de alrededor de 40 m, es decir, puede ser caracterizado como un valle submarino.

Estas rutas naturales de navegación fueron mejoradas mediante la construcción de diversos canales, a saber:

* canal Ing. Emilio Mitre
* canal de Acceso al Puerto de Buenos Aires
* Rada Exterior
* Paso Banco Chico
* canal Intermedio
* canal Punta Indio
* canal Principal
* canal del Este
* canal del Infierno
* canal Nuevo
* canal San Juan
* canal San Pedro
* canal Farallón
* canal del Oeste
* canal Buenos Aires
* barra del Globo

El canal Mitre desemboca en el Km 12 del canal de Acceso. Este, en su continuación hacia Buenos Aires, se bifurca en los canales Norte y Sur que desembocan en Puerto Nuevo y la Dársena Sur, respectivamente. También existe el canal Costanero, de bajo calado, que, partiendo de Puerto Nuevo, corre muy cercano a la costa argentina, hacia el norte de la ciudad de Buenos Aires, y penetra en el Delta a través del río Luján. El canal Farallón desemboca en la Rada Exterior.

1.2 CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS GENERALES

1.2.1. Mareas

En el Río de la Plata penetran las ondas de marea provenientes del Océano Atlántico. Durante su propagación, estas ondas se ven alteradas por diversos factores, siendo los más relevantes el desagüe fluvial, la fricción, la forma del estuario y su topografía.

Las líneas cotidales permiten estudiar la propagación de la onda de marea. Estas líneas se definen como el lugar geométrico de los puntos para los cuales la pleamar se produce simultáneamente, y se expresa en hora lunar de Greenwhich. En la Figura 1.3 se presentan las líneas cotidales para la componente lunar principal M2 y las curvas de isoamplitudes, obtenidas en base a un gran número de observaciones mareográficas en distintos lugares del estuario [1]. En la misma se aprecia que la onda de marea oceánica penetra al estuario sobre la línea que une el cabo San Antonio con el cabo Santa María, pero con amplitudes que varían desde los 0,90 m sobre la costa argentina hasta 0,15 m sobre la uruguaya. Las líneas de isoamplitud ponen en evidencia las diferencias mareográficas entre ambas orillas del Plata. Las mayores amplitudes se registran en San Clemente (1,10 m) y en la zona Norte de Buenos Aires comprendida entre Palermo y el Tigre (0,90 m). Las menores amplitudes corresponden al tramo Punta del Este-Montevideo (0,20 m).

El régimen de la onda de marea que llega al Río de la Plata es el de desigualdades diurnas, es decir que durante un día lunar, o sea cada 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, generándose dentro del estuario un régimen propio, distinto al oceánico.

La onda de marea oceánica llega al estuario del Río de la Plata con una velocidad cercana a 200 Km/h, y se propaga en su interior con una velocidad media de 30 Km/h, demorando aproximadamente 12 horas en recorrerlo [2]. Ello da lugar al fenómeno particular de comprender dentro de su extensión una parte importante de la onda, es decir, para cada instante se registran simultáneamente sobre su área una amplia gama de estados de marea. En la Figura 1.4 se pueden apreciar curvas de isonivel de la superficie libre para un instante particular, lo cual ilustra esta situación.

El efecto de la rotación terrestre (efecto de Coriolis) es importante en

movimientos de "gran escala". La fuerza de Coriolis causa un aumento de la amplitud, hacia la costa, de la onda de marea oceánica proveniente del Sur, que es la razón de la diferencia de amplitudes entre ambas costas [3].

Las corrientes que se manifiestan en el Río de la Plata son la resultante de las asociadas a las ondas de marea y a las descargas de los ríos afluentes (Paraná y Uruguay). Si bien las primeras son preponderantes, las descargas de los tributarios imponen una deriva neta hacia el océano. Por la misma causa, el intervalo de creciente resulta más corto que el de bajante [1].

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

1.2.2 Descargas fluviales

Los caudales de los ríos Uruguay y Paraná han sufrido un incremento a partir de la década del 70. Esto puede apreciarse en la Figura 1.5, la cual muestra los niveles medios anuales en la escala de Rosario (referidos al cero local) desde 1925 hasta la fecha (obviamente, mayores niveles significan mayores caudales). También se observa la disminución de la amplitud de las oscilaciones. El primer efecto parece estar asociado, al menos, a dos factores [4]:

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

* La deforestación (principalmente en el Brasil) que ha disminuído la capacidad de retención de agua en la alta cuenca del río Paraná.

Por su parte, la atenuación de la amplitud de las oscilaciones está generada por la operación de la cadena de embalses brasileños. Según estudios recientes relativos a caudales mínimos en el río Paraná en la estación de Rosario, la cadena brasileña de embalses tendría además un efecto estacional, aumentando los caudales mínimos durante el invierno, época de mayor generación energética [5].

En sintonía con lo expresado, mientras que el caudal medio histórico del río Uruguay en Paso Hervidero asciende a 4500 m^3/s tomando la serie hasta 1975 [6], para el período 1970-1991 el caudal medio aportado al embalse de Salto Grande fue de 5200 m^3/s.

El régimen hidrológico global del río Uruguay es bianual, es decir, presenta dos crecidas por año. Pero, superpuesto a ese patrón básico subyacen componentes de una mayor frecuencia, tal como se observa en la Figura 1.6 [7].

De hecho, el régimen del río Uruguay es mucho más variable que el del Paraná. Si se define como índice de variabilidad a la relación:

$$\frac{\textit{valor medio anual de caudales diarios máximos}}{\textit{valor medio anual de caudales diarios mínimos}}$$

se obtiene, para el período 1945-1956, un valor de 2,53 para el río Paraná y de 37,6 para el río Uruguay [8].

El río Paraná descarga sus aguas en el Río de la Plata principalmente a través de dos brazos: el río Paraná de las Palmas y el río Paraná Guazú. No obstante, existen numerosos cauces de relevancia en el Delta del río Paraná (Lámina 2). A partir de la información disponible se elaboró la Tabla 1.2, donde se muestran los porcentajes medios de repartición de caudales entre los principales cauces, respecto al que lleva el río Paraná en Rosario [4]. En rigor, la repartición anterior es variable con la magnitud del caudal total. Esto puede apreciarse en la Tabla 1.3, en la que se muestran las reparticiones de caudales entre los ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú (antes de su bifurcación en Paraná Bravo y Paraná Guazú) para distintos caudales del río Paraná en Rosario [4]. Esta repartición se graficó en la Figura 1.7.

1.2.3. Factores atmosféricos

Las condiciones hidrodinámicas del Río de la Plata no están determinadas únicamente por el comportamiento de la marea oceánica y de los afluentes. El efecto de los factores atmosféricos es también muy importante y se manifiesta, fundamentalmente, a través del viento y de las variaciones de la presión atmosférica.

La presión atmosférica, estáticamente considerada, actúa sobre el nivel de las aguas, pero su efecto es pequeño. En cambio, un centro de presión que se desplaza actúa como una "fuerza de arrastre", generando una ondulación cuyo período y elevación dependerán, en gran parte, de las dimensiones de la zona perturbada, como así también de su profundidad y configuración. Cuando la velocidad de traslado se aproxima a la celeridad de una onda superficial, puede ocurrir un fenómeno de "resonancia" y, entonces, la variación del nivel del agua puede exceder en mucho el valor correspondiente al efecto estático [1]. Un fenómeno de este tipo ocurrió el 21 de enero de 1954 en el litoral marítimo de la Provincia de Buenos Aires (frente a Mar del Plata), y se encuentra ampliamente documentado [1]. En la Figura 1.8 se muestran los registros mareográficos de Mar del Plata correspondientes a ese día. Se observa que el nivel del mar se elevó 78

cm en 3 minutos, descendiendo luego hasta alcanzar su nivel anterior en 4 minutos, para seguir oscilando durante un largo tiempo con igual período pero decreciendo fuertemente su amplitud. Dado que este fenómeno ocurrió a media marea en bajante, el nivel del mar no alcanzó una altura extraordinaria, como hubiera ocurrido si hubiese coincidido con la pleamar.

El viento modifica la velocidad de propagación de la onda de marea, la posición media de la superficie libre, el grado de mezcla vertical y genera olas. Su acción se da a través del esfuerzo de corte sobre la superficie, logrando desplazar volúmenes apreciables de agua. En los estuarios, por su forma longilínea, los vientos que siguen la dirección de su eje aumentan el nivel de las aguas si soplan hacia su interior y la disminuyen en caso contrario. Los vientos transversales, en general, no afectan su nivel, o lo hacen débilmente, modificando los niveles a través de su sección. En el caso del Río de la Plata, se ha comprobado una estrecha vinculación entre los vientos y las alteraciones que sufre el nivel de las aguas en su parte superior [1]. Vinculando las diferencias entre la marea registrada y pronosticada (sólo componente astronómica) en Palermo (ciudad de Buenos Aires) con las intensidades del viento en Punta del Este para cada uno de los 16 sectores, se obtuvo la variación de nivel de agua por unidad de variación de la velocidad del viento (Tabla 1.4 y la Figura 1.9). Estos desniveles sólo representan un efecto medio y son válidos para velocidades del viento comprendidas entre 5 y 24 m/s (18 y 120 Km/h). Se observa que los vientos provenientes de los sectores ENE y SSO producen creciente, siendo máximo el efecto de los vientos provenientes del SSE, que coincide con la disposición relativa del eje del Río de la Plata. El resto de las direcciones produce bajantes, siendo máximo, en este caso, el efecto de la dirección Norte.

Por su parte, en la Tabla 1.5 se presentan las correcciones a efectuar a la Tabla de Mareas del Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina (SIHN) para tener en cuenta la acción de vientos de hasta 80 Km/h sobre los niveles del Río de la Plata [1]. Se observa que los efectos mínimos (menor valor absoluto) corresponden a las direcciones SO en bajante y ENE en creciente. Estas correcciones se utilizan, en general, en las zonas superior e intermedia del río.

En la zona exterior los efectos son menores, tal como lo muestra un estudio efectuado en el INCYTH mediante técnicas de simulación numérica. En base a un modelo matemático de la totalidad del Río de la Plata, se estudiaron eventos en los cuales la influencia del viento es significativa [9]. En la Tabla 1.6 se presentan los resultados obtenidos para el apilamiento producido por una creciente y una bajante en tres puntos diferentes, uno de ellos ubicado en la zona intermedia (entre Magdalena y Punta Indio) y los otros dos en la zona exterior. Se observa que el apilamiento disminuye prácticamente a la mitad en la zona exterior.

1.3 NIVELES DE AGUA

El nivel de agua en el Río de la Plata está determinado fundamentalmente por tres factores: la onda de marea oceánica, las descargas fluviales y los fenómenos atmosféricos (en particular, el viento) de acuerdo a lo manifestado anteriormente.

En la Tabla 1.7 se presentan los niveles medios de la marea astronómica en diversos puntos del Río de la Plata, tomadas de la Tabla de mareas del SIHN [10]. Estos niveles se encuentran referidos al "cero MOP" (ex Ministerio de Obras Públicas) o "cero del Riachuelo", que se ubica a 0.556 m por debajo de la cota del cero del Instituto Geográfico Militar (IGM). Cabe agregar que el cero MOP se halla a 0.17 m por sobre del "cero Wharton", plano de comparación de la República Oriental del Uruguay.

El INCYTH efectuó un análisis estadístico del nivel del Río de la Plata en las proximidades de Buenos Aires [11] utilizando las alturas horarias de marea registradas por el SIHN en la estación Palermo, correspondientes al período 1980-1984. Estos niveles están referidos al cero MOP. Se analizaron 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 1.10 y 1.11 se presentan los histogramas y las curvas de frecuencias acumuladas correspondientes. Los intervalos más frecuentes son: 1,20-1,30 m para los niveles de las pleamares y 0,60-0,70 m para las bajamares.

En la Figura 1.12 se presenta la curva de duración media anual de los niveles en Buenos Aires para el período 1920-1955 [8]. Se observa un nivel medio de 0,77 m (0,79 m de acuerdo a 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 durante un período de 12 meses, desde mayo de 1965 a mayo de 1966 [8]. Las diferencias se calcularon cada 3 horas y se representaron en escala de probabilidades (Figura 1.13). Se observa que hay sobrelevaciones 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 es muy próximo al correspondiente a períodos de calma, de acuerdo a las estadísticas existentes de vientos de la zona (ver más abajo). También se observa que ocurren sobrelevaciones 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 de frecuencia de 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 1.14. 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 1.15). 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 muy corto de análisis.

Resulta también de interés conocer la distribución de niveles máximos en Buenos Aires. La Figura 1.16 muestra un análisis de los períodos de recurrencia de los niveles máximos anuales en la ciudad de Buenos Aires (referidos al cero MOP) para el período 1905-1993. Se han incluído límites de confianza del 95 %, apreciándose que todos los puntos se ubican entre ellos. En la Tabla 1.8 se muestran niveles extremos para algunos períodos de recurrencia obtenidos a partir del ajuste.

En la Figura 1.17 se aprecia una curva de niveles máximos en Buenos Aires para el período 1905-1959, realizada por Halcrow en 1969, tomando también máximos anuales. Los niveles se hallan referidos al cero MOP. De la misma es posible concluir que no se han producido grandes variaciones de los niveles extremos, pese al aumento de caudales de los ríos afluentes registrado a partir de 1970.

En Montevideo también existen análisis de recurrencia de eventos extremos en base a datos de máximos anuales registrados durante el período 1898-1978. En la Figura 1.18 se presentan los resultados correspondientes, obtenidos por medio del ajuste de una distribución de Gumbel [12]. Los niveles se hallan referidos al cero Wharton. Se observa que los dos mayores eventos no resultan representados en el ajuste efectuado, debiéndose utilizar esta extrapolación con precaución. Asimismo, se advierte que el ajuste es, en general, conservador para la mayoría de los puntos.

A título ilustrativo, en la Figura 1.19 se muestran niveles de agua en Palermo para el período 1/11/91-30/11/91, referidos al cero MOP, de acuerdo a datos provistos por el SIHN.

1.4 CORRIENTES

Las corrientes en el Río de la Plata no resultan similares a las de otros ríos influenciados por la marea. En efecto, dado que se manifiestan al mismo tiempo distintos estados de marea, se registran corrientes en todas las direcciones y de intensidades variables. Respecto de sus valores extremos, se conocen algunos datos en la zona exterior con aceptable precisión [1]. De acuerdo a esta fuente, las menores intensidades se registran en las proximidades de Punta del Este, donde las máximas de creciente y bajante sólo alcanzan 0,20 m/s. Hacia la costa argentina, a 25 millas al Este de Punta Piedras, los máximos de creciente y bajante resultan de 0,20 y 0,25 m/s, respectivamente. Las mayores intensidades registradas en la zona exterior corresponden a las proximidades del faro San Antonio (5 millas al NE), donde se tienen corrientes de 0,40 m/s, tanto para marea creciente como bajante.

Se dispone de algunos resultados de mediciones efectuadas en la zona superior del Río de la Plata y sobre sus afluentes [8]. Se efectuaron varias campañas buscando diferentes condiciones hidrodinámicas a partir del estado de los ríos Paraná y Uruguay, correspondiendo los resultados que se presentan a dos de esas campañas. Durante la primera, por el río Uruguay escurrieron 4000 m^3/s, mientras que durante la segunda lo hacían 14000 m^3/s (el caudal medio de este río es de 4600 m^3/s para el período 1898-1991). Respecto del río Paraná las diferencias son menores, a saber: 20000 m^3/s durante la primera y 15000 m^3/s durante la segunda (caudal medio de 15900 m^3/s para el período 1970-1992). Se trabajó en cada caso en varias secciones, midiéndose la velocidad en forma continua durante un ciclo de marea en la superficie, a media profundidad y en el fondo. En la Tabla 1.9 se resumen los resultados de las mediciones efectuadas sobre los afluentes al Río de la Plata, indicándose para cada río la sección relevada y las máximas velocidades registradas en cada campaña. En la zona de canal Honda, así como en la de Nueva Palmira, se observaron algunos cambios en el sentido de la corriente y prolongados períodos de aguas muertas. No ocurrió así en las otras dos secciones. Las velocidades medidas en el Río de la Plata resultaron significativamente más bajas. La máxima velocidad de bajante no excedió los 0,6 m/s y la máxima de creciente no sobrepasó los 0,5 m/s. Durante las mediciones efectuadas sobre la sección La Plata-Colonia en ningún momento la velocidad pico sobrepasó los 0,7 m/s, a pesar de haberse producido una bajante pronunciada durante un período de 18 horas. En la Tabla 1.10 se presentan las direcciones medias de las principales corrientes de bajante y creciente registradas en las cuatro posiciones de medición. Respecto de la acción del viento, se reportó que, a pesar de registrarse vientos de hasta 40 Km/h de velocidad durante los períodos de observación, no se detectaron grandes variaciones en la dirección de la corriente entre fondo y superficie.

Las corrientes en la zona de la desembocadura del río Paraná de las Palmas y en el Río de la Plata Superior, a lo largo del canal Mitre, fueron medidas en oportunidad del estudio "Análisis Hidrosedimentológico Complementario del Redragado del Canal Emilio Mitre" [13]. Los registros de las corrientes (módulo de la velocidad y dirección) se obtuvieron cada 30 minutos, durante períodos de entre 10 y 40 días, en cuatro estaciones, algunas de las cuales funcionaron en forma simultánea. Las corrientes presentaron un comportamiento cíclico debido a la marea del Río de la Plata. Se observó que la corriente es predominantemente de bajante y con una dirección definida paralela al eje del canal. A medida que el canal se interna en el Río de la Plata, los casos de inversión son más frecuentes y la dispersión en las direcciones de las corrientes de bajante aumenta de 15 a 25° alrededor de la dirección predominante. También disminuye la velocidad media en bajante desde un valor de 0,60 m/s en el Paraná de las Palmas hasta 0,40 m/s en la mitad del canal Mitre. En cuanto a las velocidades máximas en bajante, disminuyen de 0,90 m/s a 0,70 m/s, respectivamente. Las corrientes de creciente son mucho menores, con valores medios de 0,15 m/s en la zona del canal.

Con el fin de interpretar el comportamiento hidráulico del canal, EIH modeló la corriente como la suma de una corriente permanente, representativa del régimen fluvial, y una componente armónica simple, asociada a la marea [13]. Resultó que la componente fluvial disminuye, hacia el interior del Río de la Plata, desde 0,45 m/s a 0,26 m/s y la amplitud de la corriente de marea se incrementa desde 0,18 m/s a 0,35 m/s. Esto indica la existencia de una transferencia lateral de cantidad de movimiento, estableciéndose una deriva neta a las aguas que circundan el canal. A partir de mediciones en los bancos, se estimó que esta deriva no supera los 0,30 m/s, con valores más frecuentes entre 0,20 y 0,25 m/s en épocas de crecidas y entre 0 y 0,10 m/s en épocas de estiaje.

En ocasión del estudio de dispersión de los efluentes domésticos del Gran Buenos Aires en el Río de la Plata [14], se relevaron también corrientes, una de cuyas series temporales se presenta en la Figura 1.20.

El SIHN ha incluído en las últimas ediciones de las Tablas de Marea, pronósticos de corrientes en distintas estaciones. Si bien la información no es exhaustiva, se encuentran allí valores máximos diarios y horarios de estoas (instantes con velocidad nula). Los valores máximos anuales en cinco estaciones se transcriben en la Tabla 1.11. La dirección a que alude la tabla se mide desde el Norte en sentido horario.

La empresa TECMES ha realizado mediciones de diversos parámetros hidrodinámicos para la Comisión Administradora del Río de la Plata [15], en períodos que no superan tres meses (19 de agosto a 10 de octubre de 1993). En

la Figura 1.21 se indican los sitios de medición de corrientes, cercanos a los canales de navegación Martín García, y en las Figuras 1.22 a) a e) se muestran las respectivas rosas de corrientes, que reúnen intensidad y dirección de las mismas. Dichas representaciones acumulan las frecuencias de rangos de velocidades por dirección. En la parte inferior de la figura se representa en forma polar la frecuencia acumulada de todos los rangos. Del análisis de las gráficas surge que las direcciones más frecuentes se ubican entre el Sur y el Este.

1.5 VIENTOS SOBRE EL RIO DE LA PLATA

Existen registros de vientos en estaciones cercanas a las trazas de las variantes del puente Buenos Aires-Colonia que abarcan distintos períodos.

Resultados del análisis estadístico de los registros de vientos en la ciudad de Buenos Aires, tomados cada tres horas durante el período 1961-1966, se presentan en la Tabla 1.12 y en la Figura 1.23 [8]. Se muestra el porcentaje de tiempo en el que soplaron vientos de una determinada dirección excediendo una velocidad establecida. El porcentaje de tiempo en que se registró calma fue del 11,4 %.

También se dispone de un análisis similar efectuado a partir de los registros medidos en la estación Aeroparque de la ciudad de Buenos Aires, que depende del Servicio Meteorólogico Nacional (SMN), correspondientes a los últimos 10 diez minutos de cada hora del período 1969-1978 [11]. Los resultados se presentan en la Tabla 1.13. Se observa la misma tendencia que en los registros previos; en ambos casos la dirección NNE resulta la más frecuente, y las diferencias cuantitativas son pequeñas. Del mismo modo, se presenta en la Figura 1.24 un análisis para el período octubre de 1967-diciembre de 1980, tomado de [16], de los registros de la estación de Aeroparque. Otra vez, se aprecia que las direcciones más frecuentes se acercan al Norte y al Este.

En la Tabla 1.14 se comparan los porcentajes de tiempo correspondientes a:

* vientos que producen creciente
* vientos que producen bajante
* período de calma

para las dos primeras series de registros analizadas. Además, se agregaron los

resultados de las diferencias entre marea registrada y pronosticada. Se observa una buena concordancia entre los vientos, que son la causa, y las diferencias de nivel antes mencionadas (Figura 1.13), que son los efectos producidos por el viento sobre el nivel de las aguas.

En las Figuras 1.25 a) a c) se reproducen rosas de vientos, para estaciones argentinas y uruguayas próximas a las trazas del puente, de relevamientos realizados entre abril y junio de 1984, tomadas de [15]. El período de análisis, demasiado corto, modifica sustancialmente las frecuencias de los vientos.

Una distribución de frecuencias por direcciones de los vientos impetuosos (velocidades > 47 Km/h) en el Río de la Plata, obtenida a partir de datos correspondientes a un período de 29 años, fue extraída de la Revista Meteorológica, Nº 11 (julio de 1944), publicación de la Junta Nacional de Meteorología de Montevideo, Uruguay [1]. En la Tabla 1.15 se presentan estos datos. Se observa que aproximadamente el 50 % de estos vientos soplaron desde los sectores O, OSO y SO.

1.6 OLAS

Las olas de período relativamente largo, provenientes de las aguas profundas del Océano Atlántico, se amortiguan y rompen a medida que se propagan hacia el interior del Río de la Plata debido a la poca profundidad de sus aguas, por lo cual son escasamente detectables en su interior. De este modo, se puede considerar que la generación local de olas sobre las aguas del Río de la Plata es la causa principal del oleaje en la zona superior [8]. Las olas más grandes son generadas por los vientos fuertes del E y ESE. Para esas direcciones la forma del río proporciona una mayor área de acción.

En ocasión del análisis Hidrosedimentológico complementario del redragado del canal Emilio Mitre [13], se efectuó una estimación del clima de olas en esa zona. El cálculo se efectuó aplicando el método semi-empírico de pronóstico de Sverdrup-Munk-Bretchsneider (SMB), con una estadística de vientos en la estación Aeroparque de 20 años (período 1961-1980). En la Figura 1.26 se representa la frecuencia de ocurrencia de olas en la zona del tramo medio del canal Mitre, discriminadas según su altura significativa y su dirección. La Tabla 1.16 resume los resultados.

El INCYTH efectuó mediciones de olas durante el período comprendido entre agosto de 1985 y febrero de 1986 con una boya acelerométrica Datawell, fondeada a 3 Km frente a la Costanera Sur de la ciudad de Buenos Aires [11]. El

análisis de los registros se efectuó mediante el método de Draper. Las distribuciones porcentuales de la altura significativa, H_s, y del período medio de cruce de cero, T_z, de las olas registradas se presentan en la Figura 1.27. El rango más frecuente de los períodos se encuentra entre 3 y 4 segundos, que resulta levemente superior al obtenido para la zona del canal Mitre. Períodos mayores de 7 segundos son poco probables. En cuanto a la altura significativa de las olas, el rango más frecuente puede considerarse en ambos casos comprendido entre 0,20 y 0,60 m, siendo improbables olas de más de 1,50 m de altura significativa.

En la Figura 1.28 se muestran frecuencias de olas acumuladas obtenidas en base a un pronóstico realizado por el INCYTH, a partir de los vientos medidos en la estación Aeroparque, para el período 1967-1980. Se emplearon en la predicción relaciones paramétricas fundadas en funciones de profundidad de Bretschneider, aplicadas a curvas de aguas profundas del JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) con ligeras modificaciones.

En la Figura 1.29 se muestra un análisis de alturas-dirección para distintas recurrencias [11]. Se concluye que las direcciones de mayor altura son el E y el SSE (dirección esta última en la que el viento cuenta con mayor fetch en el Río de la Plata). Se observa asimismo que las alturas de ola para recurrencias menores a 2 años son inferiores a 1,3 m, aún para la dirección de mayor solicitación, mientras que para 100 años se acercan a 3,5 m.

1.7 SEDIMENTOLOGIA

1.7.1 Material de fondo

Un análisis del conjunto sedimentario que rellena el paleocauce del Río de la Plata revela la existencia de dos capas claramente diferenciables [17]. La capa inferior está constituída por arcillas marinas transgresivas (a lo largo y ancho del paleocauce), mientras que la superior está compuesta por arenas y fangos aluvionales.

Las arcillas transgresivas son medianamente compactas. Sólo afloran en los bordes o en los fondos de las depresiones erosivas actuales (Rada interior, canales de Martín García) o en microacantilados (Punta Indio) y valles de arroyos y canales. Verticalmente, se extienden desde la cota -30 m (Pozo 81) hasta +1 m (Punta Indio, río Salado en la Provincia de Buenos Aires). Su techo está erosionado en una forma suavemente cóncava; en perfiles transversales al río, la cota del techo va desde los +1/+2 m en los bordes hasta -5/-9 m en la parte central (todas estas cotas están referidas al cero del Riachuelo).

Las arenas y fangos aluvionales son muy blandos, no están consolidados y se encuentran en equilibrio dinámico con las aguas del estuario. Su distribución areal es mayor que la de la capa inferior, a la que sobrepasa en todo el perímetro de la cuenca. El espesor de la capa, en cambio, es menor, pero fuertemente variable (3 a 4 m en Playa Honda, Quilmes y Barra del Indio; 15 a 50 cm en la Barra del Globo; prácticamente ausente en la Hoya del canal Intermedio, salvo en Banco Chico). La gradación muestra una tendencia clara a lo largo del cauce, tal cual se muestra en la Figura 1.30 [18]. En el extremo superior del Río de la Plata se observan arenas limosas (área de arenas), que luego dan paso a los limos (área de limos), para culminar en arcillas limosas (área de fangos). En el área de arenas, que se extiende desde el fin de la zona del Delta del Paraná hasta alrededor de 10 Km aguas abajo, el contenido de arenas (diámetro mayor que 60 micrones), o fracción gruesa, es mayor al 50 % del total. El diámetro medio d_{50} (diámetro medio en peso, que es la medida granulométrica estándar) varía entre 100 y 400 micrones, predominando el primer valor. Los mayores contenidos de arena (75 a 90 %) se dan en el sector de Martín García. El área de limos se extiende hasta alrededor de la línea Buenos Aires-Colonia y presenta primero limos arenosos (fracción gruesa entre 25 y 50 %) y luego limos con arena (fracción gruesa entre 5 y 25 %). La fracción de arcilla es escasa (12 % en promedio). En el área de fangos prácticamente no hay arena (contenido menor al 5 %). De todos modos, tampoco se observa un alto contenido de arcillas (aproximadamente es el 12 %).

La razón de esta distribución global puede interpretarse en los siguientes términos. Los sedimentos no consolidados provienen, básicamente, de los ríos afluentes. Con la expansión del flujo al penetrar en el Río de la Plata, y la disminución progresiva de la capacidad de transporte neto, al aumentar la componente de corriente mareográfica y disminuir la fluvial, las fracciones más gruesas de la carga de sedimento en suspensión se depositan primero, mientras que las finas son transportadas una distancia mayor. Obviamente, esta descripción refleja los mecanismos generales de sedimentación, siendo la situación de detalle algo más compleja a la luz de influencias locales [2].

La descripción anterior corresponde a la zona superior y media del Río de la Plata. En la zona exterior, aguas afuera de Montevideo, el área de fangos se continúa como dos fajas adyacentes a las costas uruguaya y argentina, tal como se muestra en la Figura 1.31 [19]. La faja sobre la costa uruguaya culmina en los "Pozos de Fango", ya sobre la plataforma continental, constituídos por fango amarillento de poca consistencia y de espesores del orden de los 80 cm. La faja del lado argentino, en cambio, prácticamente desaparece a la altura de Punta Rosa. La región central de la zona exterior presenta bancos de arena, transportada por deriva litoral debido a los vientos predominantes del sector sudeste. Con el término "tosca" se alude a aquel material cementado, medianamente consolidado y

relativamente duro, diferenciable litológicamente de las rocas.

En la Tabla 1.17 se presentan valores representativos de granulometría de muestras tomadas del fondo de algunos de los canales de navegación, mientras que en la Tabla 1.18 se muestran los correspondientes a explayados (bancos) adyacentes [20]. Se observa que, en general, la granulometría del material sedimentado en los canales es más fina que la de los bancos adyacentes, lo cual clarifica algunos aspectos sobre el mecanismo de sedimentación. Los valores de d_{50} que figuran entre paréntesis en la Tabla 1.18 corresponden a mínimos detectados en algunas zonas. Cabe la especulación de que se trate de zonas de refulado.

Determinaciones de densidad in-situ (peso de muestra húmeda sobre volumen de muestra húmeda) en el canal Norte arrojaron 1,64 g/cm^3. Suponiendo una densidad relativa del grano de 2,65, ésto significa una porosidad de 61 % y una densidad seca (peso de muestra seca sobre volumen de muestra húmeda) de 1,03 g/cm^3 [21].

Mediciones posteriores llevadas a cabo sobre el canal Mitre [13] y zonas adyacentes han mostrado una granulometría media algo mayor (Figura 1.32), lo cual se debe, seguramente, al gran aporte de material grueso resultante de las grandes crecidas de 1982/83 que tuvieron lugar en el río Paraná. Sobre el eje del canal se determinaron valores de d_{50} de alrededor de 300 micrones en la zona interior (Paraná de las Palmas). En la zona de encauzamiento se produce una brusca disminución del diámetro medio, que alcanza los 5 micrones, pero se recupera hasta 200 micrones luego de la expansión (Km 40), para disminuir luego, en forma suave, hasta alrededor de 50 micrones en las proximidades de su desembocadura en el canal de Acceso. La distribución longitudinal del porcentaje de gruesos es similar: entre 90 y 100 % en la zona interior, disminución hasta el 1 % en la zona de encauzamiento, recuperación al 100 % en Km 40 y disminución suave hasta alrededor de 40 %. La densidad seca, por su parte, muestra valores relativamente estables, entre 1,4 y 1,7 g/cm^3, salvo en la zona de baja fracción gruesa, donde disminuye hasta valores cercanos a 1 g/cm^3.

En los bancos adyacentes al canal Mitre, por su parte, se midieron diámetros medios de entre 40 y 140 micrones, correspondiendo a fracciones gruesas de entre 35 y 65 % (Figura 1.33). La densidad seca mostró valores similares a los obtenidos sobre el canal.

1.7.2 Material en suspensión

El material en suspensión en el Río de la Plata está provisto, básicamente, por los afluentes. Durante las tormentas hay una contribución del material de fondo

de las márgenes, dentro de la zona de rompiente. Además, las operaciones de dragado, por agitación y disposición, hacen también su aporte.

En situaciones hidrometeorológicas normales, el material en suspensión en el Río de la Plata es limo-arcilloso. De mediciones efectuadas durante 1965 surgió un diámetro medio menor que 2 micrones [21]. En campañas realizadas en 1984 se obtuvieron valores algo mayores, con d_{50} variando entre 2 y 30 micrones [13]. El material más fino tiene su origen, fundamentalmente, en la descarga sólida del río Bermejo. La parte más gruesa proviene de la resuspensión de depósitos en el Paraná de las Palmas o en la erosión de sus márgenes. Dada la granulometría relativamente fina de este sedimento, sus velocidades de caída son pequeñas, determinando que la concentración de sedimento en suspensión tenga una respuesta lenta a los cambios en la velocidad del flujo o en la batimetría. Esta facilidad para difundir las partículas, sumada a la ausencia de salinidad y el bajo contenido de material orgánico, que evita fenómenos de floculación, explica la relativa uniformidad de la concentración en el Río de la Plata Superior. Allí, el valor medio de esa concentración oscila entre 60 y 100 mg/l, aunque se han detectado valores de hasta 600 mg/l, probablemente debido a efectos de agitación por oleaje [21, 13].

En el Río de la Plata Medio se han detectado fuertes variaciones horizontales y verticales de la concentración, pero sobre valores medios mayores a los correspondientes a la parte superior del río. Se ha observado, además, una tendencia a concentraciones algo mayores sobre el lado argentino [19]. En "El Codillo" se registraron concentraciones de 370 mg/l en la zona cercana al lecho, bajando a 200 mg/l cerca de la superficie. Estos valores se redujeron a 250 y 50 mg/l, respectivamente, en Pontón Recalada [21]. En base a relevamientos de varios perfiles transversales, se determinaron valores superficiales de entre 50 y 200 mg/l y valores de fondo de entre 150 y 600 mg/l [22].

En la zona exterior del Río de la Plata el patrón, en cuanto a concentraciones, es similar al de la parte media, aunque con valores medios un poco menores [19].

En épocas de crecida es posible detectar la presencia de arenas medianas y finas en el Río de la Plata Superior, descargadas principalmente por el Paraná de las Palmas. Esto fue particularmente importante durante las grandes crecidas de 1982/83, tal como lo revela el análisis de la composición de los depósitos en el canal Mitre en el año 1983 (Figura 1.34). Se observa que el 90% del material sedimentado aguas abajo del encauzamiento es arena, porcentaje que disminuye progresivamente hasta alcanzar el 10% en la zona de la desembocadura en el canal de Acceso [13].

Es interesante cuantificar la cantidad de sedimento transportado por el Río de la Plata. Tomando como representativas una descarga líquida de 20000 m^3/s (es decir, 2000 millones de m^3/día) y una concentración media de 100 mg/l, ésto significa que se descargan diariamente alrededor de 200000 toneladas de sedimento al océano. Por otro lado, es posible estimar la cantidad de sedimento que decanta en los canales de navegación. De acuerdo a la Tabla 1.19 decantan no menos de 7 millones de m^3/año. Suponiendo una densidad seca de 1,5 g/cm^3, esto se traduce en 28000 toneladas diarias. Es decir, de lo transportado por el Río de la Plata, alrededor del 15 % decanta en los canales de navegación [2].

CAPITULO 2

HIDROMETRIA DEL RIO PARANA

Puesto que Río de la Plata permite el desagüe de los ríos Paraná y Uruguay hacia el océano, su comportamiento se halla naturalmente influido por aquéllos. Por lo tanto, se hace necesario realizar un análisis del régimen hídrico de ambos cursos, a fin de conocer los aportes al Río de la Plata. Además, el conocimiento del régimen del río Paraná es necesario para estudiar la Traza 5, que se desarrolla sobre el frente del Delta.

La existencia de un cambio de las características hídricas de los ríos en las últimas dos décadas sugiere la idea de analizar parámetros estadísticos de la serie histórica completa (serie "larga") en contraposición con la serie histórica reciente desde 1970 (serie "corta"). Los resultados de este análisis se detallan a continuación.

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 2.1 se presentan los valores de los caudales del río Paraná en función de la frecuencia de superación, para la serie corta (1970-1992). Esta gráfica se obtiene reuniendo los caudales medios diarios de un mismo mes y determinando los porcentajes de superación de ellos para cada mes. Luego, para obtener la curva media anual, se promedian los meses. En la misma figura se muestran los valores mensuales correspondientes a las situaciones de máximo y mínimo caudal, lo cual pone en evidencia la amplitud de la variación estacional [4].

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 2.2a), y otra sobre el período completo del registro 1884-1992, mostrada en la Figura 2.2b). De las figuras resulta evidente la disminución de la amplitud de oscilación estacional, por el efecto regulador de los embalses. En la Figura 2.2c) se reproducen los valores medios anuales asociados a cada una de las dos estadísticas, poniéndose así de manifiesto el importante aumento del nivel.

Los caudales máximos anuales (obtenidos en la escala de Paraná) se representan en la Figura 2.3 en coordenadas de Gumbel. En la Tabla 2.1 se transcriben algunos pares de valores caudal-recurrencia obtenidos del ajuste

anterior.

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, aunque aún existen pocos datos como para identificar una tendencia.

Con relación a las crecidas, tan importante como el valor pico resulta la permanencia del evento hídrico. En la Figura 2.4 se comparan las crecidas extraordinarias de los años 1983 y 1992 a través de los niveles registrados en la ciudad de Rosario (referidos al cero local) a partir del primer día de cada año. Como referencia, también se muestra la crecida ordinaria de 1985. Se observa que el pico de la crecida de 1992 es algo mayor que el de 1983. Sin embrago, la duración de la crecida de 1983 fue mucho mayor, lo que ocasionó innumerables daños materiales (descalce de pilas de puentes, erosiones, etc.), que no se produjeron en 1992.

CAPITULO 3

HIDROMETRIA DEL RIO URUGUAY

Más allá de la división entre series larga y corta, la presencia de la presa de Salto Grande (Binacional entre Argentina y Uruguay) en las cercanías de Concordia (inaugurada en junio de 1979) introduce otro elemento importante para el análisis, a fin de establecer la ingerencia de la obra sobre el régimen del río. Por lo tanto, puede establecerse la existencia de una serie "previa" (hasta 1978) y una "posterior" (desde 1979).

En la Figura 3.1 se muestran valores medios mensuales (máximo, medio y mínimo) correspondientes a la serie previa (1898-1978), para caudales en Concordia. En la Figura 3.2 se aprecian curvas equivalentes para el período 1979-1993, también en Concordia. Comparando ambos grupos de gráficas, se observa un incremento de caudales para el mismo porcentaje de superación. Esta circunstancia confirma la presencia 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 ya aludidas) y no el régimen general del río.

A fin de analizar el comportamiento de los valores extremos, en la Figura 3.3 se presenta un estudio de los niveles máximos anuales en Concordia para el período 1931-1993, según la distribución de Gumbel. Se han introducido intervalos de confianza del 95 %, observándose que todos los valores pertenecen al recinto. En la Tabla 3.1 se resume el ajuste mediante el detalle de algunos pares de valores caudal-recurrencia.

Un análisis alternativo fue realizado con motivo del estudio de evolución de márgenes aguas abajo de la presa de Salto Grande [7]. En aquella oportunidad, se tomaron los caudales aportados al embalse, entre 1898 y 1991, mayores que 9200 m^3/s (determinando eventos de superación) y se les aplicó la metodología de Gumbel a los picos de cada uno de los eventos. Estos eventos se reparten a razón de 4,25 por año, por lo cual aparecen recurrencias anuales inferiores a un año. El resultado del procesamiento se muestra en la Figura 3.4a). En la Figura 3.4b), se comparó el análisis anterior con el obtenido de aplicar la metodología de Gumbel a los caudales máximos anuales de la misma serie histórica. Se advierte que

prácticamente no existe diferencia entre ambas metodologías para caudales elevados, notándose diferencias para las descargas inferiores en virtud de que se ha limitado el primer estudio a los caudales mayores que 9200 m^3/s.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] BALAY, M. A., "El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar", Publicación H. 621, SHN, Buenos Aires, 1961.

[2] HOPWOOD, H. J., MENENDEZ, A. N., CHIVIDINI, M. F., CAVALIERE, M. A., BREA, J. D., "Informe de diagnóstico sobre navegación en la ruta Rosario-océano", Informe LHA-INCYTH 114-01-91, mayo de 1991.

[3] MOLINARI, G., "Simulación numérica de la circulación en el Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH S5-017-86, marzo de 1986.

[4] BOMBARDELLI, F. A., MENENDEZ, A. N., BREA, J. D., MONTALVO, J. L., PORRO, G. O., "Estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática", Informe LHA-INCYTH 137-01-94, noviembre de 1994.

[5] PAOLI, C., BOLZICO, "Estiajes del río Paraná", Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, págs. 59 a 70, Vol. 4,7 al 11 de noviembre de 1994, Santiago, Chile.

[6] CAPONI, E. A., "Recopilación de información, análisis preliminar y proposiciones para un estudio integral del Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH S5-75, 1975.

[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] 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.

[9] OLALDE, A. M. (1988), "Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH 065-002-88, mayo de 1988.

[10] SIHN, "Tablas de marea para el año 1994", Publicación H610, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, 1994.

[11] MOLINARI, G., CASTELLANO, R. D., "Estudio de la Costanera Sur de la

Ciudad de Buenos Aires - Determinación de las condiciones hidrodinámicas", Informe LHA-INCYTH 059-03-90, julio de 1990.

[12] PNUD, "Conservación y mejora de playas-URU.73.007", Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-UNESCO, octubre de 1980.

[13] EIH, "Estudio de antecedentes del Canal Ingeniero Emilio Mitre", Informe Final, CEDEPORMAR, abril de 1985.

[14] CASTELLANO, R. D., MOLINARI, G., "Proyecto de tratamiento y disposición de efluentes domésticos del Gran Buenos Aires. Campañas hidrográficas", Informe LHA-INCYTH 070-001-87, julio de 1987.

[15] TECMES, S.R.L., "Estudio sedimentológico de los canales del área de Martín García. Informe Final", Comisión Administradora del Río de la Plata, febrero de 1994.

[16] EXPAM S.A., "Diseño hidráulico, de obras de defensa y de margen del complejo polideportivo La Quinta Key Point", Telemetrix S.A., La Plata, junio de 1987.

[17] PARKER, G., "El subsuelo del Río de la Plata", Informe técnico No. 6, Dto. Oceanografía, SHN, marzo de 1985.

[18] URIEN, C. M., "Distribución de los sedimentos en el Río de la Plata Superior", Boletín del SHN, Vol. III, No. 3, págs. 197-203, 1966.

[19] OTTMANN, F., URIEN, C. M., "Sur quelques problèmes sédimentologiques dans le Río de la Plata", Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2), vol. VIII, fasc. 3, págs. 209-224, Paris, 1966.

[20] WALLINGFORD, "Sediment movement on the Playa Honda River Plate", Report No. EX 374, Hydraulics Research Station, October, 1967.

[21] HALCROW & PARTNERS, "River Plate Dredging Study", Final Report, DNCPyVN, April, 1975.

[22] OTTMANN, F., URIEN, C. M., "Observaciones preliminares sobre la distribución de los sedimentos en la zona externa del Río de la Plata", Separata do vol. 37, Suplemento dos Anais da Academia Brasileira de Ciencias, Río de Janeiro, 1965.

TABLAS

TABLA 1.1

Sección	Ancho (Km)	H (m)	Area (m2)
-5	8.7	2.82	24500
-4	10.5	2.62	27500
-3	14.6	2.76	40300
-2	39.8	1.65	65700
-1	50.4	1.63	82200
0	50.6	2.33	117000
1	51.1	3.43	175300
2	48.0	4.70	229000
3	41.1	5.65	232200
4	42.0	5.58	234400
5	52.1	5.33	277700
6	57.9	5.49	317900
7	63.2	5.15	325500
8	69.5	4.74	329400
9	72.2	4.60	332100
10	69.9	5.12	357900
11	70.6	5.47	386200
12	71.8	5.34	383400
13	76.0	5.13	389900
14	84.0	4.92	413300
15	100.0	4.63	463000
16	141.1	3.95	557000
17	151.0	5.58	842600
18	161.0	7.07	1138300
19	190.5	8.53	1625000
20	207.5	9.37	1944300
21	215.0	9.86	2119900
22	223.5	10.38	2310000
23	222.5	10.85	2414100
24	228.0	12.43	2834000
25	228.0	14.07	3413200
26	243.0	17.22	4184500

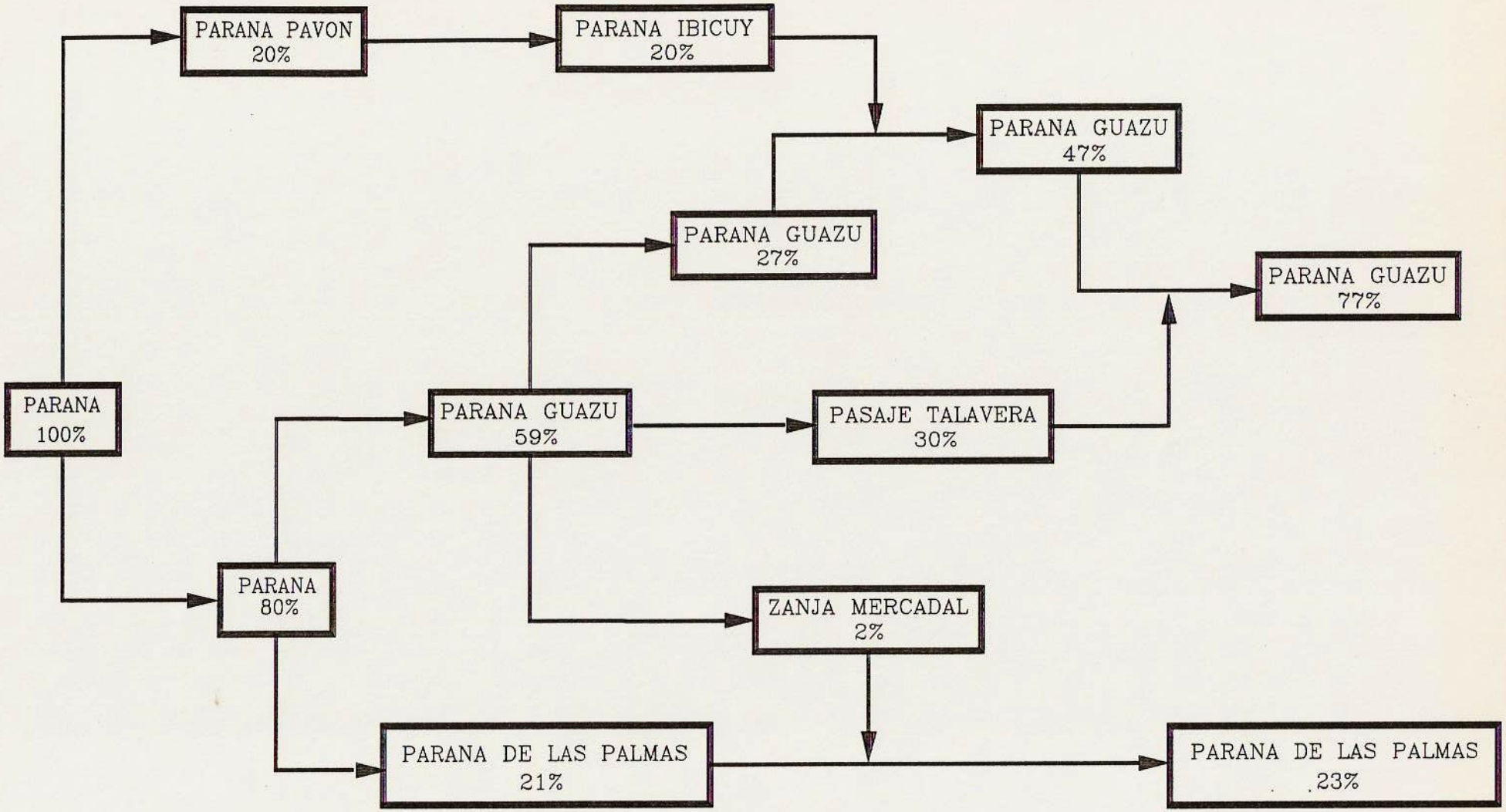


Tabla 1.2

Reparticion media de caudales en los cursos del delta del Rio Parana

Tabla 1.3: Repartición de caudales entre los ríos

Paraná de las Palmas y Paraná Guazú

Fecha	Río Paraná Guazú		Río Paraná de las Palmas		Fuente
	Caudal (m3/s)	Porcentaje	Caudal (m3/s)	Porcentaje	
marzo 1920	11865	67	5732	33	DNCPyVN
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 1.4

Variación media del nivel del Río de la Plata Superior por unidad de velocidad de viento.
(válido para velocidades entre 5 y 24 m/s)
(Balay,1961)

Dirección del viento	Variación cm / m/s
N	-4.3
NNE	-3.6
NE	-3.2
ENE	2.5
E	3.6
ESE	4.6
SE	5.4
SSE	6.4
S	5.4
SSO	3.6
SO	-2.8
OSO	-3.2
O	-3.2
ONO	-3.6
NO	-3.6
NNO	-3.9

Tabla 1.5

Variación del nivel del Río de la Plata (en cm) en función de la velocidad y dirección del viento (Balay,1961)

	Viento (km/h)								
Dirección	10	20	30	40	50	60	70	80	Efecto
N	-18	-30	-39	-48	-60	-72	-84	-96	Bajante
NNE	-9	-21	-30	-36	-45	-57	-69	-81	Bajante
NE	-3	-6	-9	-24	-39	-57	-69	-81	Bajante
ENE	3	6	9	12	18	33	42	51	Creciente
E	6	12	24	36	48	60	72	84	Creciente
ESE	9	24	39	57	69	91	93	105	Creciente
SE	21	39	57	72	87	102	114	126	Creciente
SSE	30	45	66	81	96	114	132	150	Creciente
S	18	36	57	66	78	99	108	120	Creciente
SSO	12	24	39	48	57	69	78	87	Creciente
SO	-9	-12	-18	-24	-33	-52	-51	-60	Bajante
OSO	-6	-12	-18	-30	-39	-51	-60	-69	Bajante
O	-9	-15	-27	-36	-45	-54	-63	-72	Bajante
ONO	-12	-21	-30	-36	-45	-54	-66	-78	Bajante
NO	-12	-21	0	-39	-48	-60	-69	-78	Bajante
NNO	-15	-24	-36	-45	-54	-63	-75	-87	Bajante

Tabla 1.6

Diferencias en al variación del nivel del
Río de la Plata entre las zonas intermedia
y exterior.
(Olalde,1988)

Viento		Variación del nivel (cm)	
Dirección	Velocidad (km/h)	Zona intermedia	Zona exterior
SE	36	20	10
NO	31	-14	-6

TABLA 1.7

Niveles medios de marea en distintas estaciones
(SIHN,1994)

Estación	Latitud	Longitud	Nivel Medio
Puerto Colonia	34°28' S	57°51' O	0.64
Puerto Montevideo	34°55' S	56°13' O	0.64
Isla Martín García	34°11' S	58°15' O	0.64
San Fernando	34°26 S	58°32' O	0.79
Puerto Buenos Aires	34°34' S	58°23' O	0.79

El nivel medio está expresado en metros y referido al "cero del Riachuelo"

Tabla 1.8

Rio de la Plata en Buenos Aires

Recurrencia de niveles maximos anuales

Período recurr. (años)	Probabilidad	Cota MOP (m)	Cota IGM (m)
10	0.100	3.60	3.05
20	0.050	3.86	3.31
50	0.020	4.20	3.64
100	0.010	4.45	3.90
200	0.005	4.71	4.15
500	0.002	5.04	4.48
1000	0.001	5.29	4.73

Tabla 1.9
Velocidades máximas en los afluentes del
Río de la Plata.(Halcrow, 1969)

Zona o sección aforada	Velocidades (m/s)	
	Campaña 1 (mayo 1965)	Campaña 2 (setiembre 1965
Paraná de las Palmas y Capitán	1.40	1.10
Paraná Guazú y Carabelitas	1.50	1.25
Canal Honda	1.10	0.90
Río Uruguay (Nueva Palmira)	0.70	1.75

Tabla 1.10
Dirección de las corrientes sobre la línea
La Plata-Colonia. (Halcrow, 1969)

Dirección (grados respecto al norte magnético, sentido hora				
Vertical relevada	Campaña 1		Campaña 2	
	Creciente	Bajante	Creciente	Bajante
1	310	-	311	109
2	305	134	277	115
3	320	133	274	107
4	287	102	254	103

Tabla 1.11

Corrientes de marea. Intensidades máximas
(SIHN,1994)

Estación	Latitud	Longitud	Intensidad m/s	Dirección
Paso del Farallón	34°32' S	57°51' O	0.46	118
Canal del Norte	34°45' S	56°52' O	0.36	127
Quebrada del Banco Ortiz	34°49' S	57°19' O	0.67	130
Canal de la Madalena	34°53' S	57°34' O	0.57	116
Canal Intermedio	34°59' S	57°20' O	0.62	302

Tabla 1.12

Frecuencia de los vientos por direcciones y velocidad
en Buenos Aires
Período: 1961 - 1966
(Halcrow,1969)

	Porcentaje de tiempo que los vientos de una dirección excedieron una velocidad establecida						
Dirección	0 km/h	15 km/h	25 km/h	35 km/h	50 km/h	65 km/h	
N	5.44	2.09	0.73	0.12	0.00	0.00	
NNE	11.04	4.64	1.66	0.37	0.01	0.00	
NE	5.92	1.69	0.59	0.11	0.00	0.00	
ENE	5.74	1.70	0.32	0.07	0.01	0.00	
E	6.96	2.38	0.62	0.08	0.00	0.00	
ESE	10.01	5.52	1.83	0.33	0.00	0.00	
SE	6.50	3.56	1.56	0.35	0.01	0.00	
SSE	6.10	4.25	2.00	0.44	0.04	0.00	
S	4.23	2.38	1.02	0.18	0.01	0.00	
SSO	6.11	4.00	1.78	0.43	0.04	0.01	
SO	4.22	2.01	0.84	0.18	0.02	0.01	
OSO	2.82	1.60	0.68	0.21	0.01	0.00	
O	2.00	0.76	0.28	0.05	0.00	0.00	
ONO	2.75	1.19	0.34	0.04	0.00	0.00	
NO	4.22	1.82	0.33	0.01	0.00	0.00	
NNO	4.57	2.14	0.57	0.04	0.00	0.00	
Calma							11.37

Tabla 1.13

Frecuencia de los vientos por direcciones
en Buenos Aires
Período: 1969 - 1978
(Molinari y Castellano,1990)

Dirección del viento	Frecuencia de ocurrencia (%)
N	6.92
NNE	10.28
NE	6.19
ENE	4.48
E	7.72
ESE	7.53
SE	6.01
SSE	6.35
S	4.47
SSO	5.99
SO	4.15
OSO	3.49
O	2.70
ONO	2.93
NO	3.86
NNO	5.46
Calma	11.48

Tabla 1.14

Frecuencia de ocurrencia de crecientes,
bajantes y calma.

	Frecuencia de ocurrencia de vientos que producen el fenómeno (%)		Frecuencia de ocurrencia del fenómeno (%)
Fenómeno	Período:1961-66	Período:1969-78	
Creciente	45.65	42.55	44.00
Bajante	42.98	45.98	44.00
Calma	11.37	11.48	12.00

Tabla 1.15

Frecuencia por direcciones de los vientos impetuosos (V>47 km/h) en el Río de la Plata (Balay,1961)

Dirección del viento	Frecuencia de ocurrencia (%)
N	1.50
NNE	0.50
NE	1.70
ENE	1.00
E	2.80
ESE	9.10
SE	6.30
SSE	3.40
S	5.20
SSO	7.80
SO	16.30
OSO	14.90
O	18.30
ONO	6.30
NO	3.20
NNO	1.70

Tabla 1.16: Clima de olas en la zona del canal Mitre (EIH, 1985)

Altura significativa (m)	Frecuencia de superación (%)
0.50	35.08
1.00	2.86
1.50	0.01
PARAMETRO	
Dirección más frecuente	N
Dirección de olas más altas	SE
Rango de Hs más frecuentes	0.2-0.6 m
Rango de Ts más frecuentes	2-3 s
Altura significativa (Hs) media	0.47 m
Período significativo (Ts) medi	2.7 s
Frecuencia de calma	15.2 %

Tabla 1.17: Granulometría media del material de fondo en los canales de navegación

Canal	Nivel del fondo respecto del cero del Riachuelo (pies)	d50 (μ)
Acceso	29	25
Norte	30	20
Sur (km 3)	26	20
Costanero (km 19)	11	30

Tabla 1.18: Granulometría media del material de fondo en los explayados adyacentes a los canales de navegación

Explayado	Nivel del fondo respecto del cero del Riachuelo (pies)	d50 (μ)
Entre C.Norte y Sur	9	60 (20)
SE Canal Sur	8	90 (30)
E Canal Costanero	5	50
Playa Honda	5	70

Tabla 1.19: Comparación de sedimentación en los canales de navegación

Canal	Profundidad	Sedimentación	
	(pies)	(m3/año/km	(m3/año)
Mitre externo	32	87500	2450000
Mitre interno	31	70000	700000
Acceso	30	63000	1900000
Punta Indio	31	38500	3083000
Norte	31	121000	885000
Sur	26.5	139000	780000
Costanero	13	57000	430000
Nuevo	19	10000	80000
San Juan	19	40000	31000
San Pedro	19	64000	360000
Farallón	19	58000	180000

Tabla 2.1
Río Paraná en Ciudad de Paraná
Recurrencia de caudales máximos anuales

Período recurr. (años)	Probabilidad	Caudal (m3/s)
5	0.200	25759
10	0.100	32127
20	0.050	37003
50	0.020	43315
100	0.010	48044
200	0.005	52756
500	0.002	58973
1000	0.001	63672

Tabla 3.1
Río Uruguay en Ciudad de Concordia
Recurrencia de caudales máximos anuales

Período recurr. (años)	Probabilidad	Caudal (m3/s)
5	0.200	22315
10	0.100	26070
20	0.050	29671
50	0.020	34332
100	0.010	37826
200	0.005	41306
500	0.002	45898
1000	0.001	49368

FIGURAS

URUGUAY
NUEVA PALMIRA
Punta Gorda
Rio Parana Guazu
Isla Martin Garcia
Rio Parana de las Palmas
Canal Mitre
Barco del Global
COLONIA DEL SACRAMENTO
Playa Honda
Isla San Gabriel
C. Farallon
C. Acceso
BUENOS AIRES
LA PLATA
MAGDALENA
Punta Indio
ARGENTINA
VERONICA
Punta Piedras
Banco Piedras
Banco Ortiz
Banco Chico
MONTEVIDEO
Isla Flores
Ponton Recalada
El Codillo
Banco Arquimedes
Banco Ingles
PUNTA DEL ESTE
Isla Gorriti
Bahia de Samboronbon
Cabo San Antonio
SAN CLEMENTE
OCEANO ATLANTICO
Tigre
Palermo
Riachuelo
Ezeiza
Quilmes
(Archivo: rplata.dwg)

Figura 1.1

ARGENTINA
URUGUAY
Isla Martin
García
131
132
127
COLONIA DEL
SACRAMENTO
135
Canal Mitre
BUENOS
AIRES
Playa
Honda
Isla San
Gabriel
C. Farallon
134
C. Acceso
5
REFERENCIAS
▲132 Correntografo

FIGURA 1.21

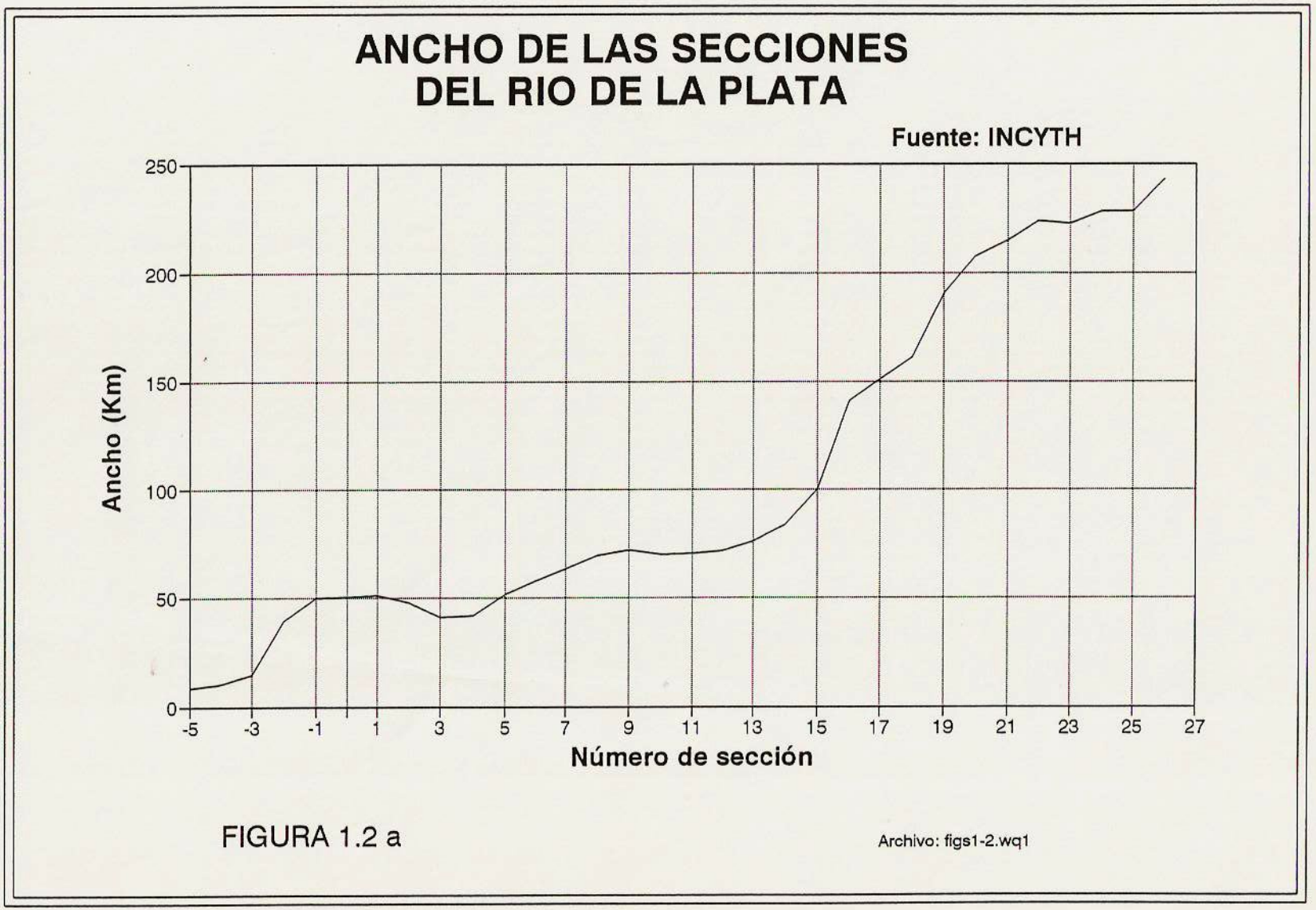


FIGURA 1.2 a

Archivo: figs1-2.wq1

AREAS DE LAS SECCIONES DEL RIO DE LA PLATA

Fuente: INCYTH

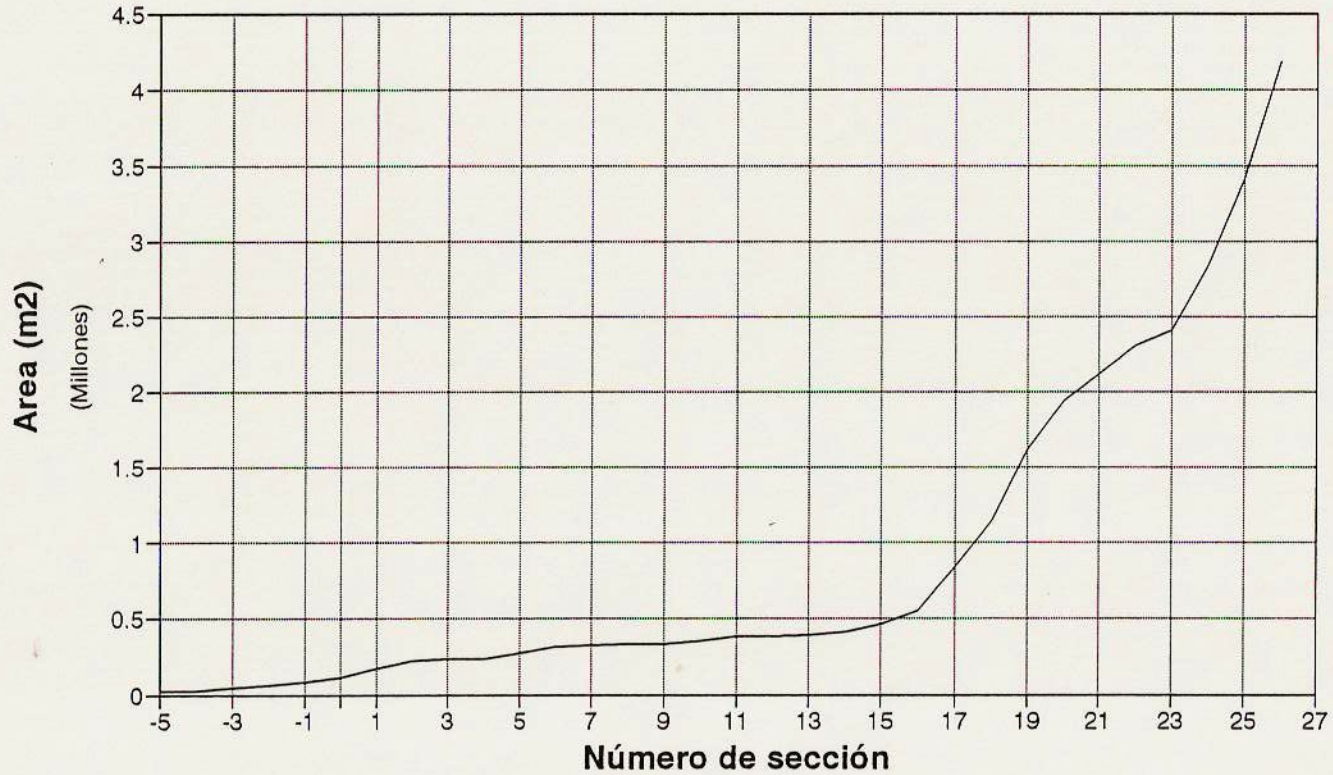


FIGURA 1.2 b

Archivo: figs1-2.wq1

PROFUNDIDAD MEDIA DE LAS SECCIONES DEL RIO DE LA PLATA

Fuente: INCYTH

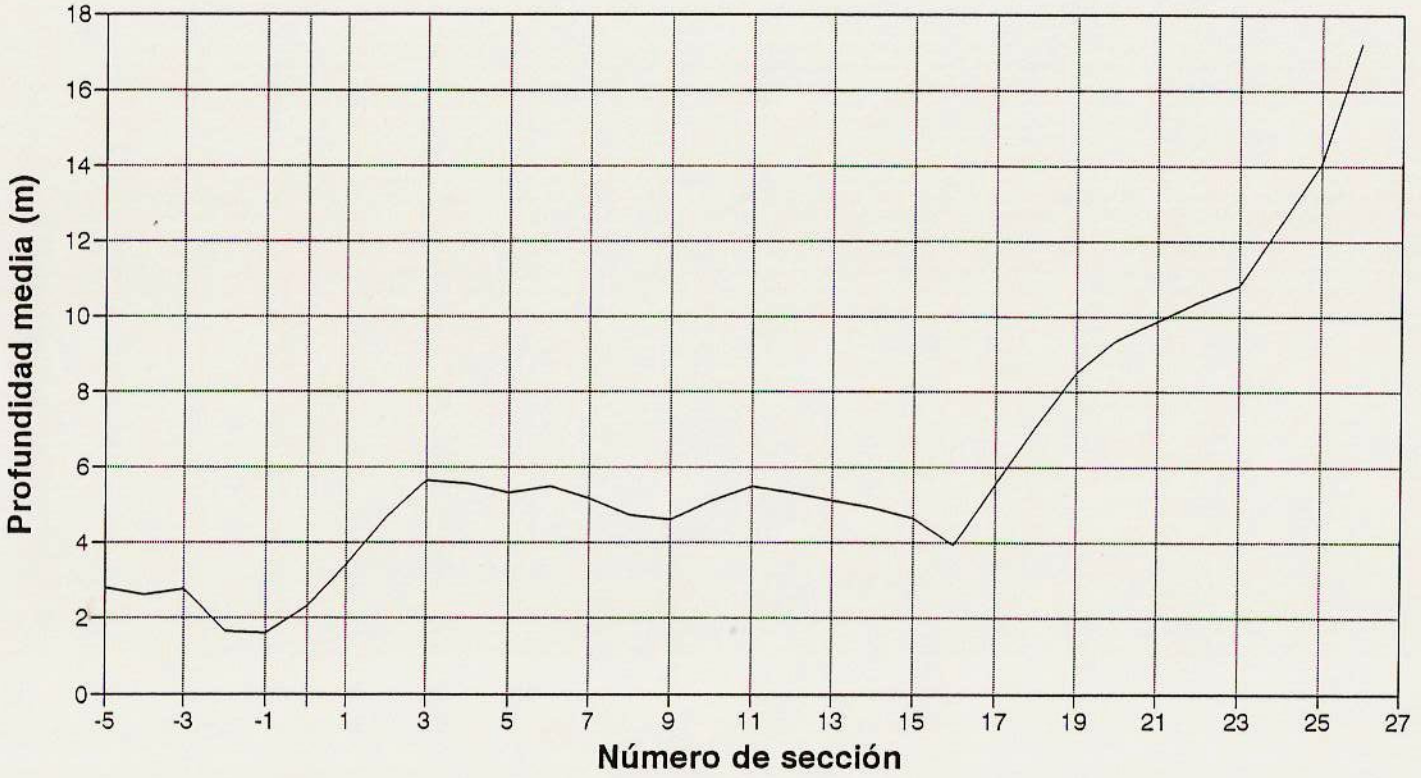
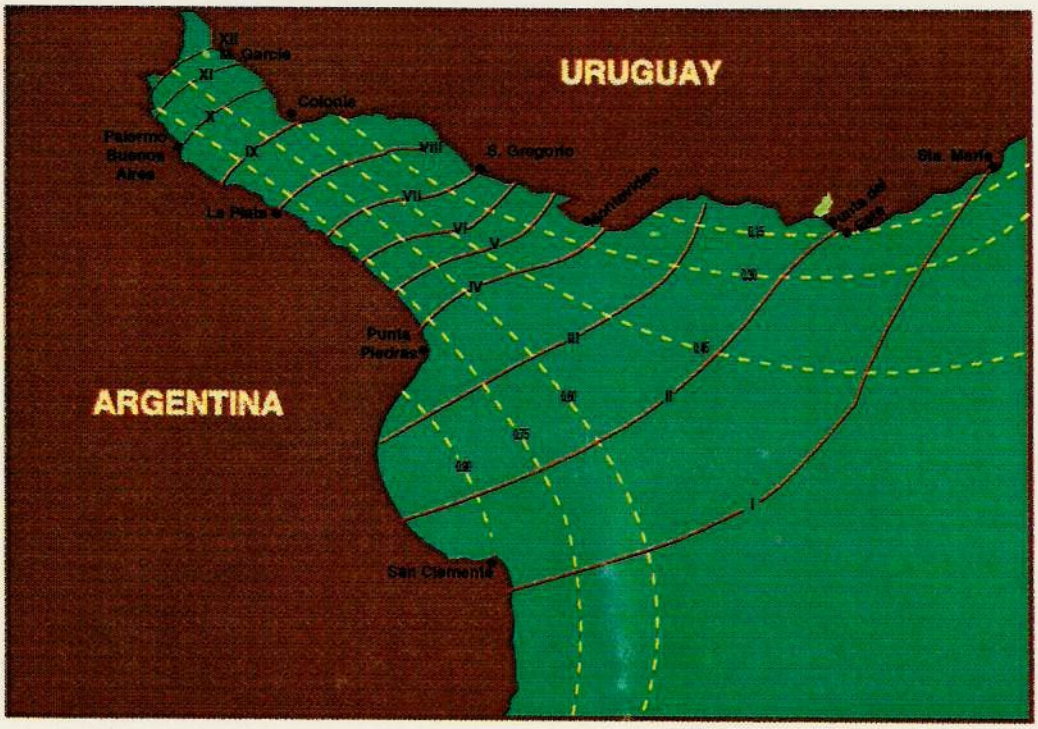


FIGURA 1.2 c

Archivo: figs1-2.wq1

CARTA DE LINEAS COTIDALES Y DE ISOAMPLITUD DEL RIO DE LA PLATA



REFERENCIAS

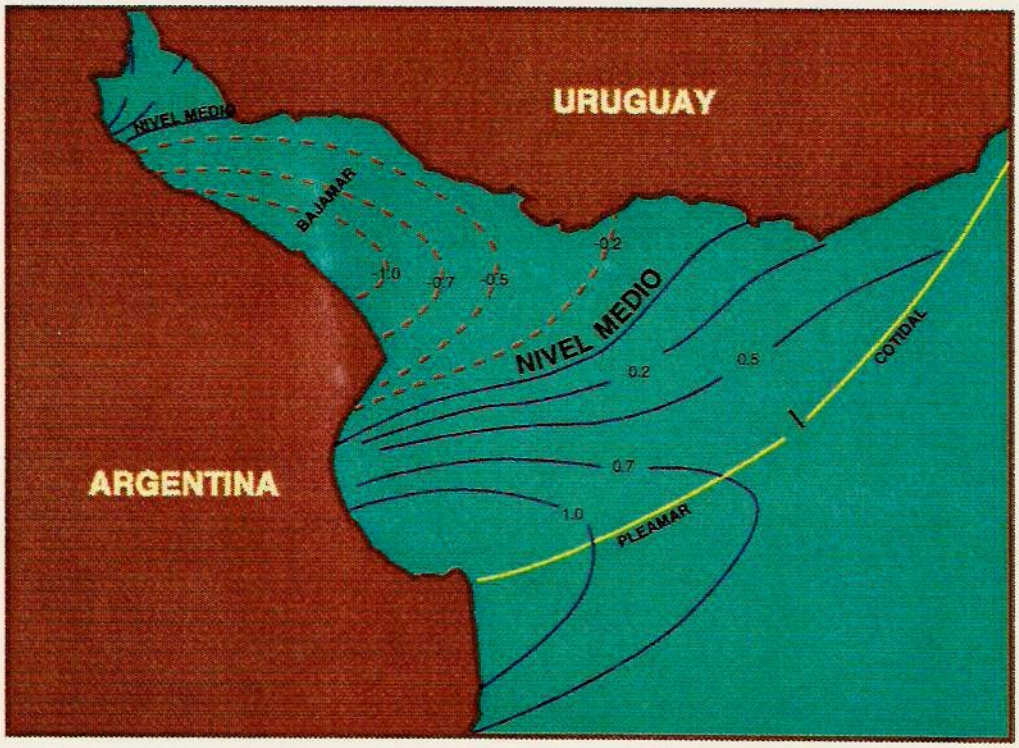
— II — Líneas cotidales y hora lunar

- - 0.30 - - Líneas de isoamplitud y amplitud en metros

Figura 1.3

Fuente: Balay, 1961

CARTA DE LINEAS DE ISONIVEL DEL RIO DE LA PLATA



REFERENCIAS
LINEAS DE ISONIVEL CORRESPONDIENTES A:

— 0.2 — Elevaciones respecto del nivel medio y grado de desarrollo de la pleamar

- - -0.2 - - Descenso respecto del nivel medio y grado de desarrollo de la bajamar

Figura 1.4

Fuente: Balay, 1961

ESCALA HIDROMETRICA DE ROSARIO
NIVEL MEDIO ANUAL

Fuente: INCYTH

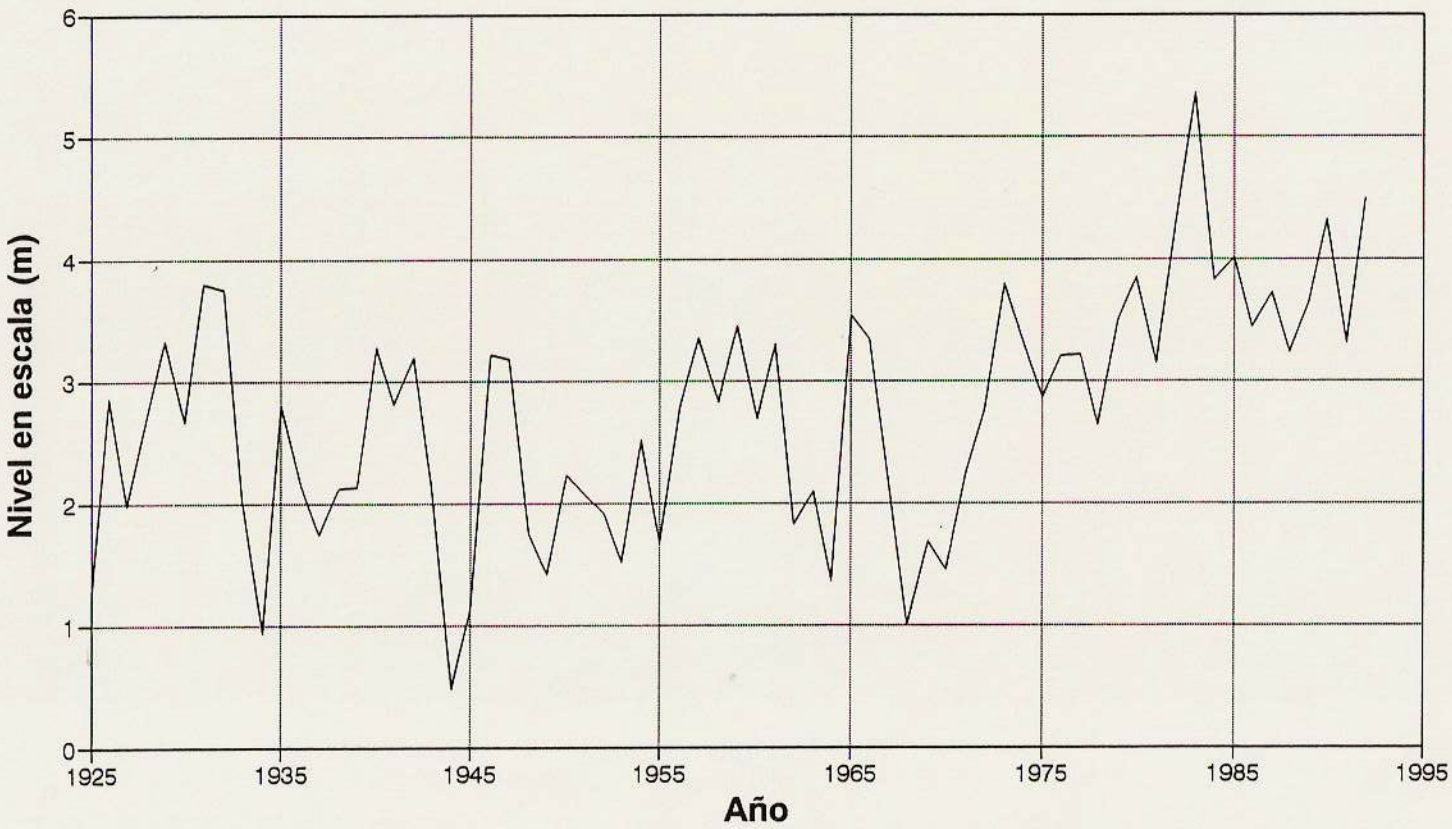


Figura 1.5

Archivo:nimeanro.wq1

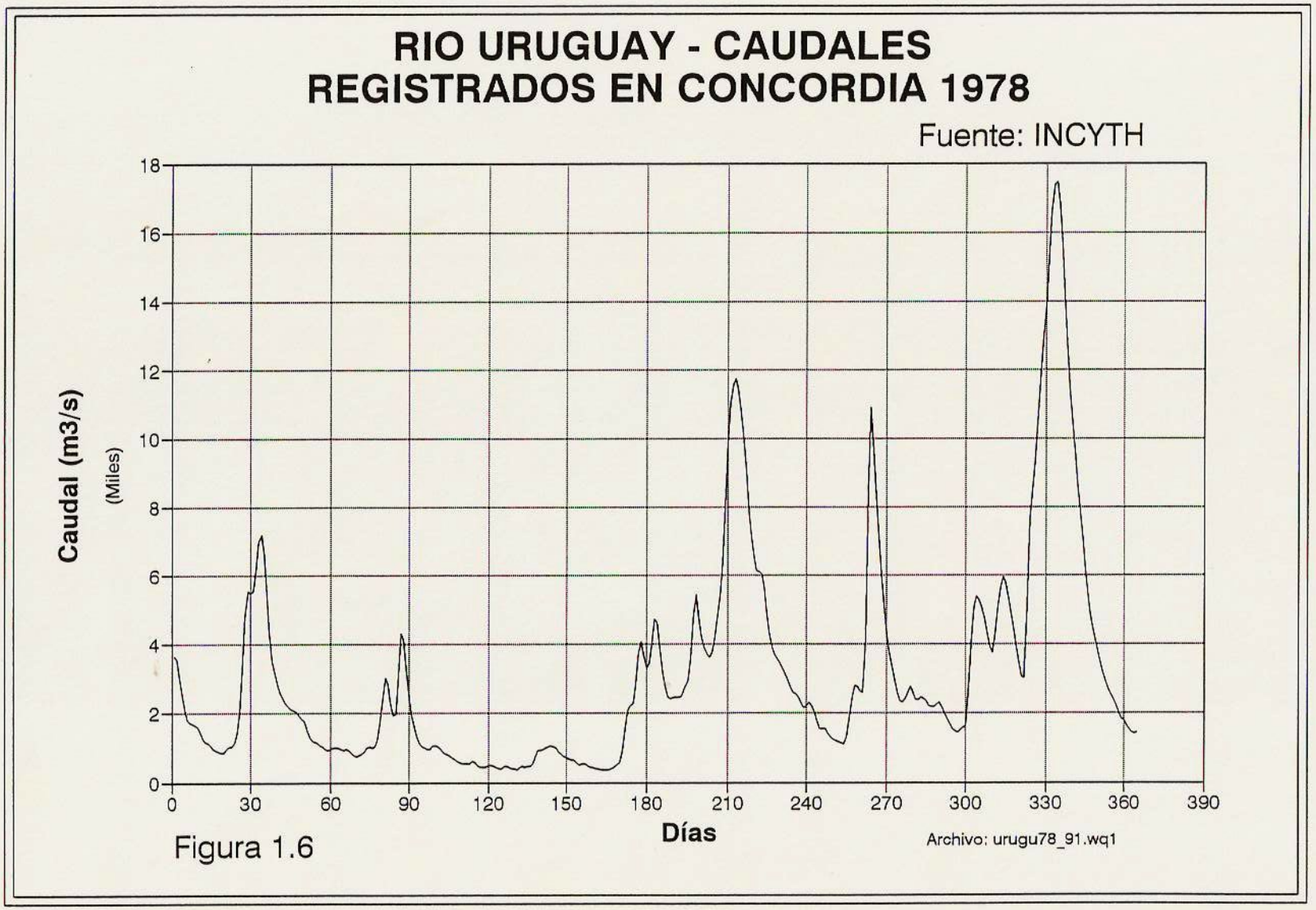

RIO URUGUAY - CAUDALES
REGISTRADOS EN CONCORDIA 1978
Fuente: INCYTH
Caudal (m3/s)
(Miles)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
390
Días
Archivo: urugu78_91.wq1

Figura 1.6

REPARTICION DE CAUDALES ENTRE LOS RIOS PARANA DE LAS PALMAS Y PARANA GUAZU

Fuente: INCYTH

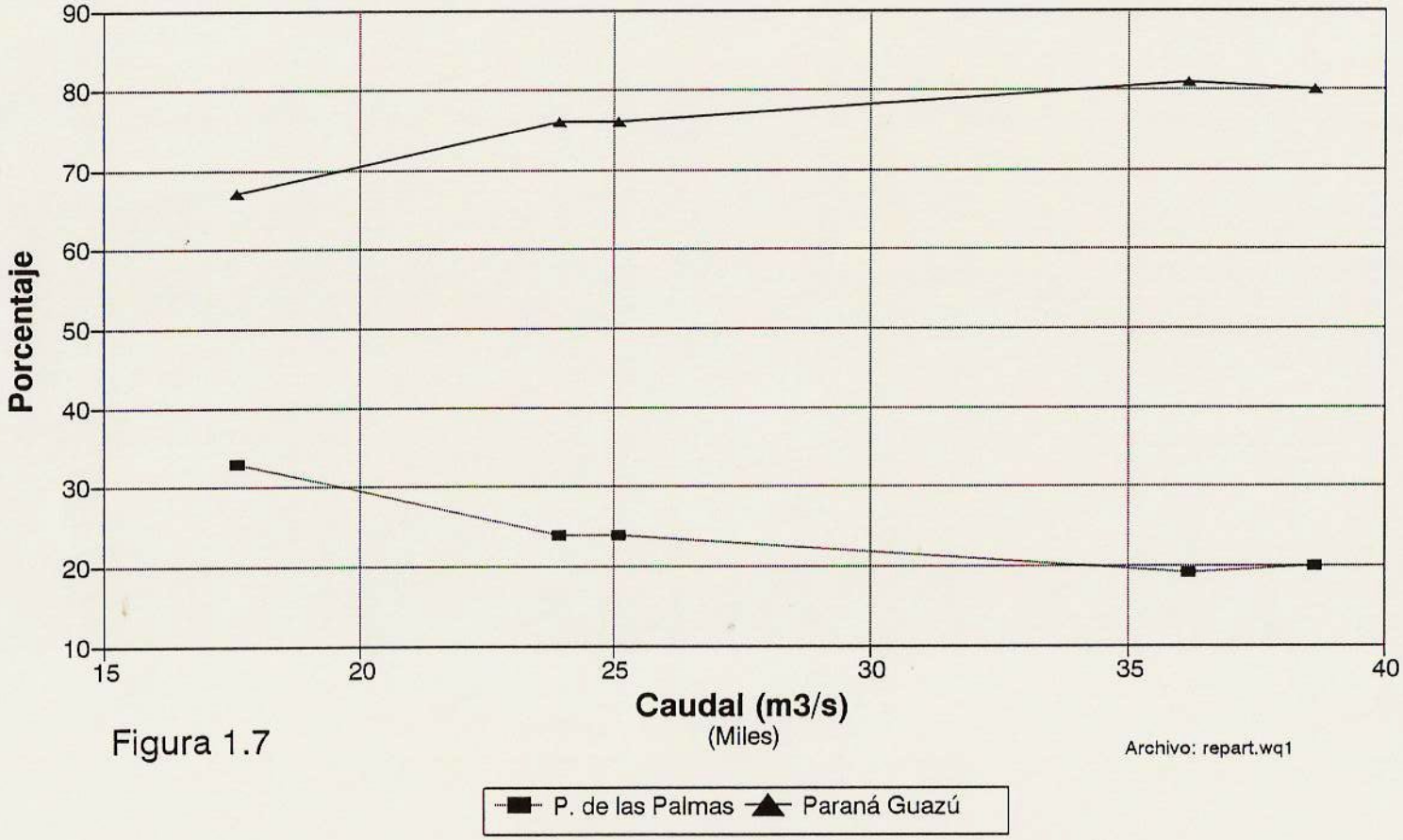


Figura 1.7

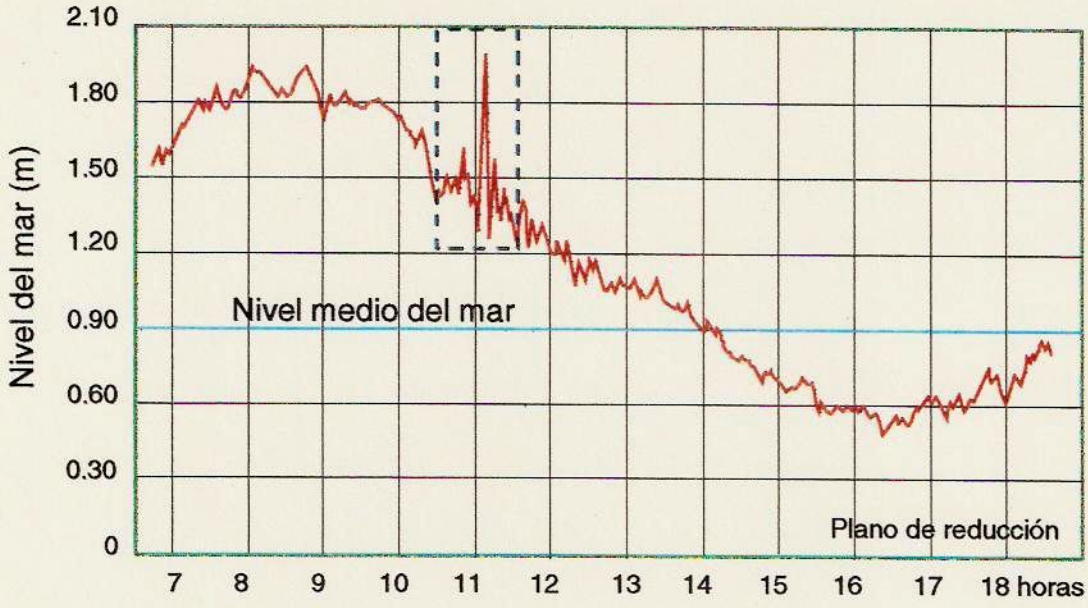
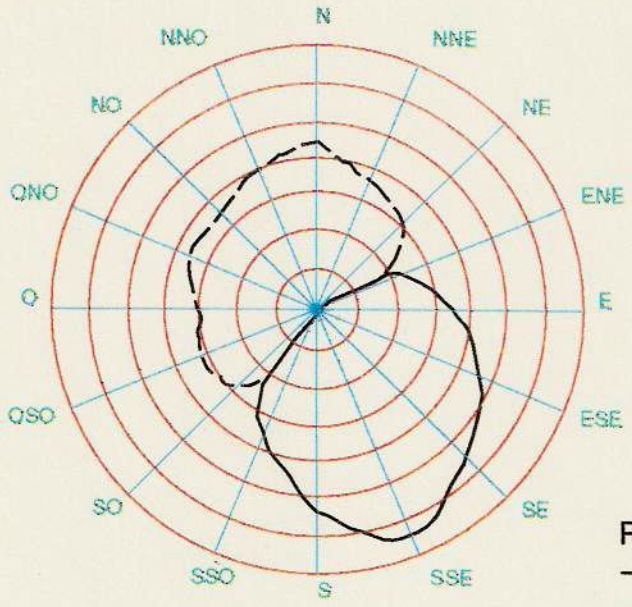


Figura 1.8: Registro Mareográfico de Mar del Plata (21-1-1954) mostrando el pasaje de un centro de presión

Fuente: Balay, 1961

Cada círculo concéntrico representa 1 cm de desnivel medio por cada m/s de velocidad del viento



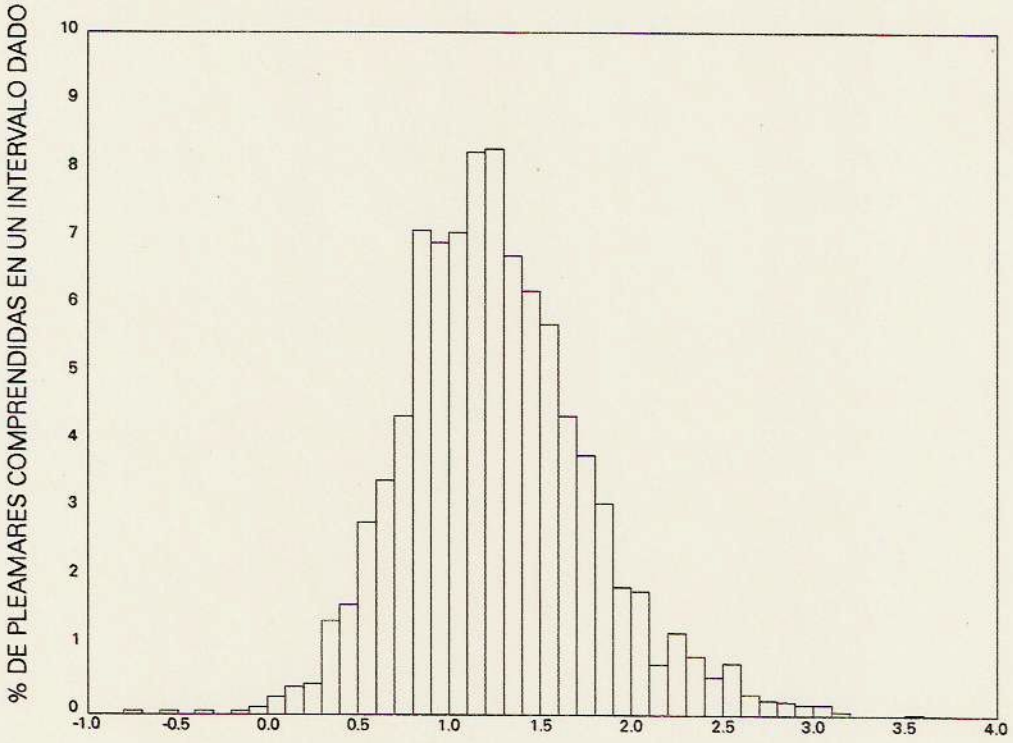
REFERENCIAS
—— Elevación del nivel
— — Disminución del nivel

Figura 1.9: Efecto del viento sobre los niveles del Río de la Plata Superior (válido para velocidades entre 5 y 24 m/s)

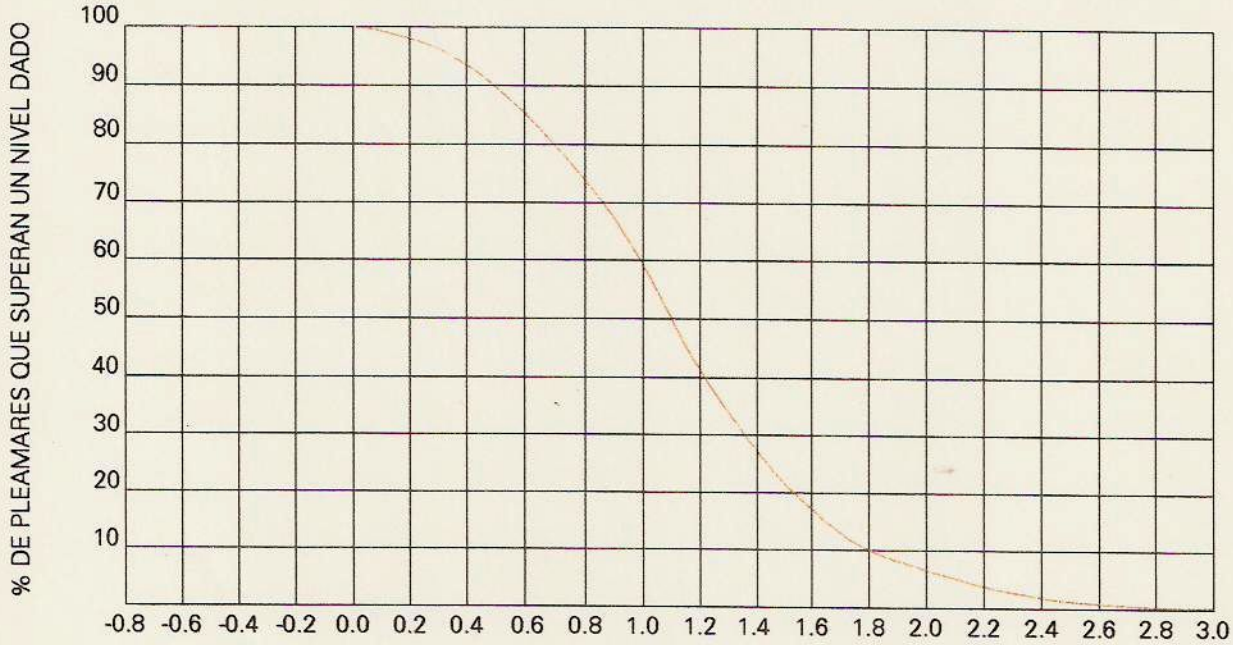
Fuente: Balay, 1961

Análisis estadístico de las pleamares 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")



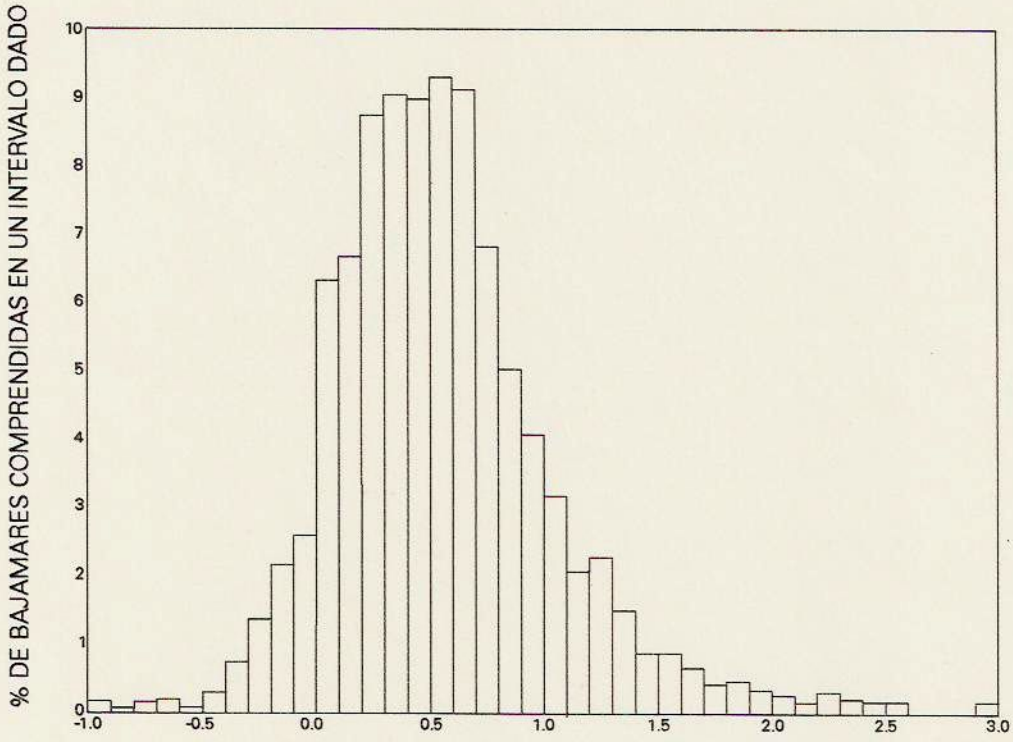
b) NIVEL EN (m) SOBRE EL CERO DEL MOSP ("cero del Riachuelo")

Figura 1.10

Fuente: Molinari-Castellano, 1990

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")

Figura 1.11

Fuente: Molinari-Castellano, 1990

DURACION MEDIA ANUAL DE LOS NIVELES EN BUENOS AIRES (1920-1955)

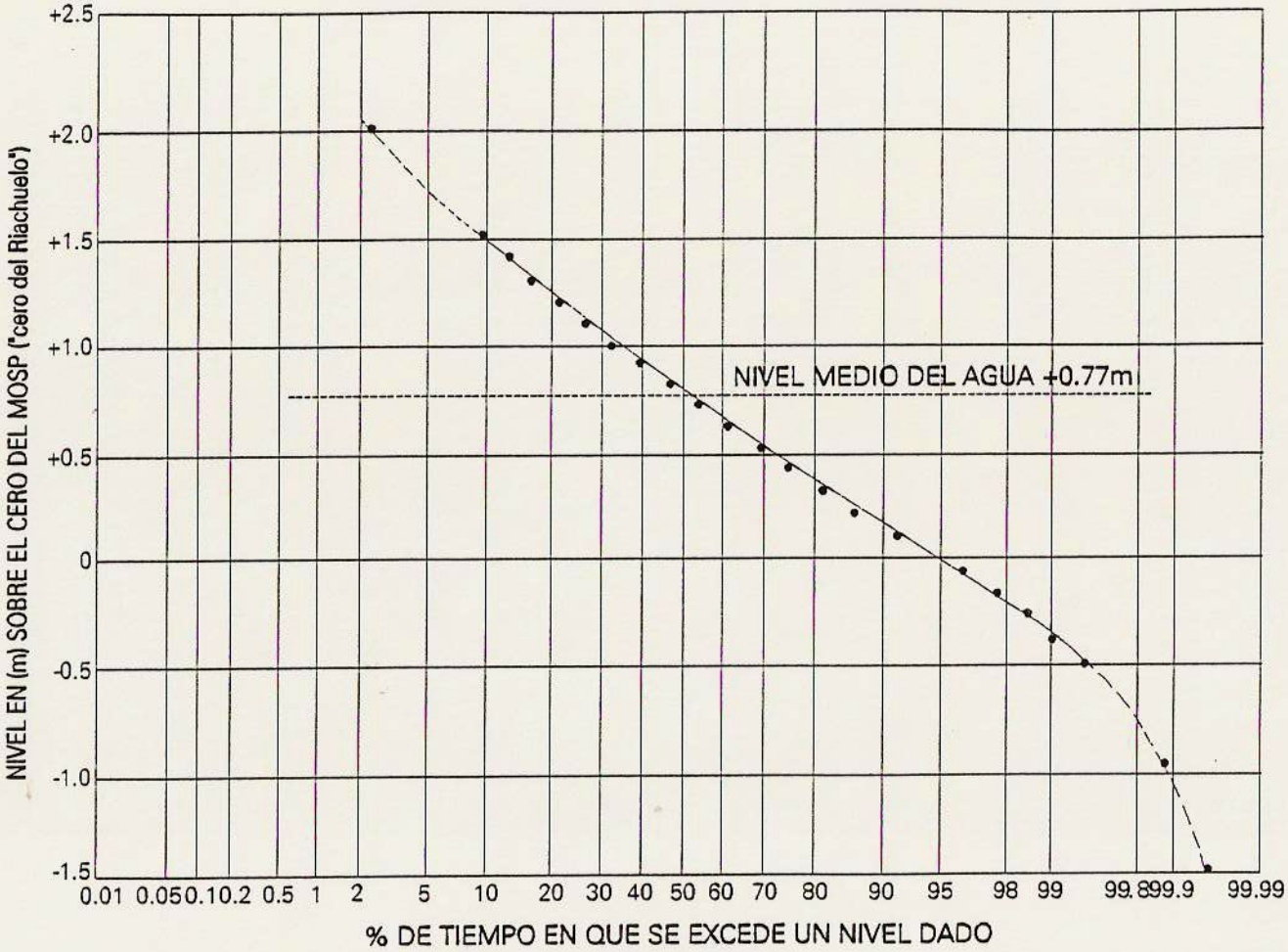


Figura 1.12

Fuente: Halcrow, 1969

ANALISIS ESTADISTICO DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE EL NIVEL EN BUENOS AIRES
Período: mayo 1965 - mayo 1966

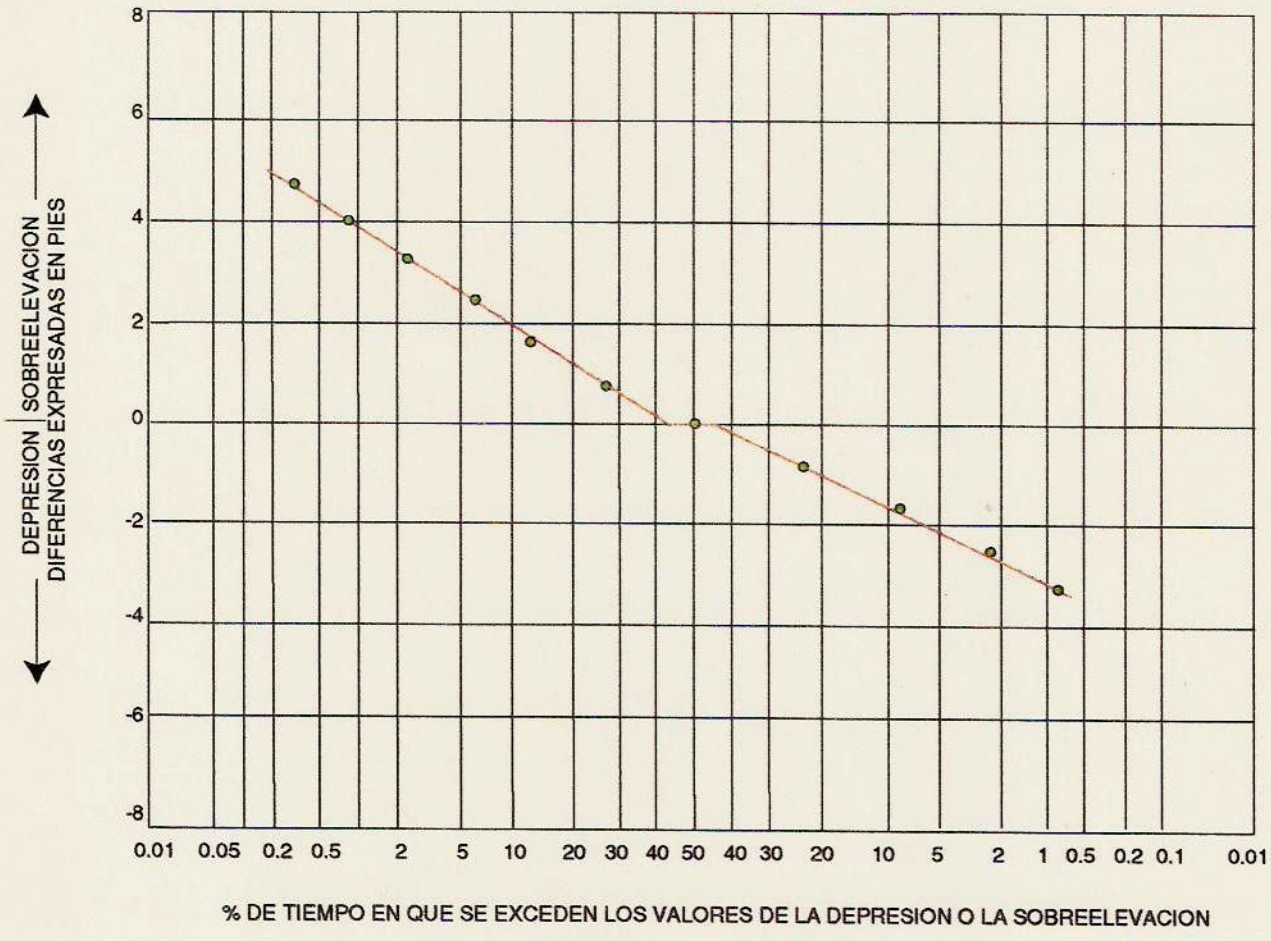


Figura 1.13

Fuente: Halcrow, 1969

FRECUENCIA DE NIVELES
CIUDAD DE BUENOS AIRES (1989-1991)

Fuente: INCYTH

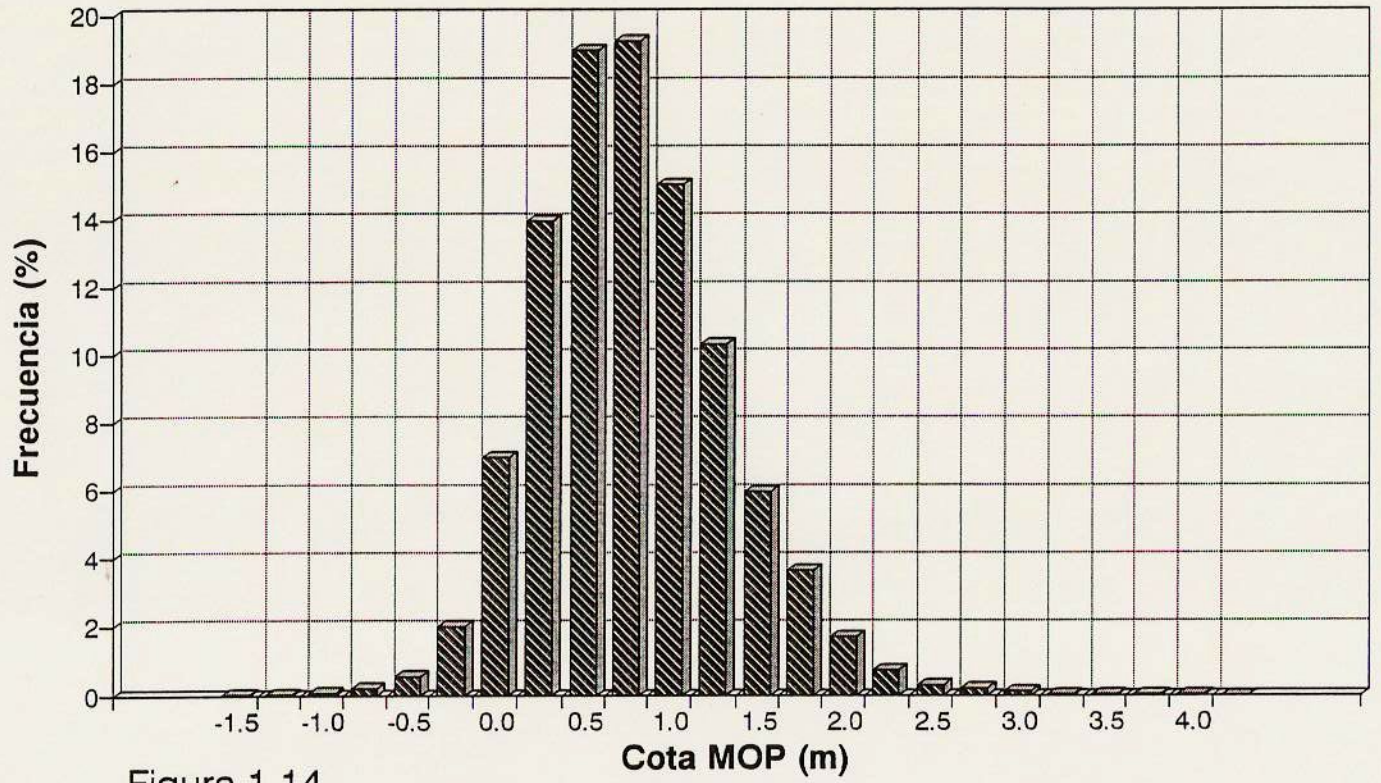


Figura 1.14

Archivo: fig1-1415.wq1

FRECUENCIA DE NIVELES
CIUDAD DE BUENOS AIRES (1989-1991)

Fuente: INCYTH

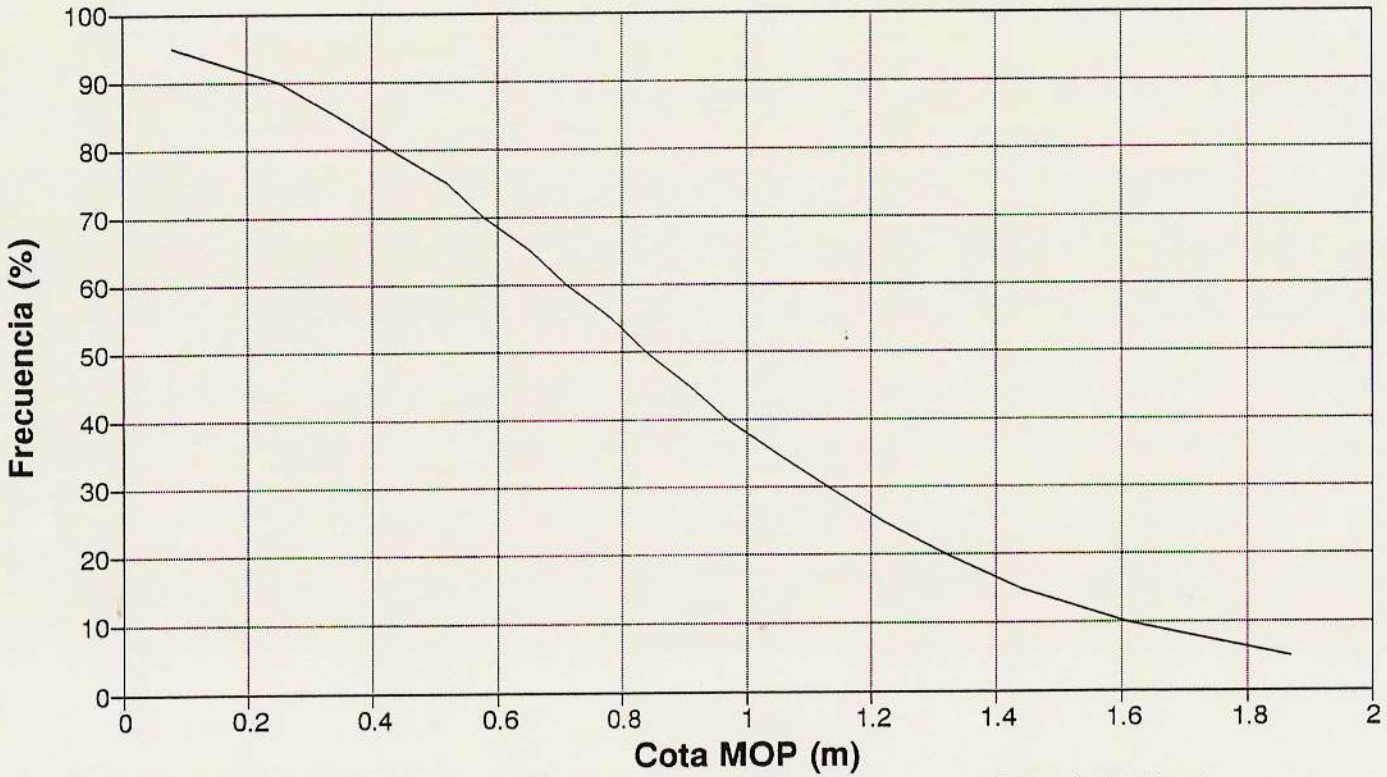


Figura 1.15

Archivo: fig1-1415.wq1

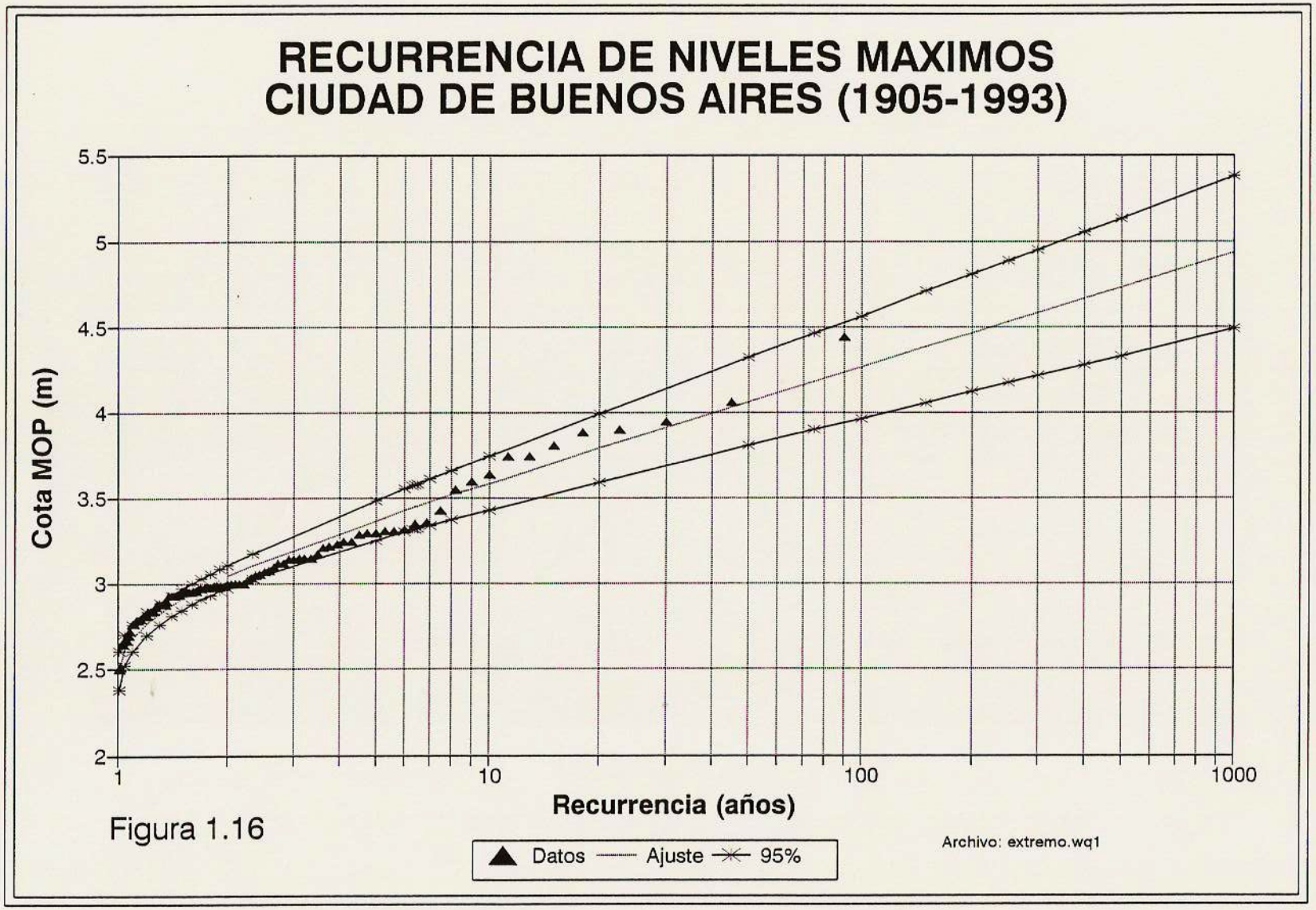
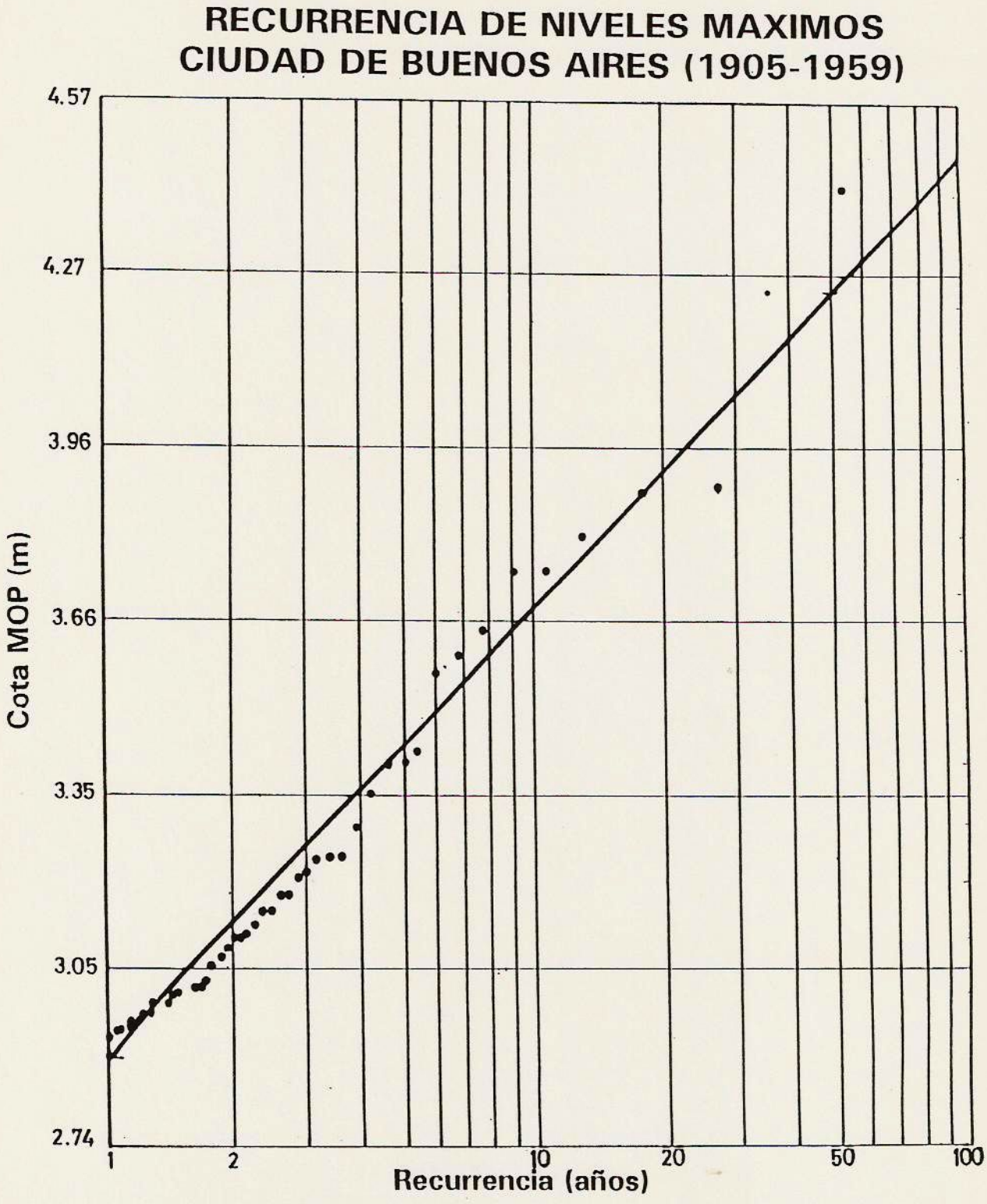

RECURRENCIA DE NIVELES MAXIMOS
CIUDAD DE BUENOS AIRES (1905-1993)
Cota MOP (m)
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1
10
100
1000
Recurrencia (años)
Datos
Ajuste
95%
Archivo: extremo.wq1

Figura 1.16



Fuente: Halcrow, 1969

Figura 1.17

RECURRENCIA DE NIVELES MAXIMOS EN MONTEVIDEO
Período: 1898-1978
Serie de máximos anuales

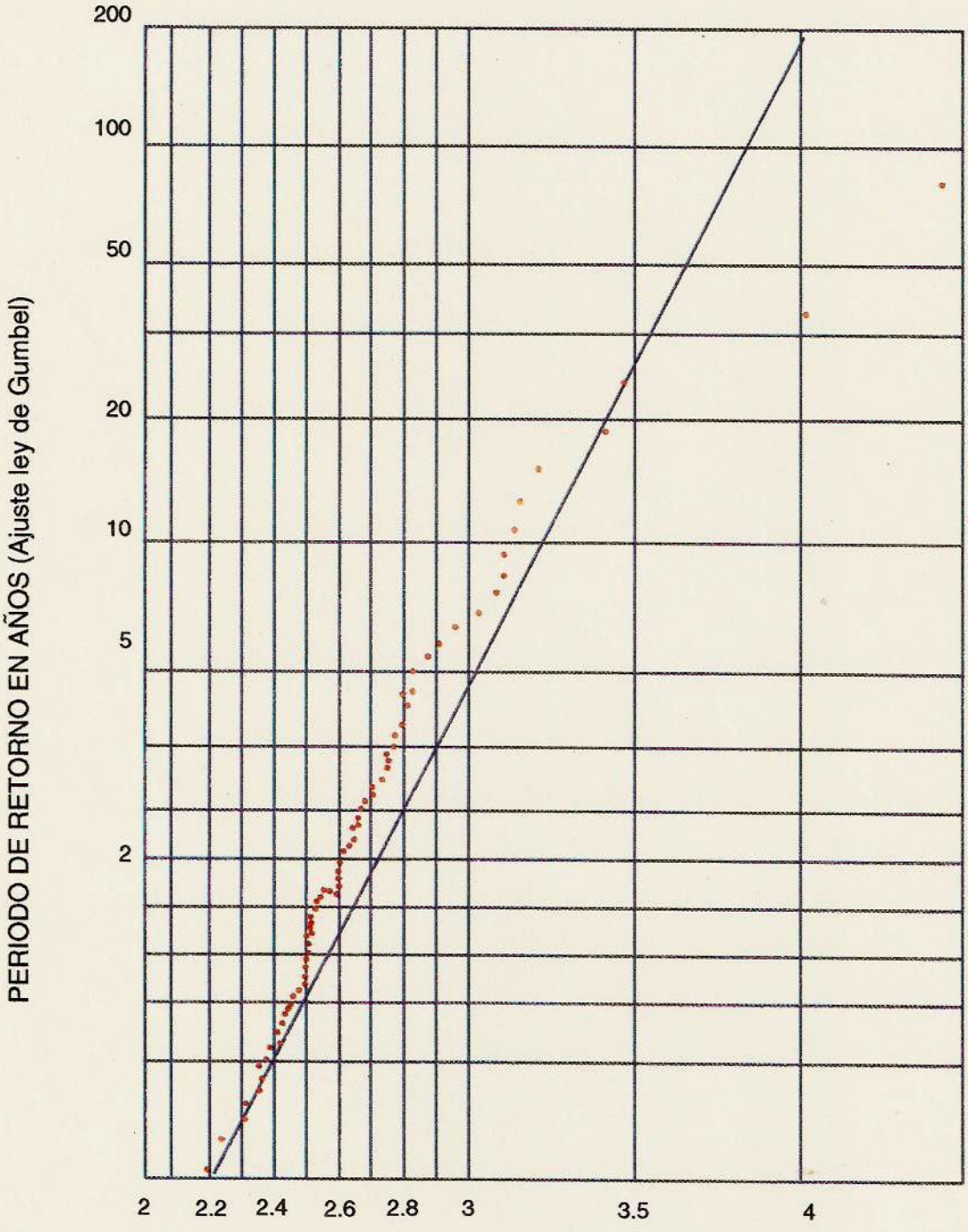


Figura 1.18

Fuente: PNUD, 1979

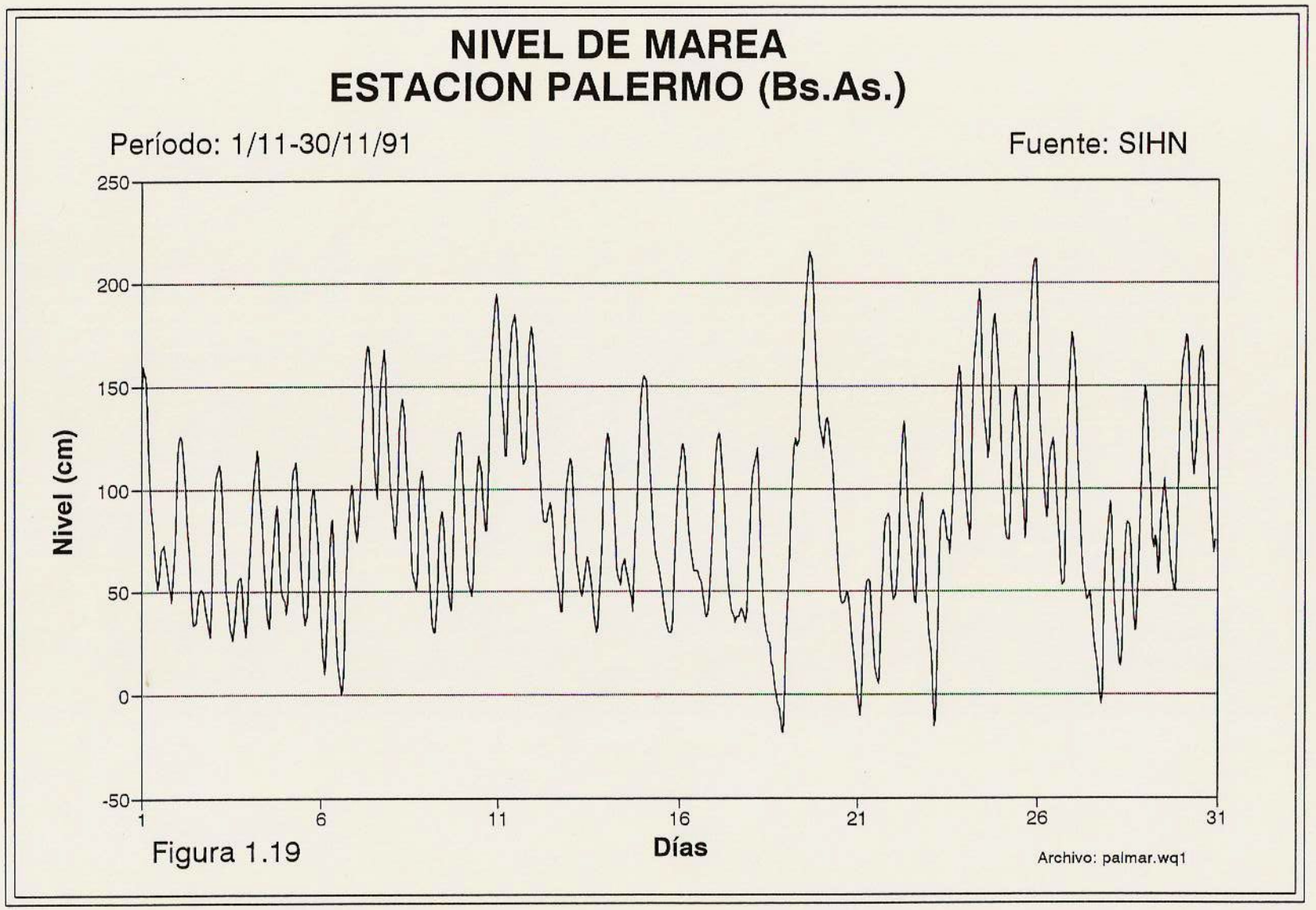

NIVEL DE MAREA
ESTACION PALERMO (Bs.As.)
Período: 1/11-30/11/91
Fuente: SIHN
Nivel (cm)
250
200
150
100
50
0
-50
1
6
11
16
21
26
31
Días
Archivo: palmar.wq1

Figura 1.19

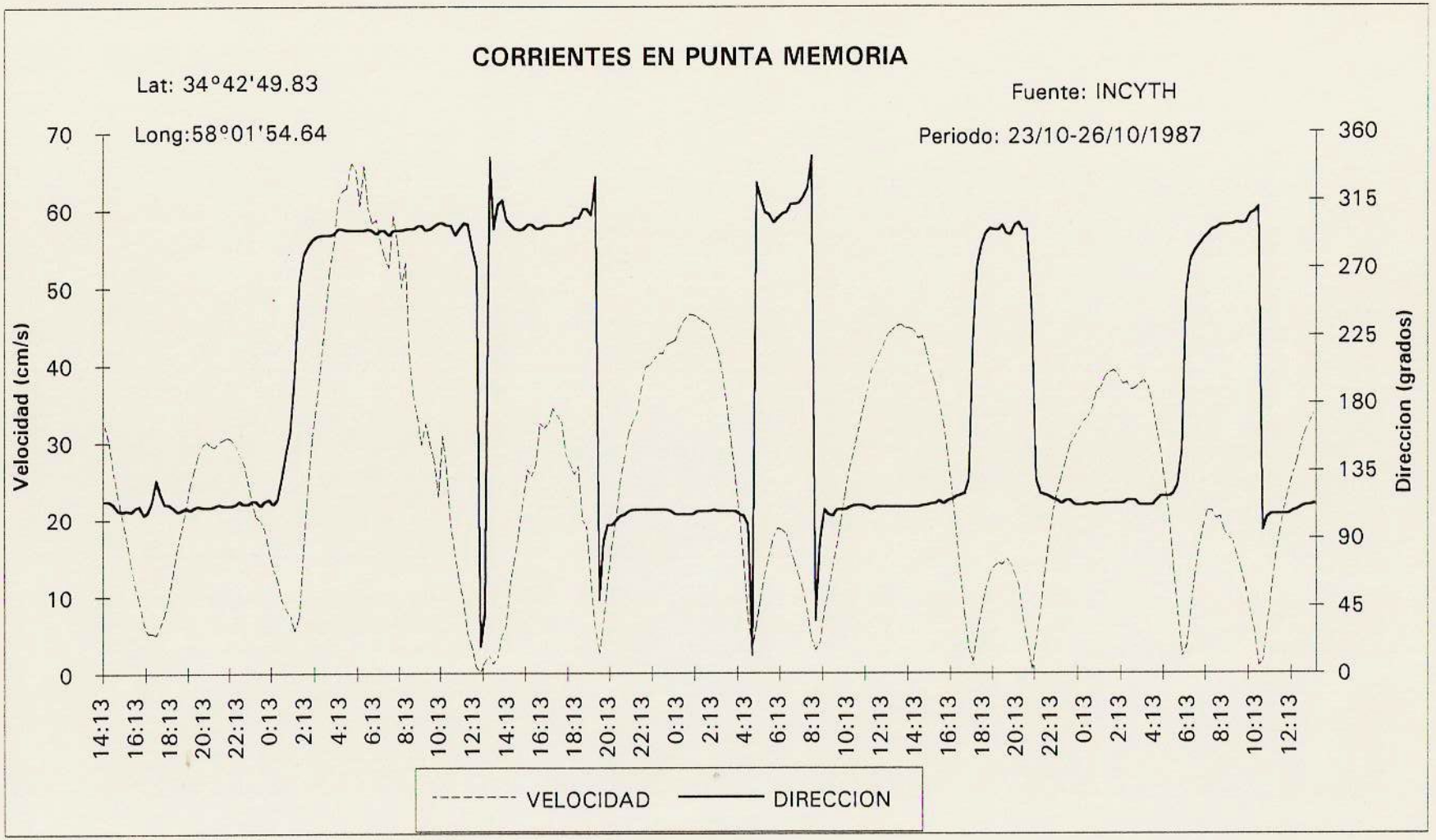


Figura 1.20

Archivo: TEMPSER.XLS Chart 1

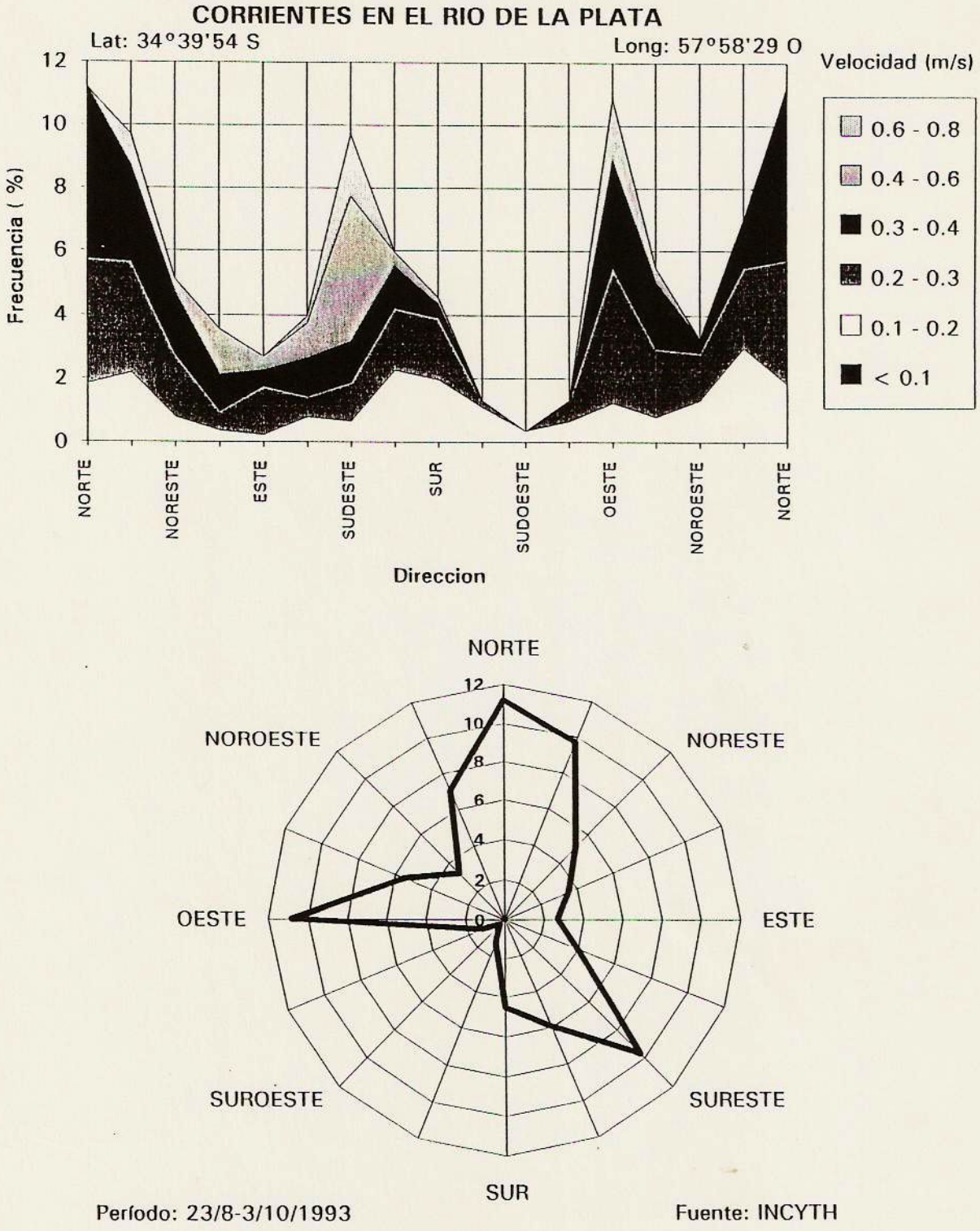
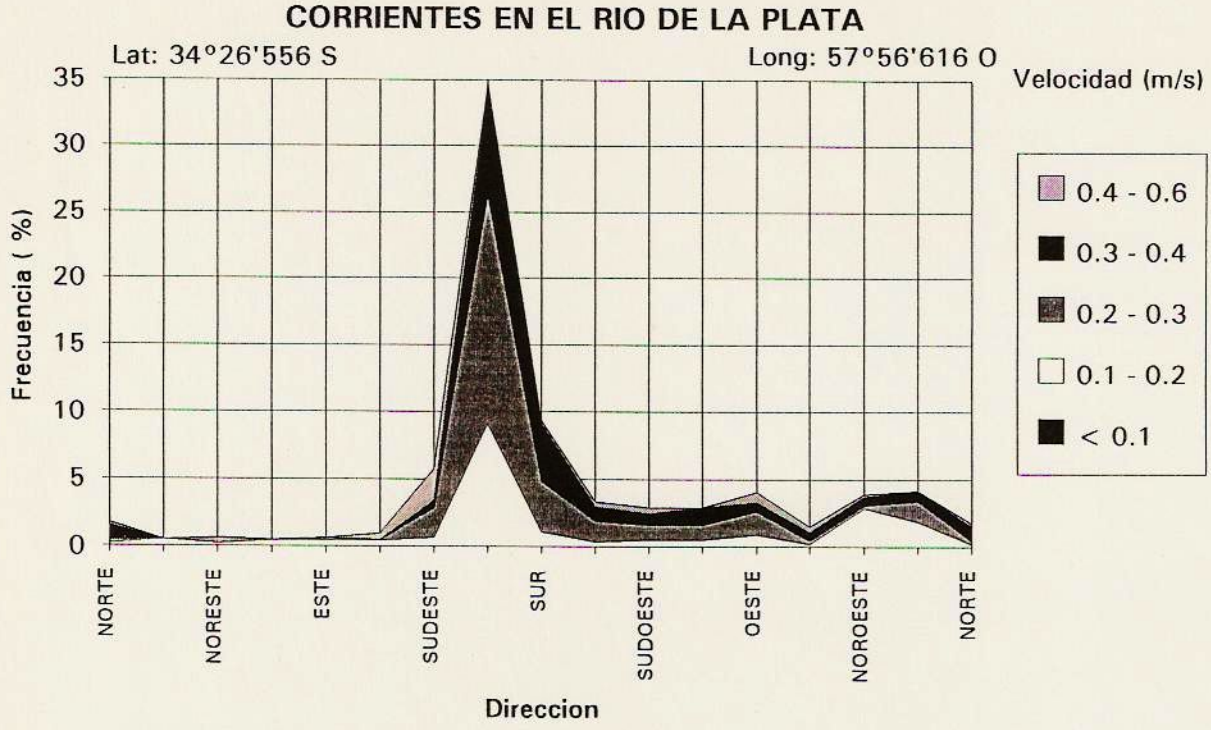
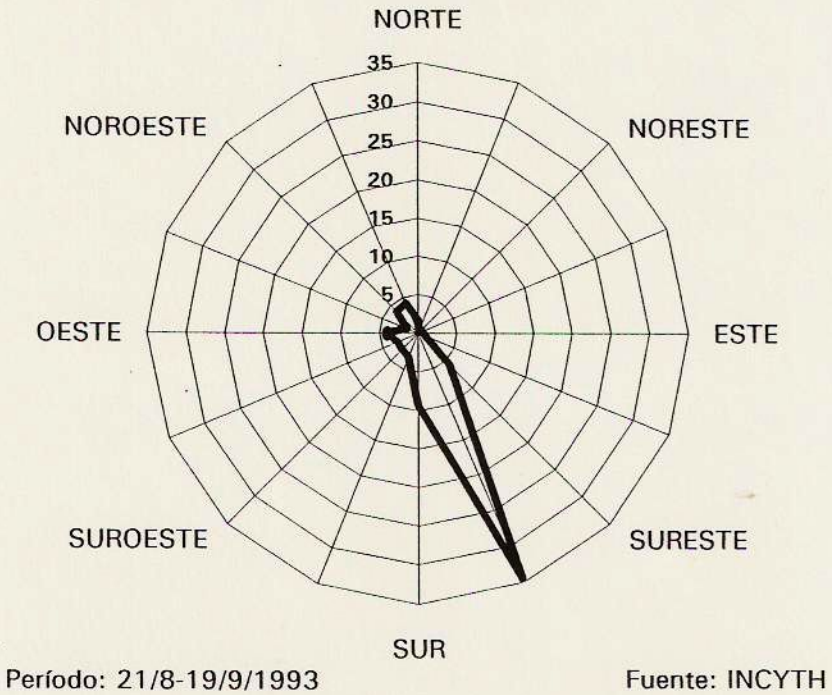


Figura 1.22 a

Archivo:CORRIENT.XLS Chart 20

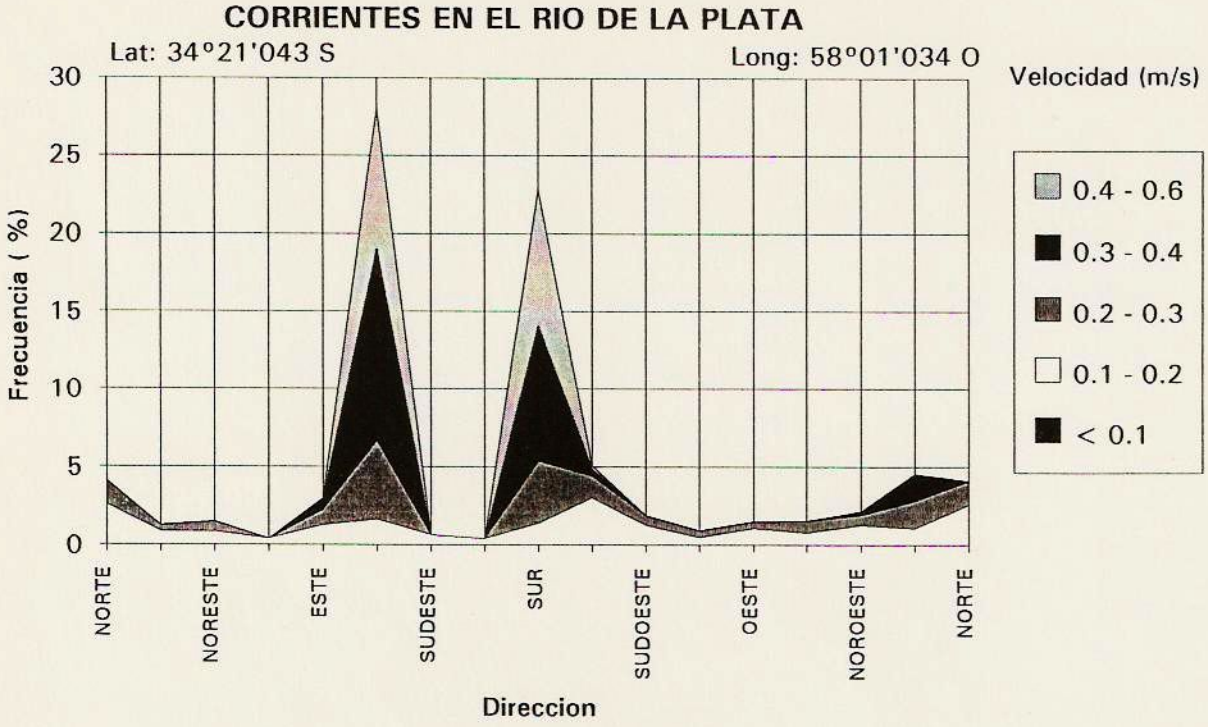


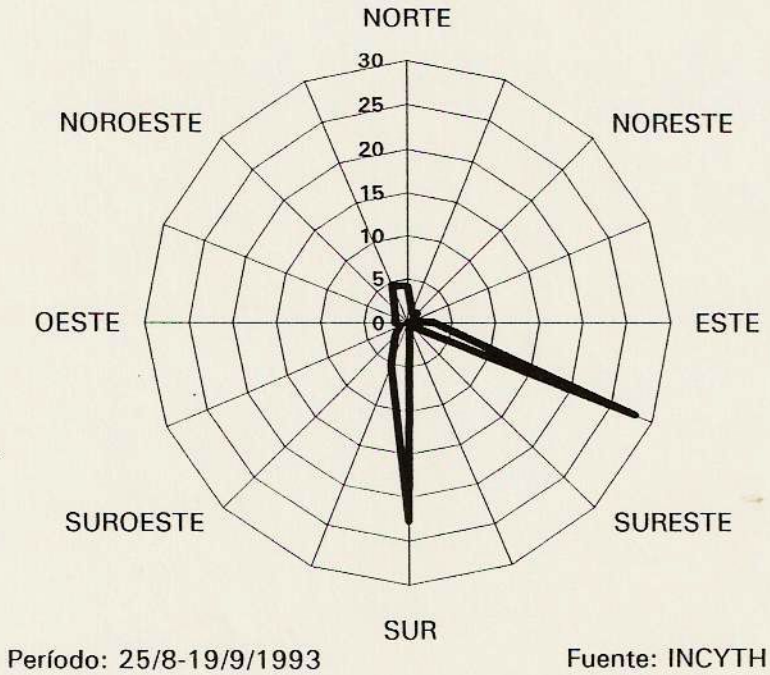


CORRENTOGRAFO C135

Figura 1.22 b

Archivo:CORRIENT.XLS Chart 21

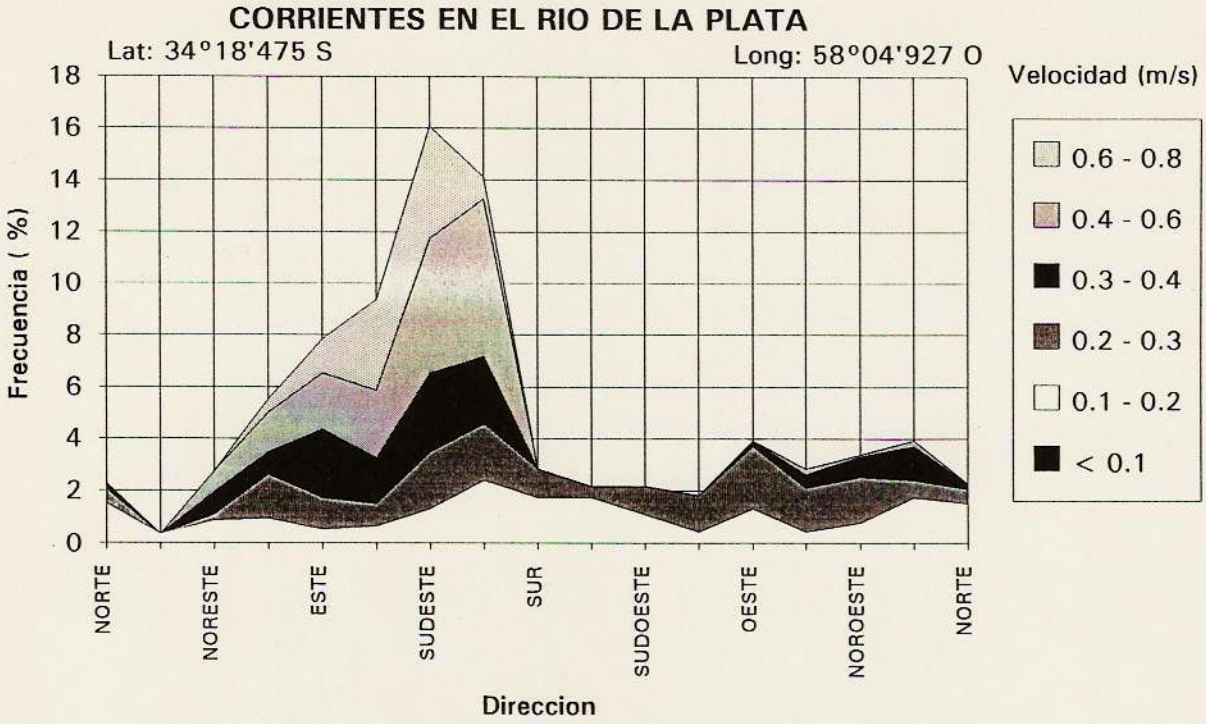


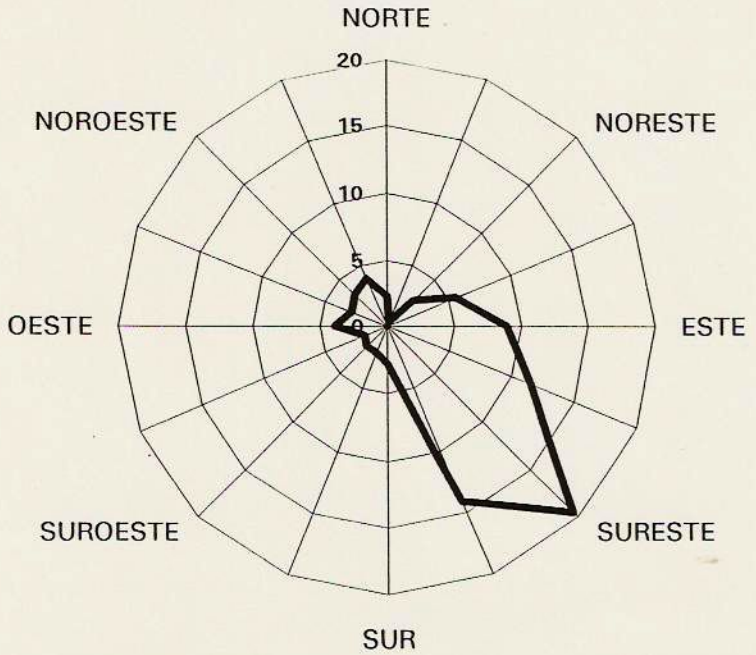


CORRENTOGRAFO C127

Figura 1.22 c

Archivo:CORRIENT.XLS Chart 22





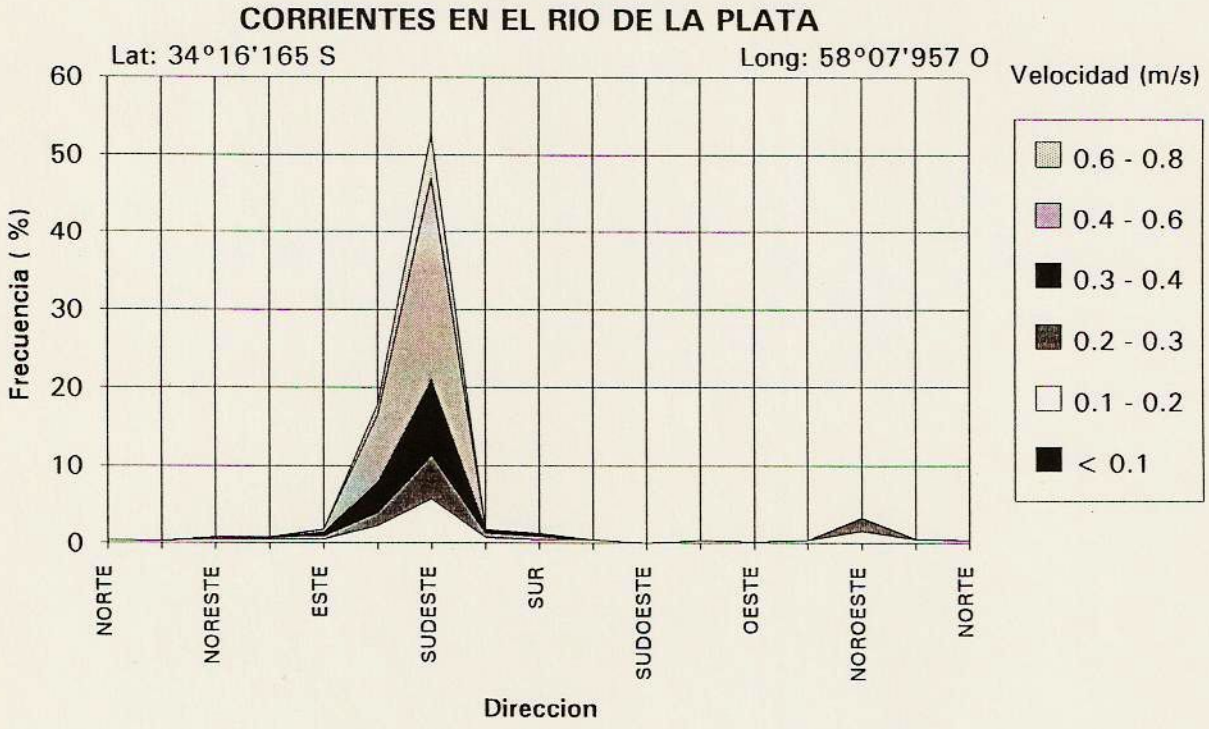
Período: 25/8-19/9/1993

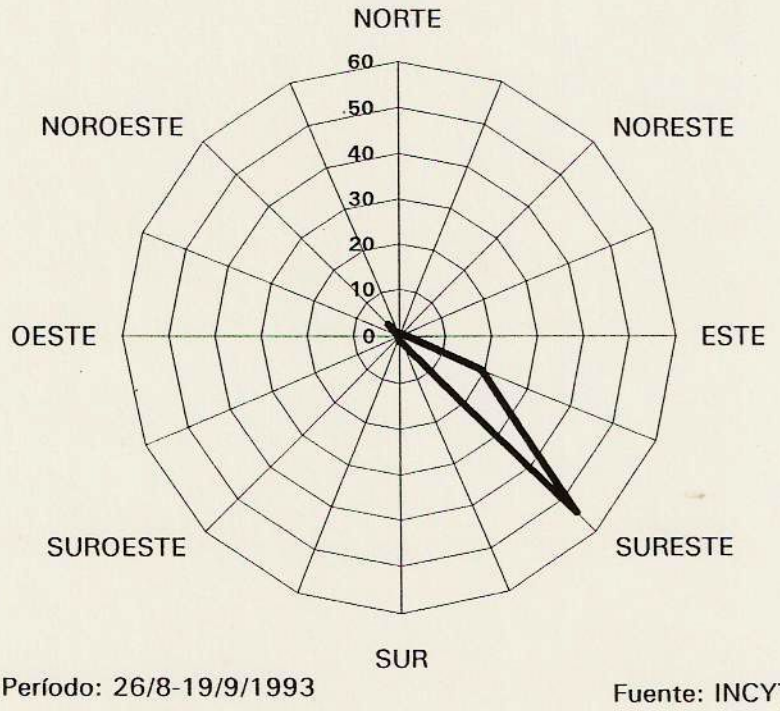
Fuente: INCYTH

CORRENTOGRAFO C132

Figura 1.22 d

Archivo:CORRIENT.XLS Chart 23

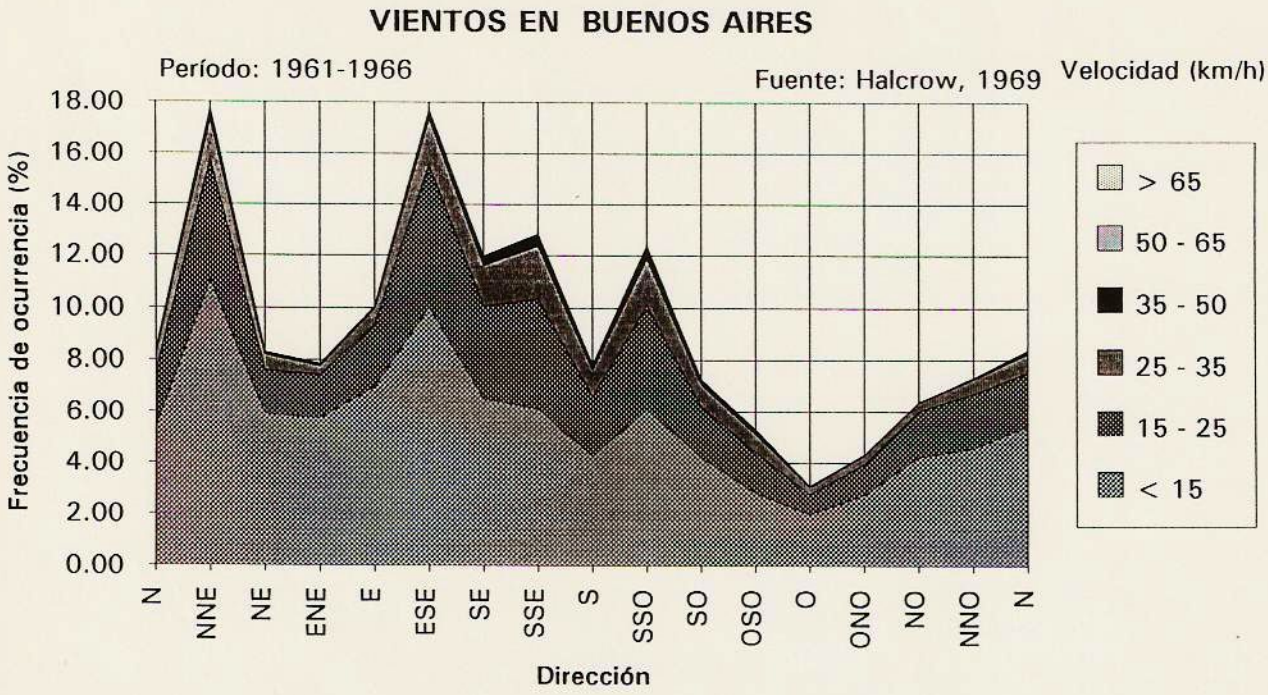




CORRENTOGRAFO C131

Figura 1.22 e

Archivo:CORRIENT.XLS Chart 24



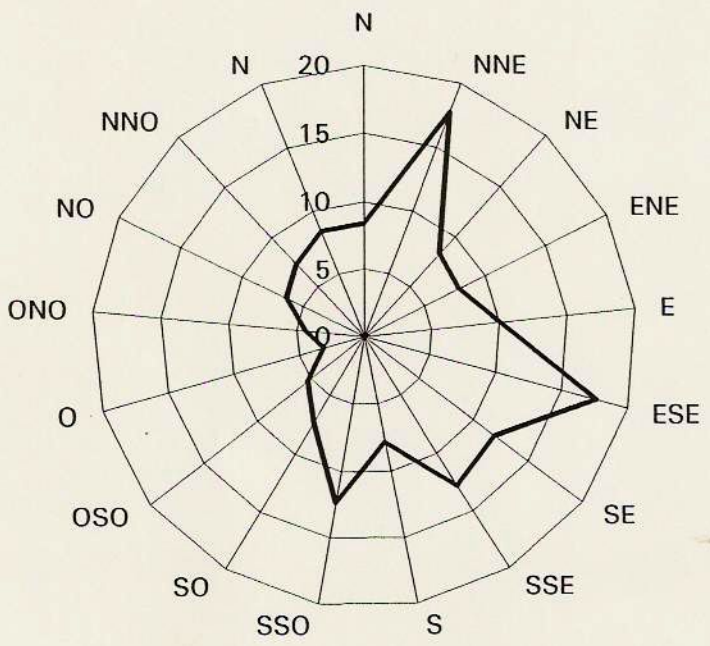
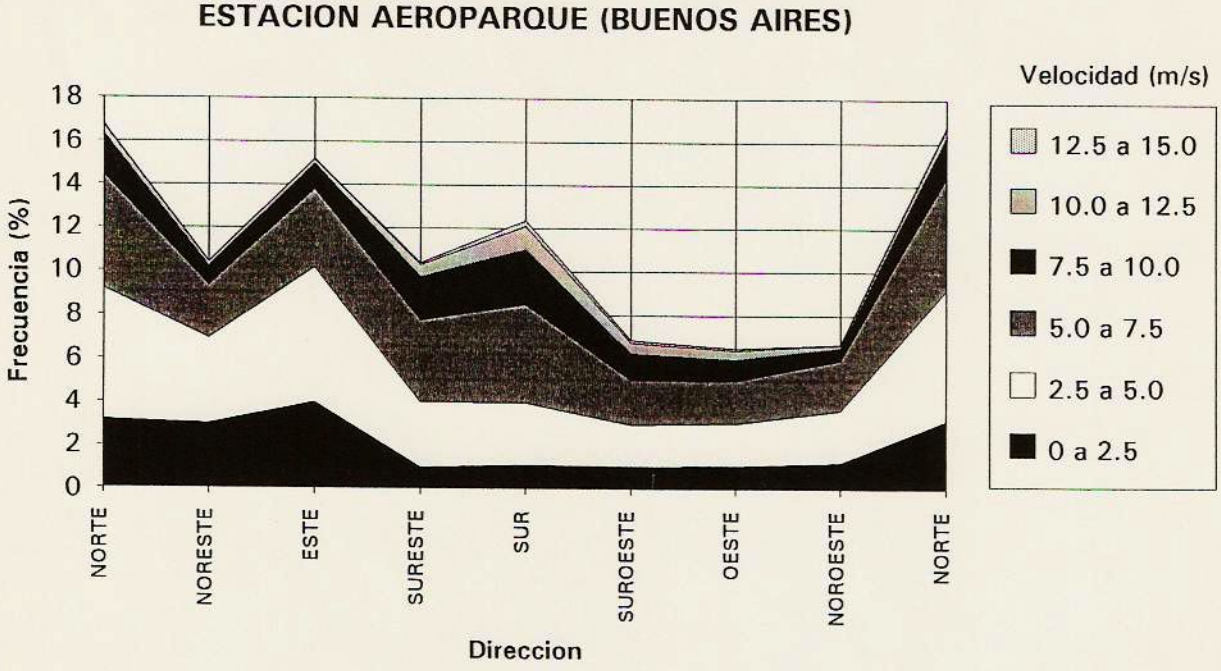
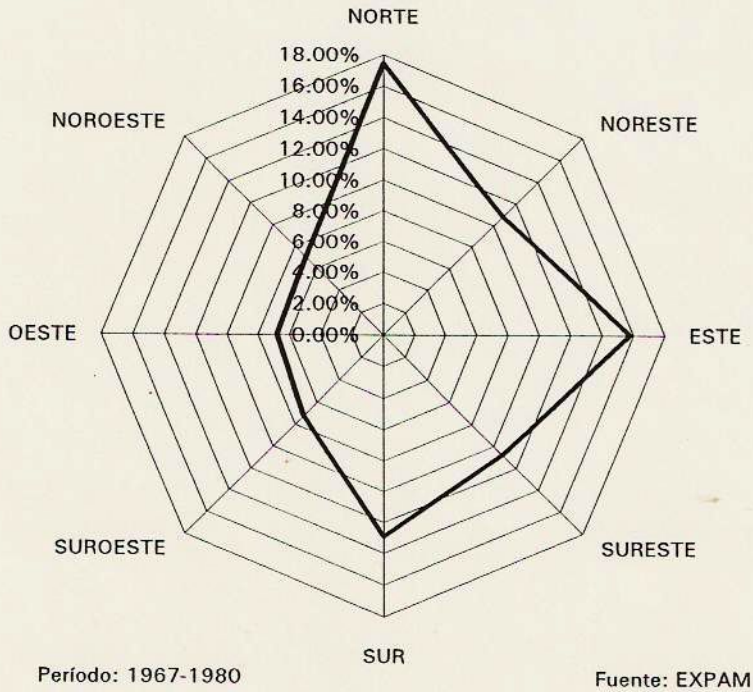


Figura 1.23

Archivo:TABWIND.XLS Chart 2





Período: 1967-1980

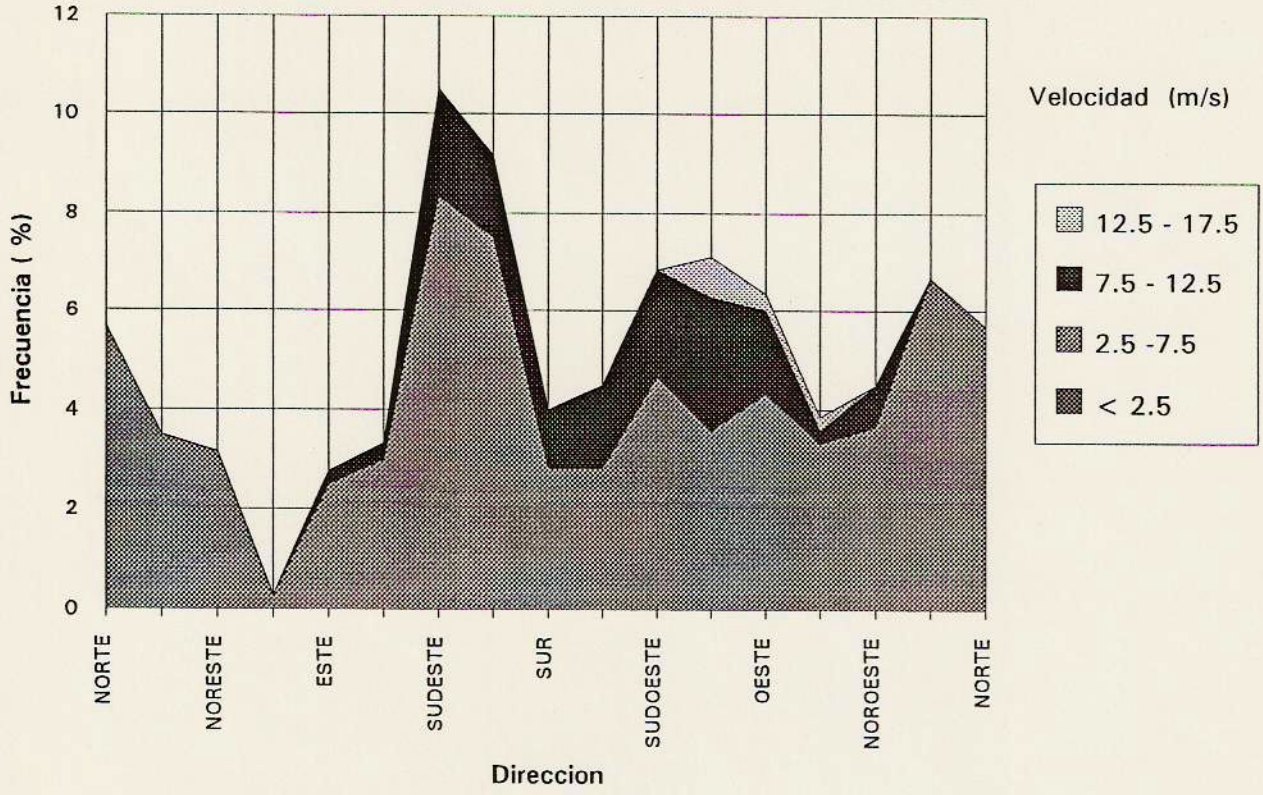
Fuente: EXPAM S.A. [16]

Figura 1.24

Archivo:KWIND.XLS Chart 6

VIENTOS EN ESTACION AEROPARQUE

Período: Abril-Junio 1984 Fuente: TECMES S.R.L.



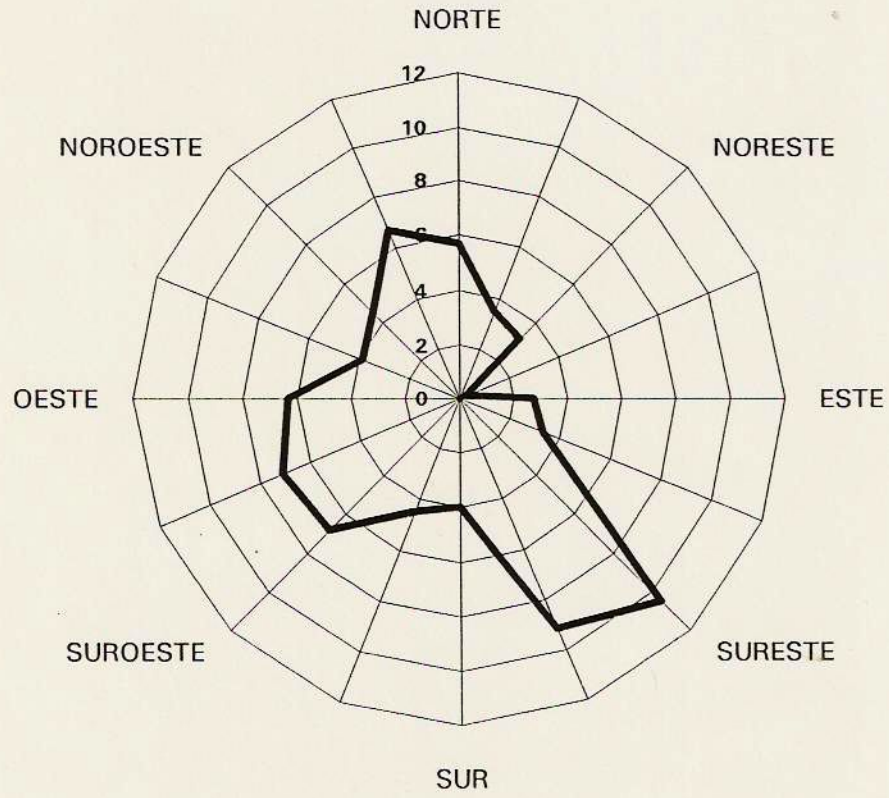


Figura 1.25 a

Archivo:VIENTOS.XLS Chart 15

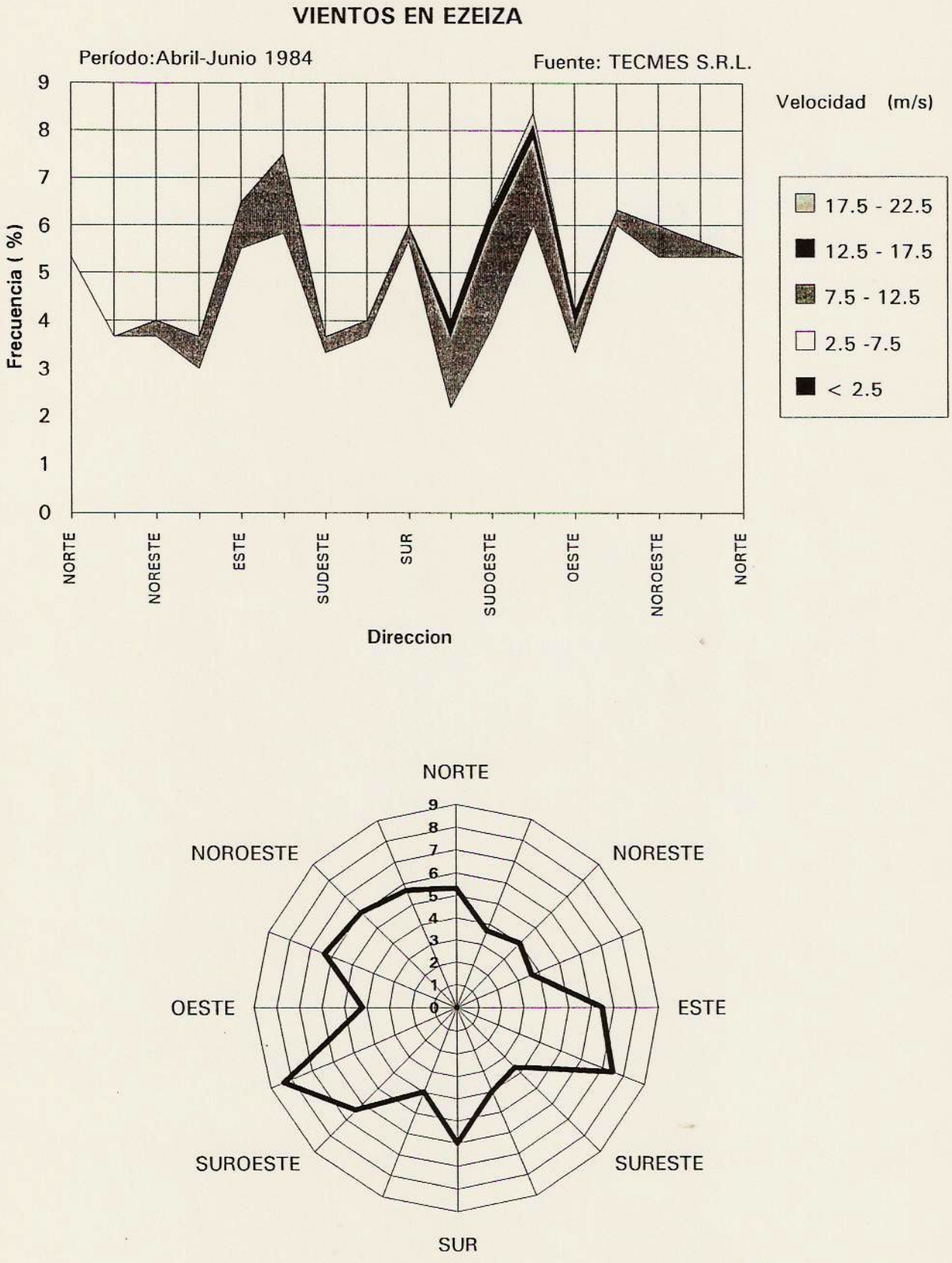
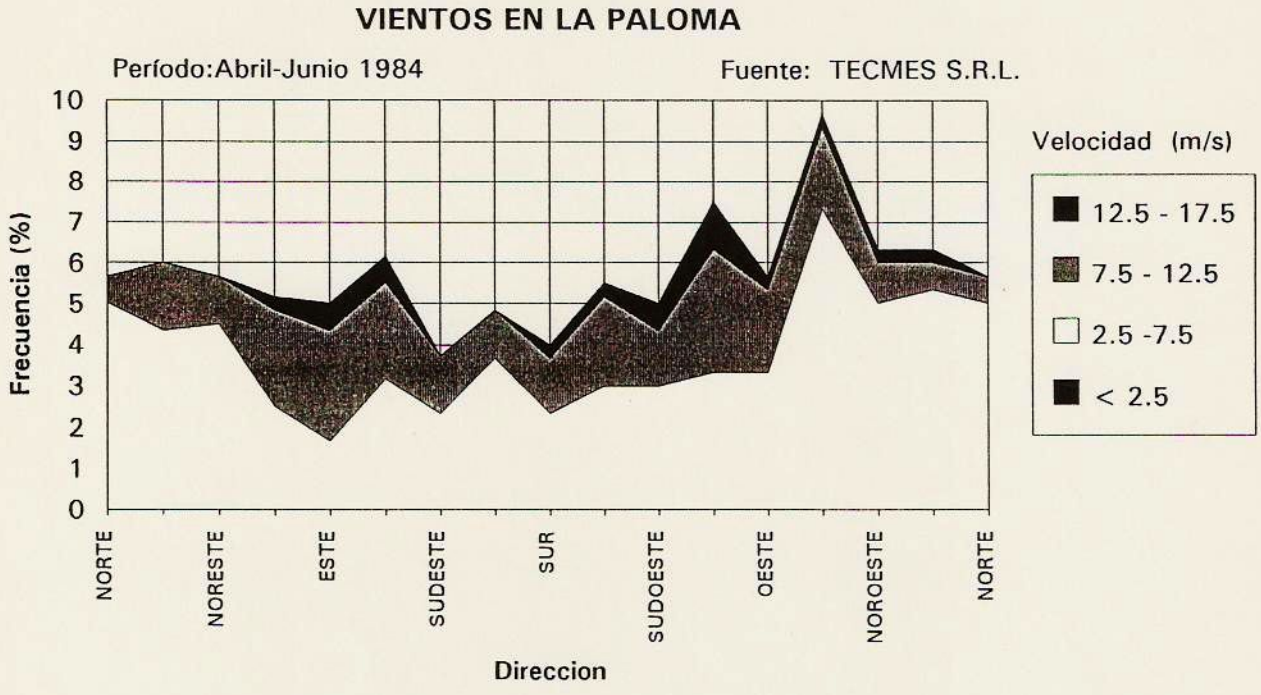


Figura 1.25 b

Archivo:VIENTOS.XLS Chart 14



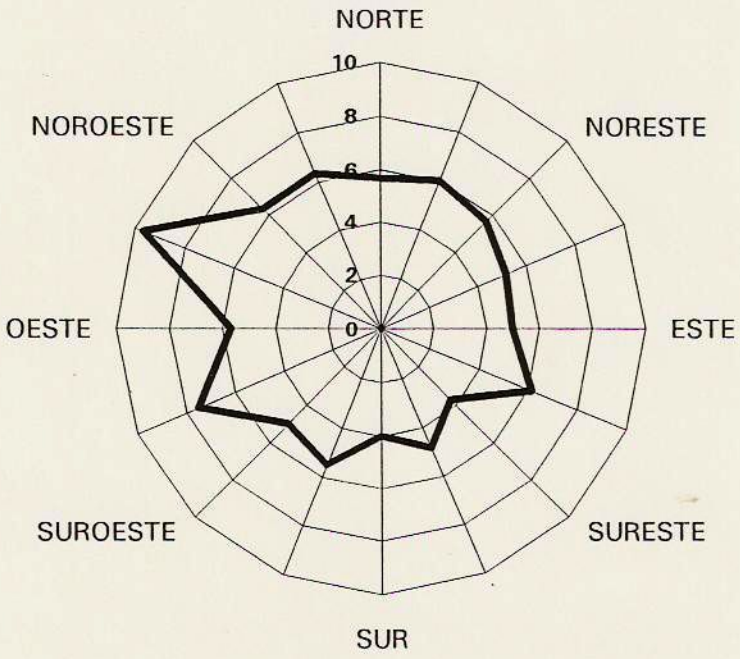
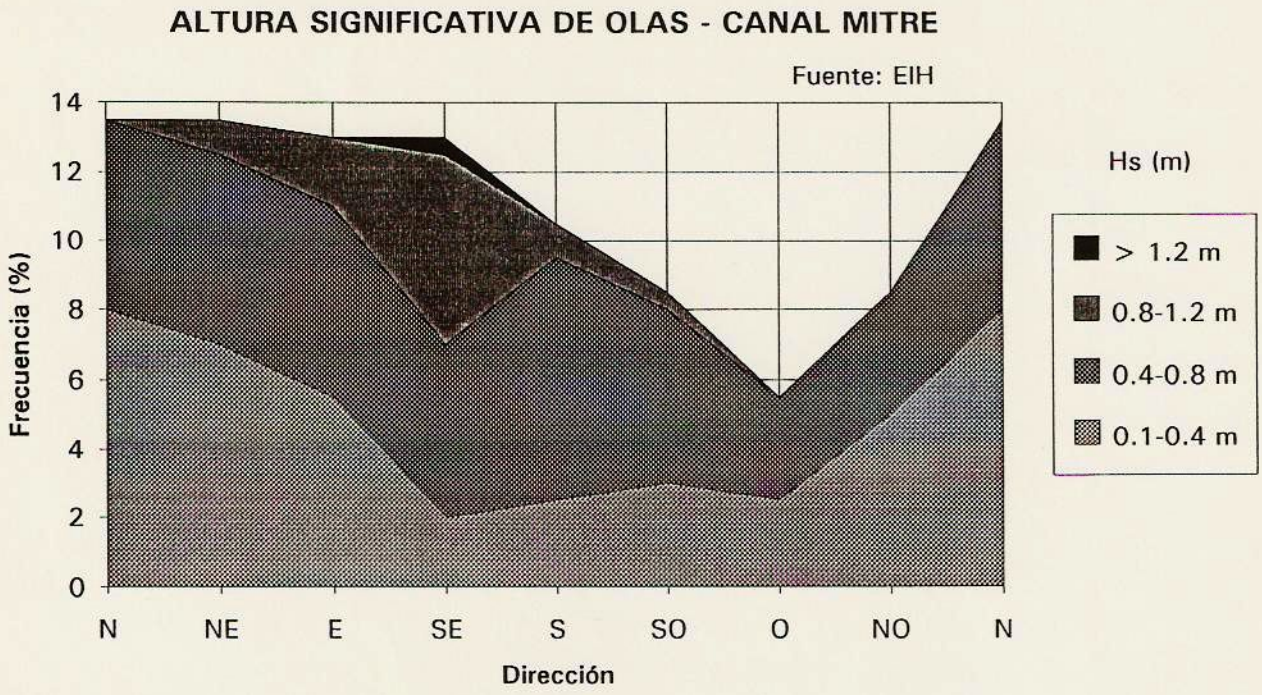


Figura 1.25 c

Archivo:VIENTOS.XLS Chart 11



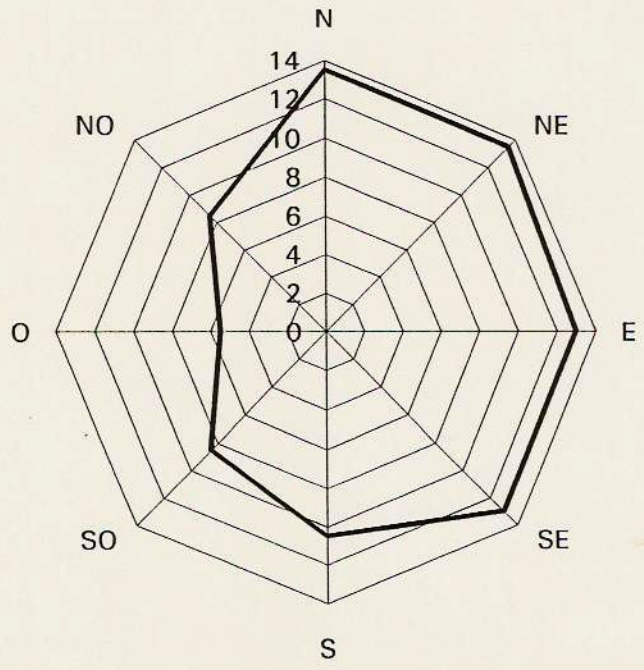
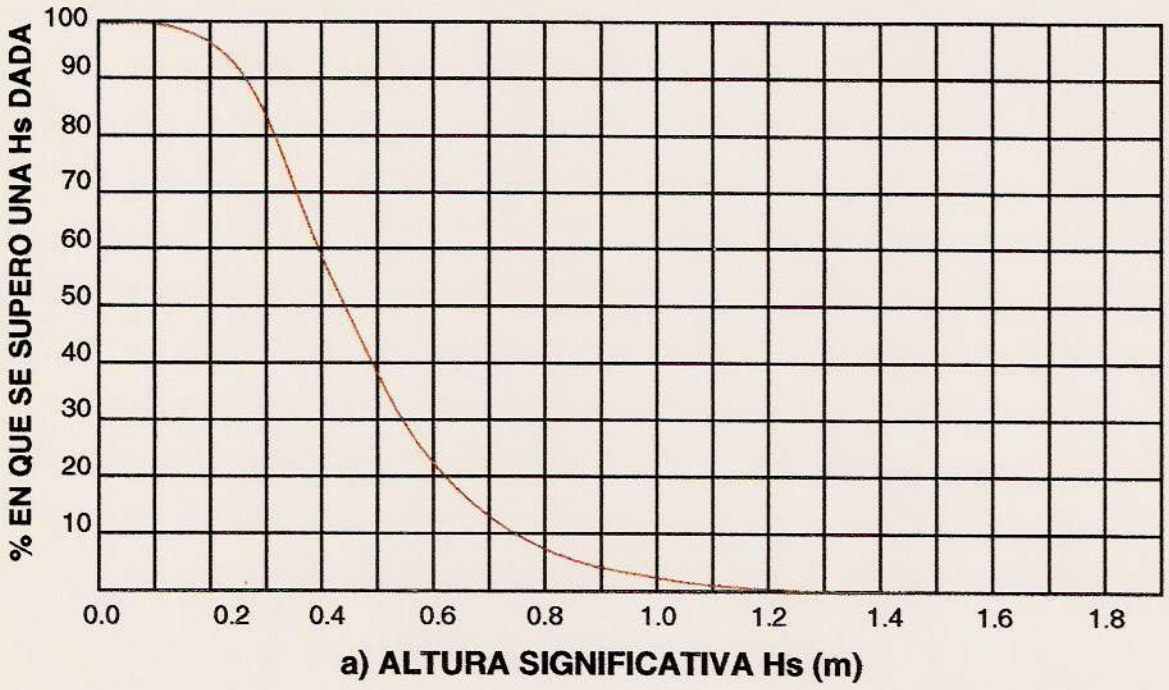


Figura 1.26

Archivo:MITREWAV.XLS Chart 2

Análisis estadístico de olas en Buenos Aires
a) Altura significativa
b) Período de cruce de cero



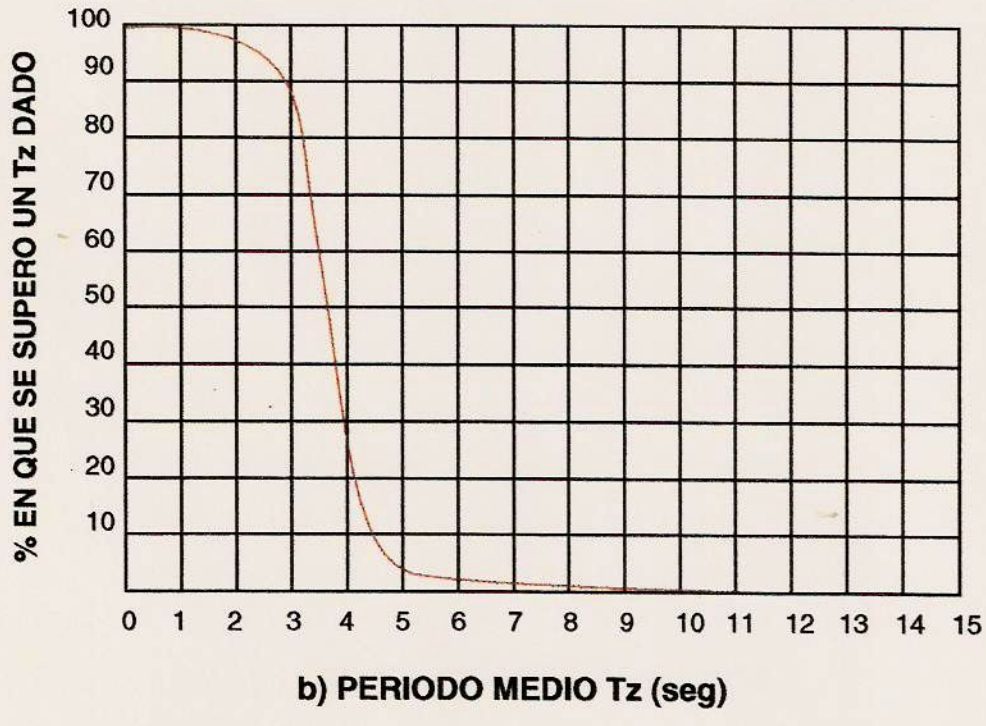
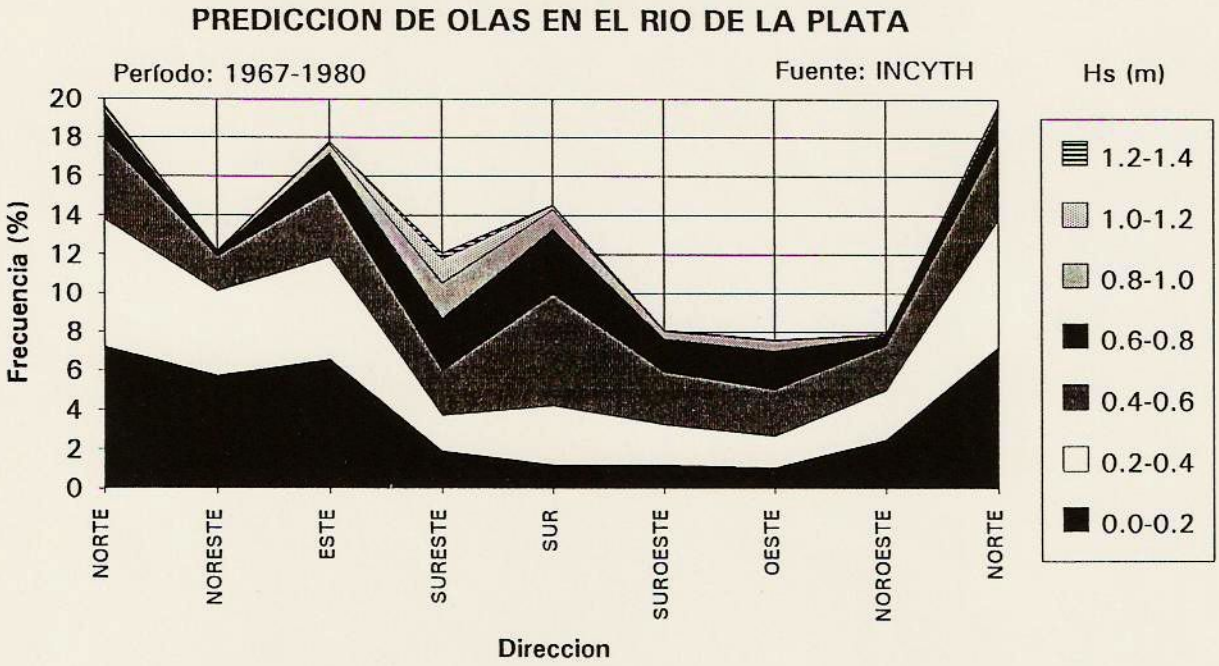


Figura 1.27

Fuente: Molinari-Castellano, 1990



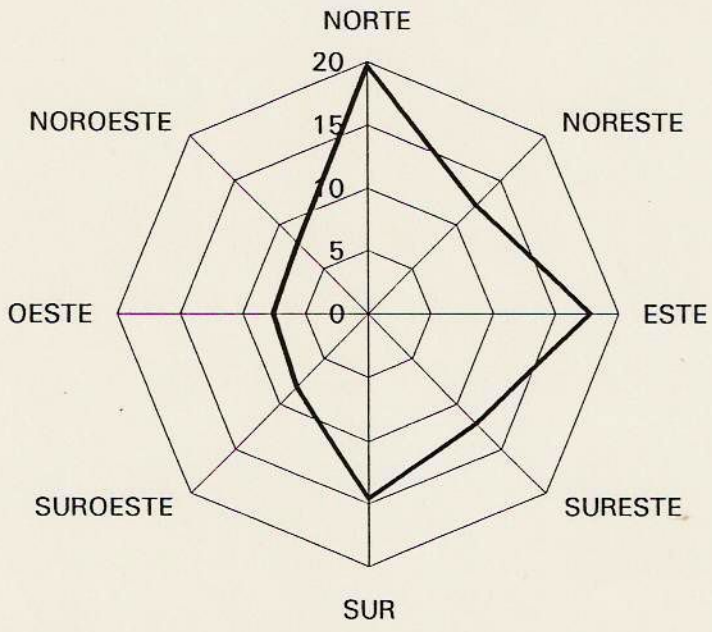


Figura 1.28

Archivo:OLAS1.XLS Chart 2

OLAS EN EL RIO DE LA PLATA (Bs.As.)
Alturas de Ola Extremas Anuales

Fuente: INCYTH

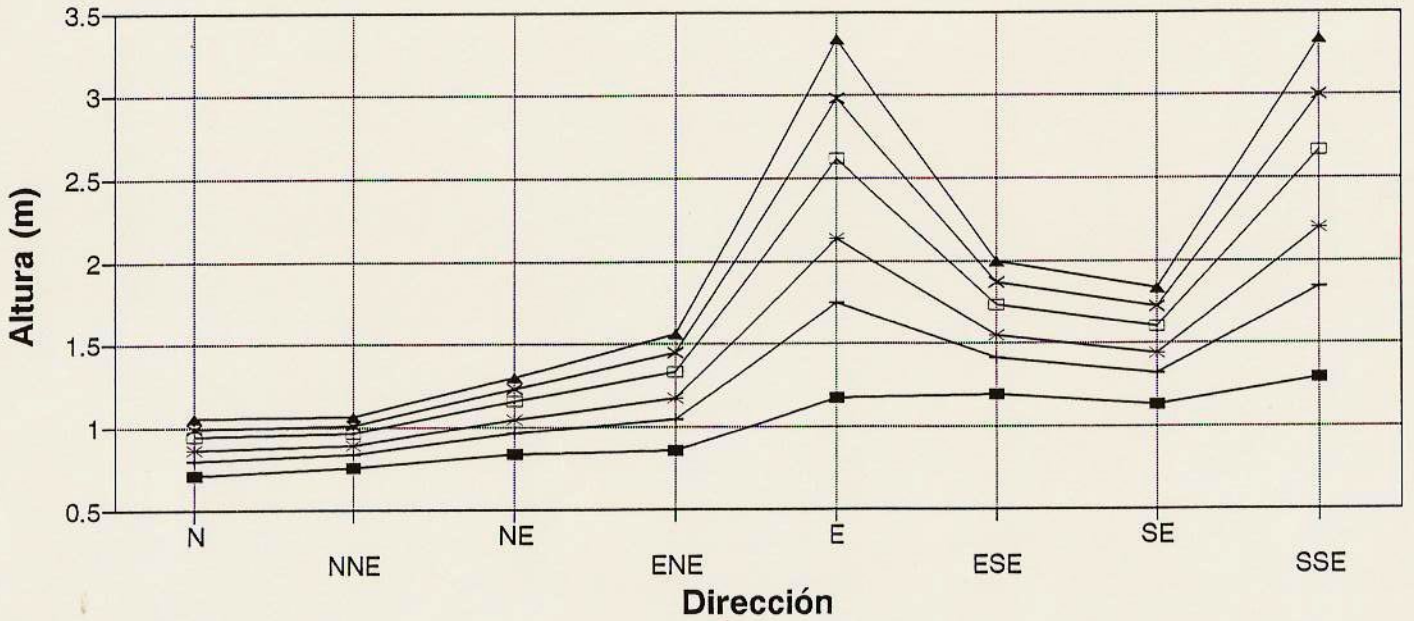
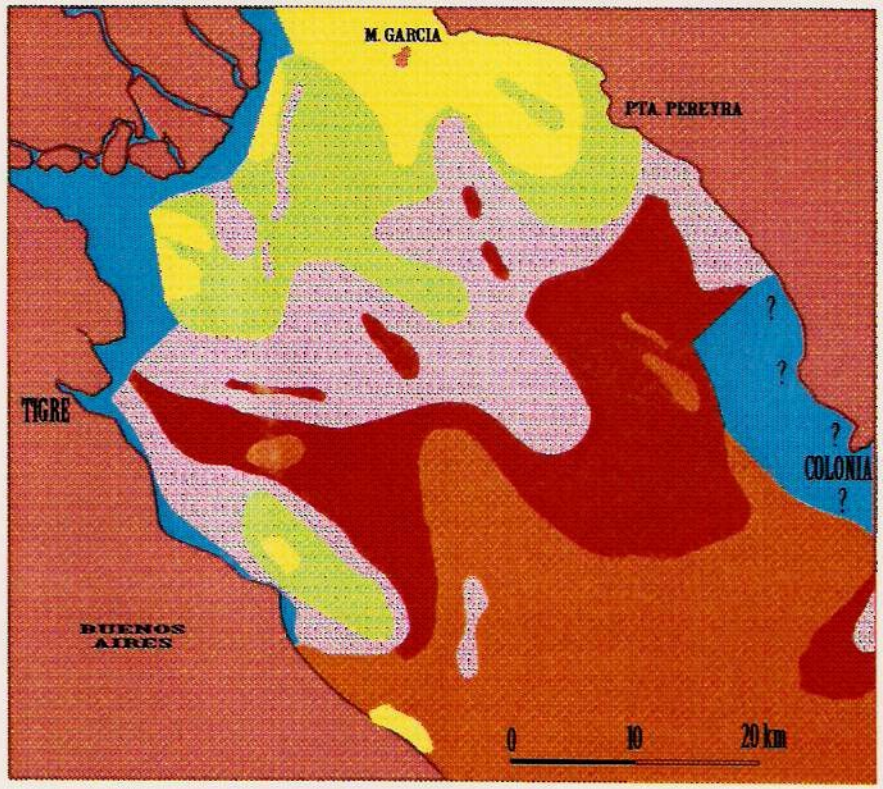


Figura 1.29

Archivo: recuolas.wq1

MATERIAL DE FONDO EN EL RIO DE LA PLATA MEDIO



Porcentaje de fracción gruesa

- **ARENAS** (> 75%)
- **ARENAS LIMOSAS** (50–75%)
- **LIMOS ARENOSOS** (25–50%)
- **LIMOS** (5–25%)
- **FANGOS EN GENERAL** (<5%)

Figura 1.30

Fuente: Urien, 1966

MATERIAL DE FONDO EN EL RIO DE LA PLATA EXTERIOR

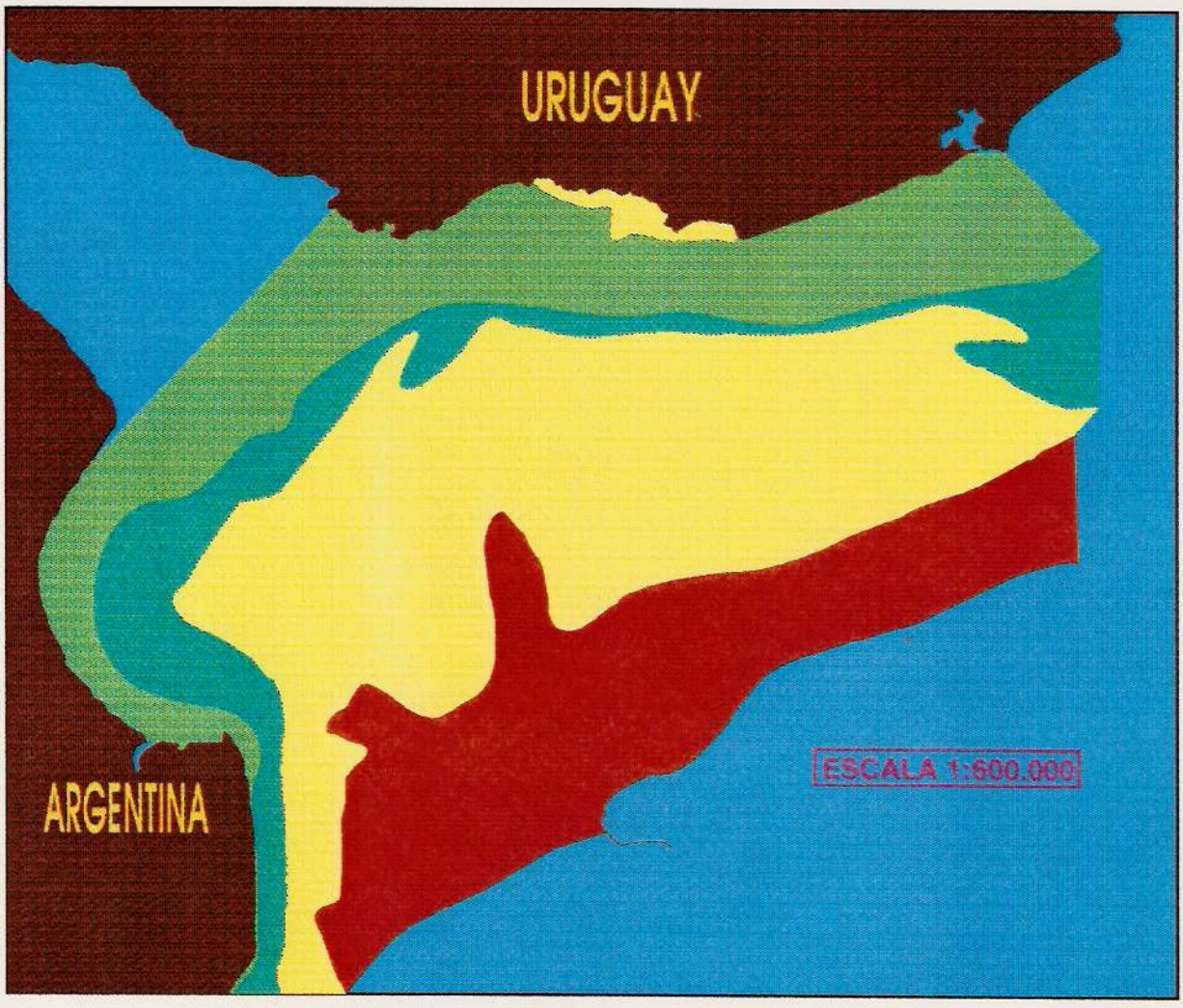


FIGURA 1.31

Fuente: Ottman y Urien, 1965a

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE FONDO A LO LARGO DEL EJE DEL CANAL MITRE

Fuente: EIH, 1985

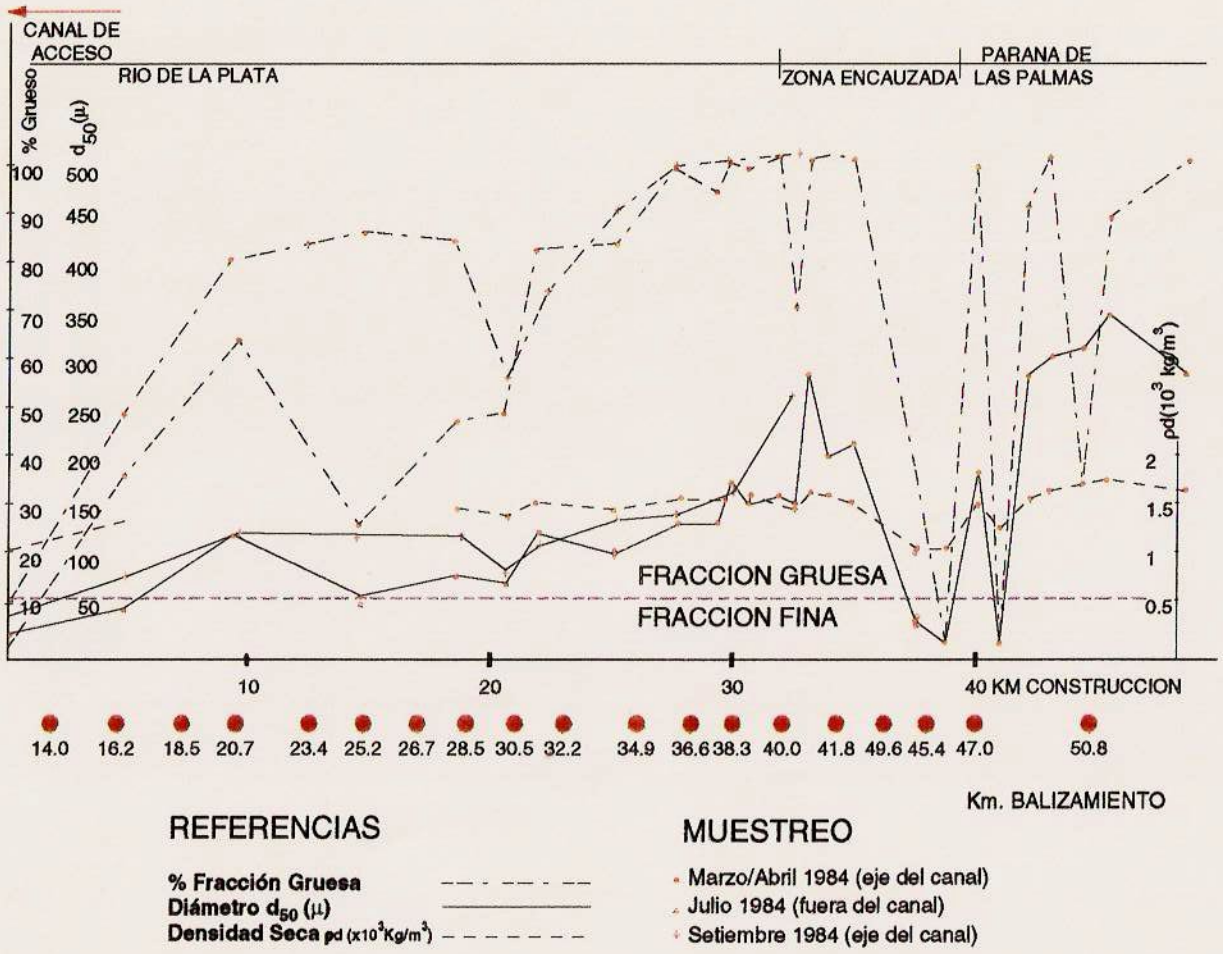
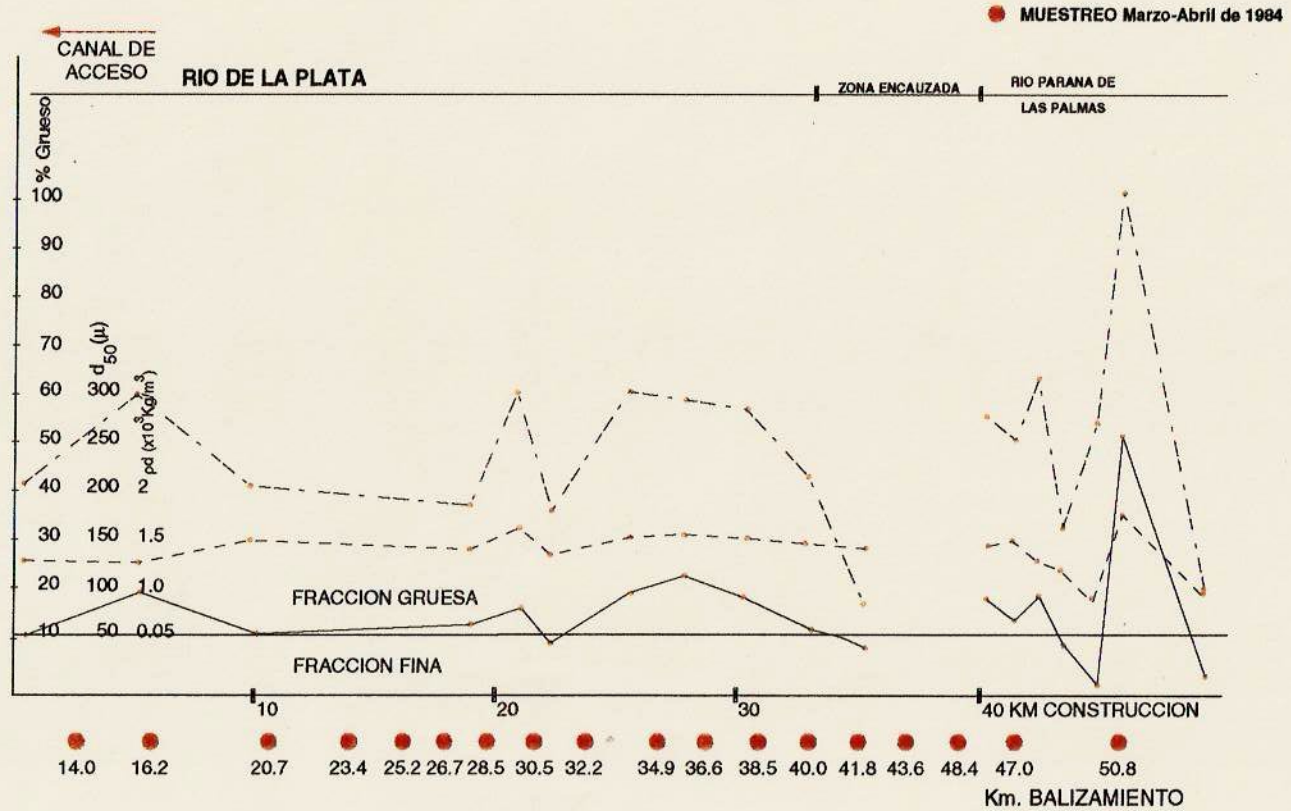


Figura 1.32

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE FONDO SOBRE LOS EXPLAYADOS ADYACENTES AL CANAL MITRE

Fuente: EIH, 1985



REFERENCIAS

% Fracción Gruesa – – – – – –
Diámetro d_{50} (μ) ————
Densidad Seca ρ_d (x10^{3}Kg/m^3) – – – – – –

FIGURA 1.33

COMPOSICION DE LOS DEPOSITOS EN EL CANAL MITRE LUEGO DE GRANDES CRECIDAS

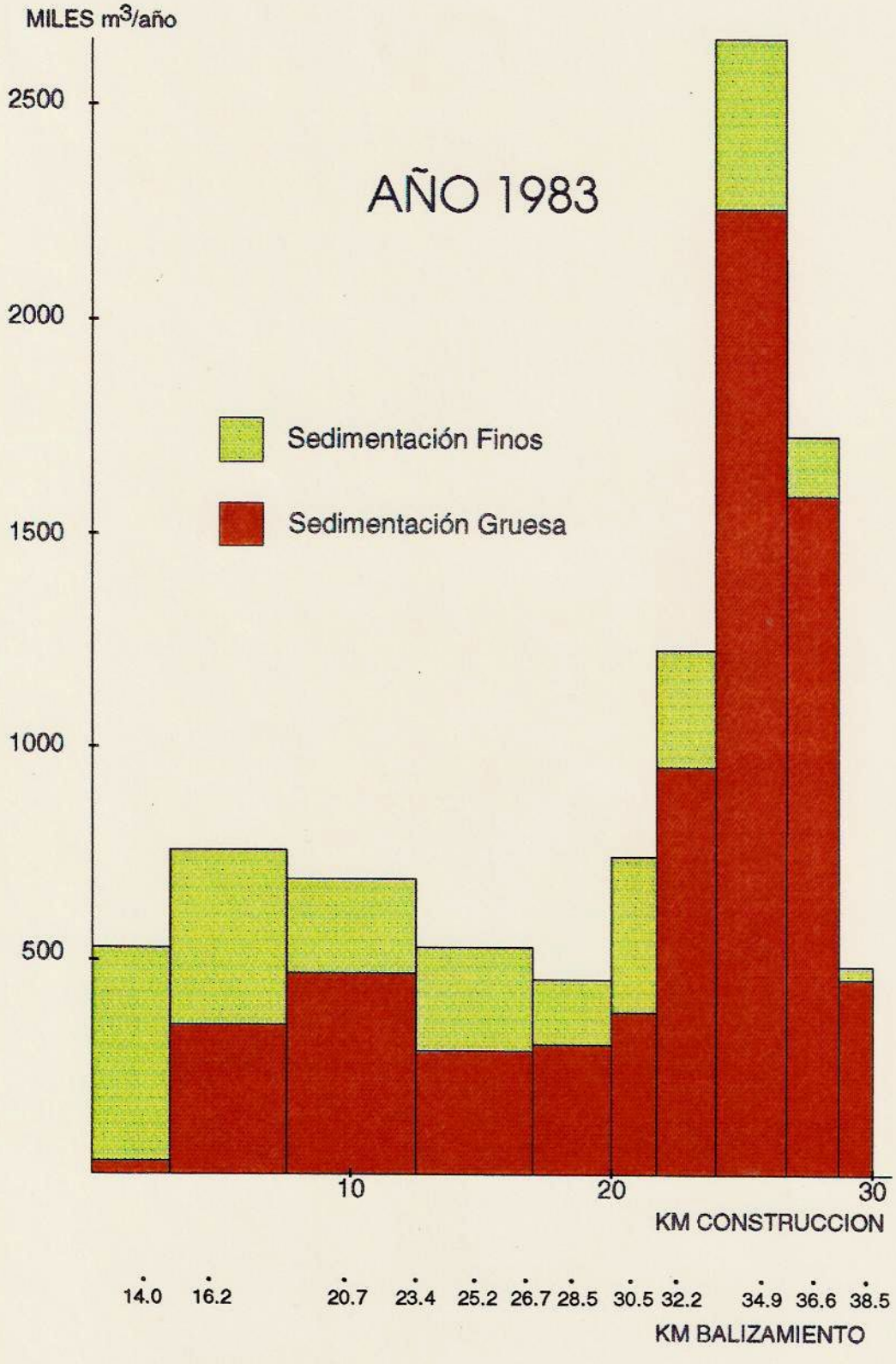


Figura 1.34

Fuente: EIH, 1985

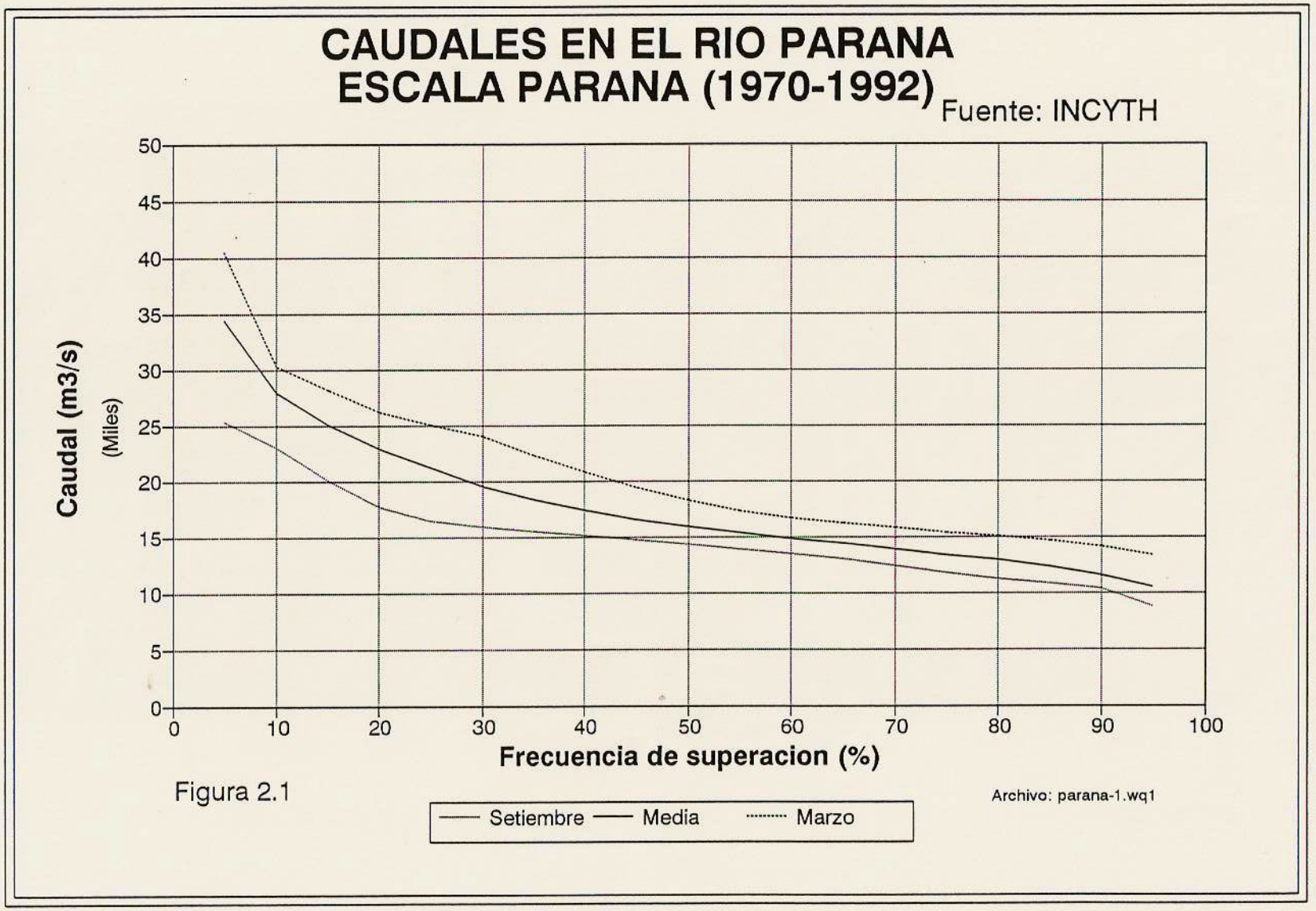

CAUDALES EN EL RIO PARANA
ESCALA PARANA (1970-1992)
Fuente: INCYTH
Caudal (m3/s)
(Miles)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Frecuencia de superacion (%)
Setiembre
Media
Marzo
Archivo: parana-1.wq1

Figura 2.1

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

Fuente: INCYTH

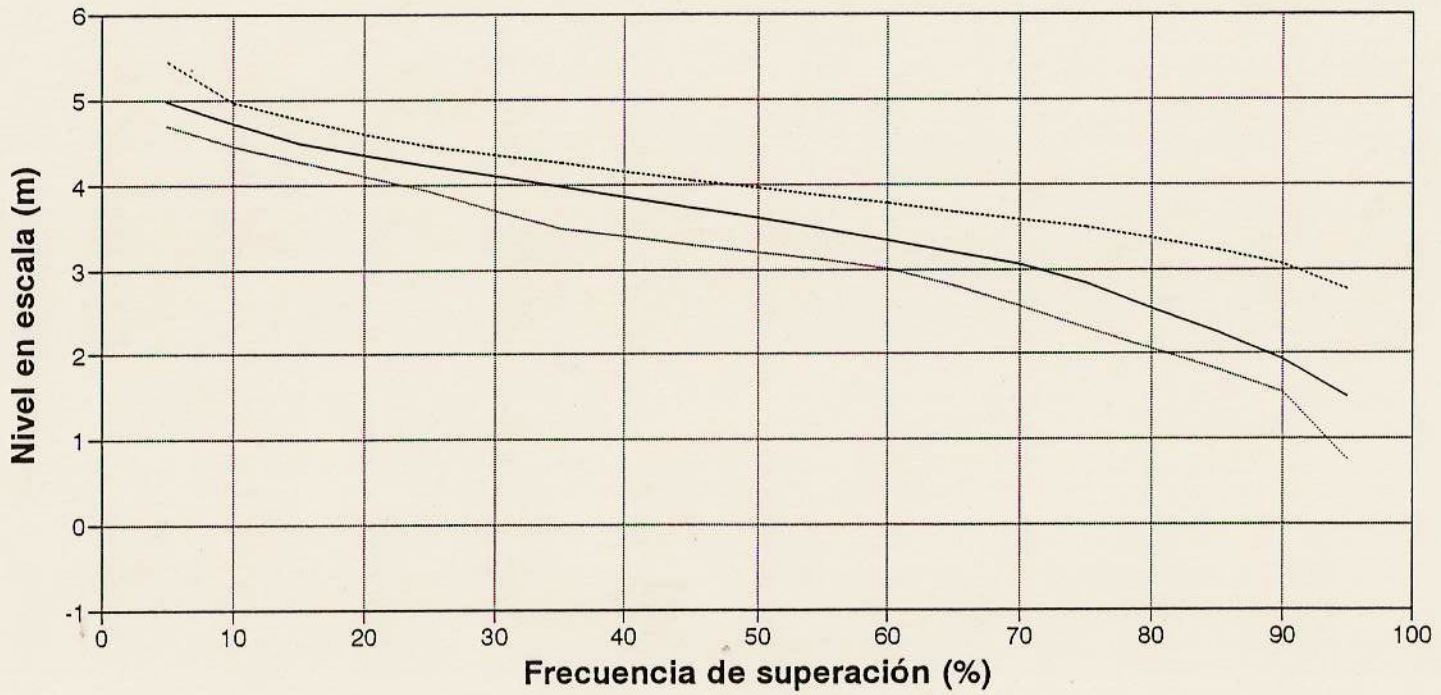


Figura 2.2 a

Archivo; rosario.wq1

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

Fuente: INCYTH

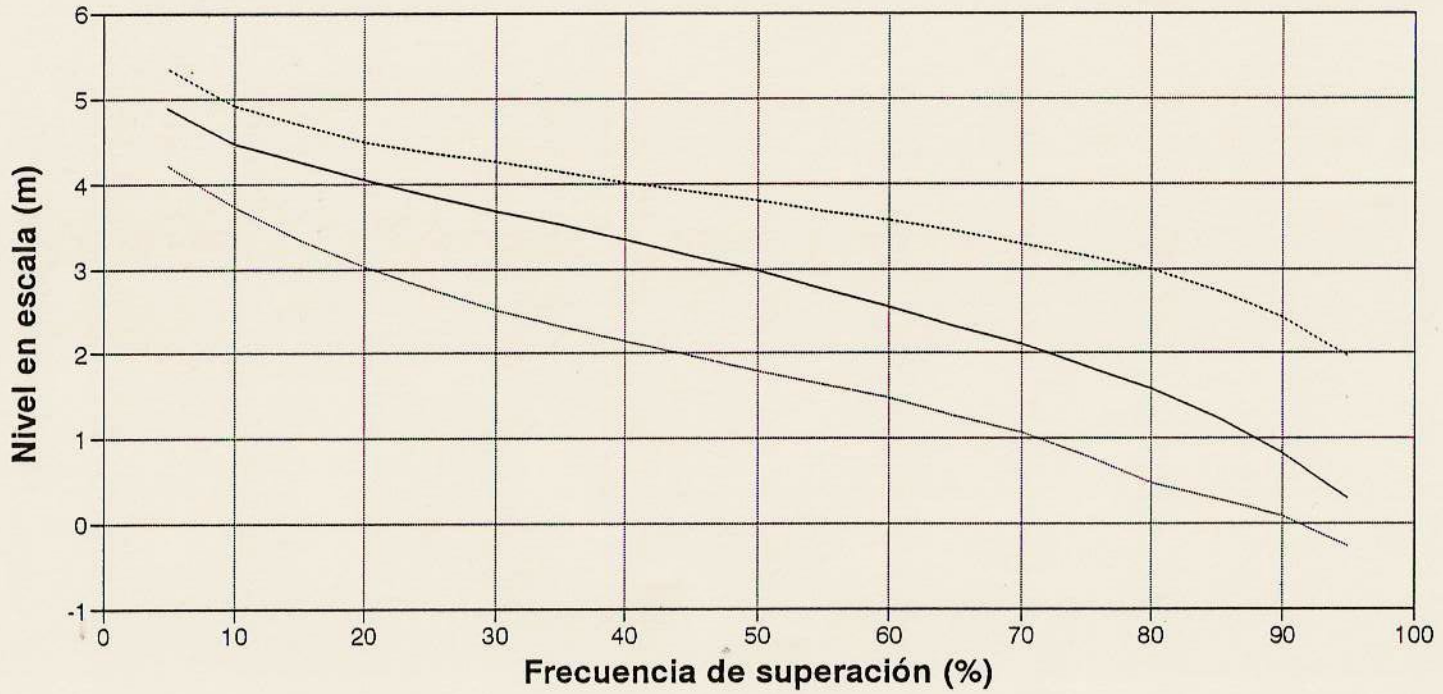


Figura 2.2 b

Archivo: rosario.wq1

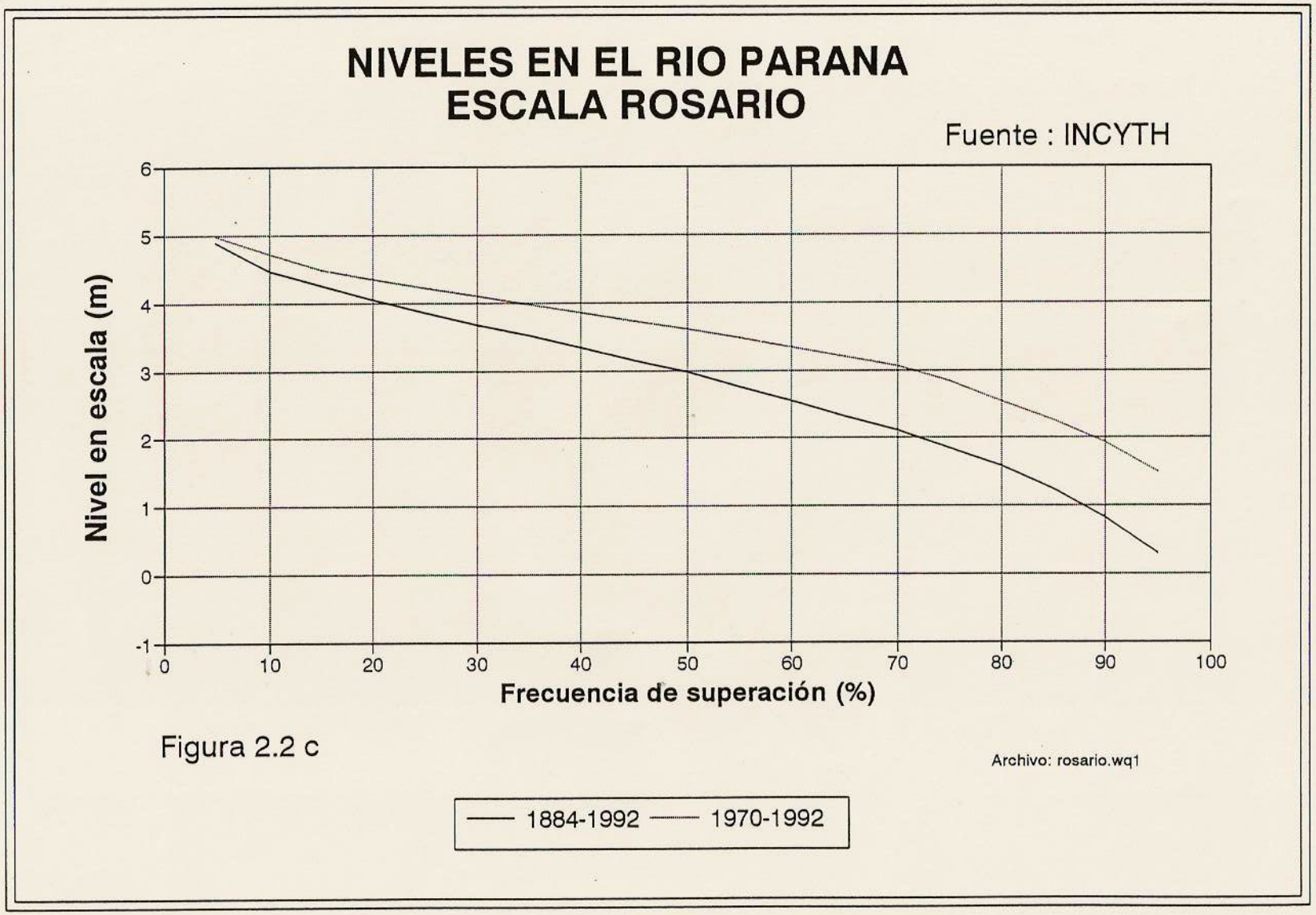

NIVELES EN EL RIO PARANA
ESCALA ROSARIO
Fuente : INCYTH
Nivel en escala (m)
6
5
4
3
2
1
0
-1
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Frecuencia de superación (%)
Archivo: rosario.wq1
1884-1992
1970-1992

Figura 2.2 c

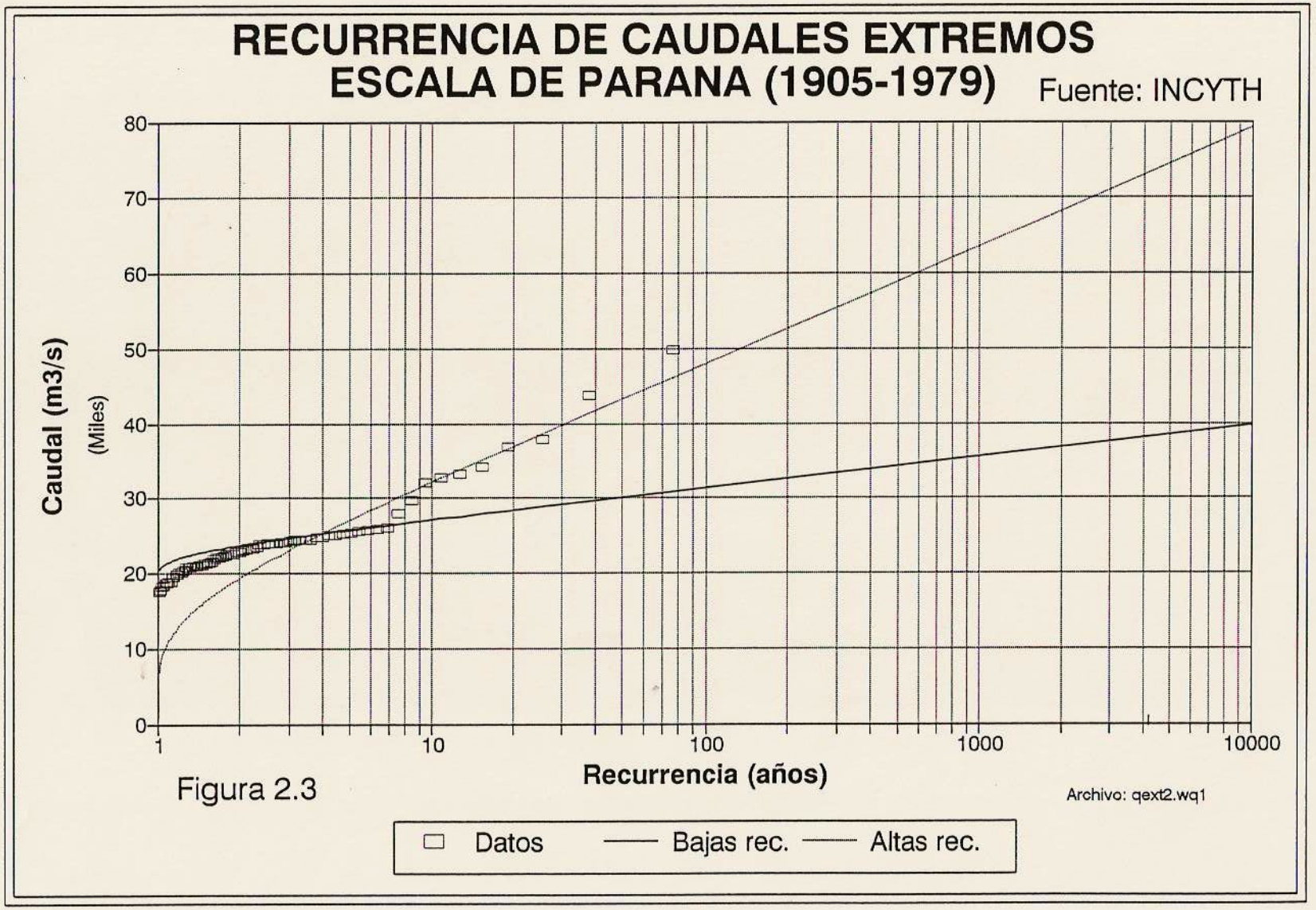

RECURRENCIA DE CAUDALES EXTREMOS
ESCALA DE PARANA (1905-1979)
Fuente: INCYTH
Caudal (m3/s)
(Miles)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000
Recurrencia (años)
Archivo: qext2.wq1
Datos
Bajas rec.
Altas rec.

Figura 2.3

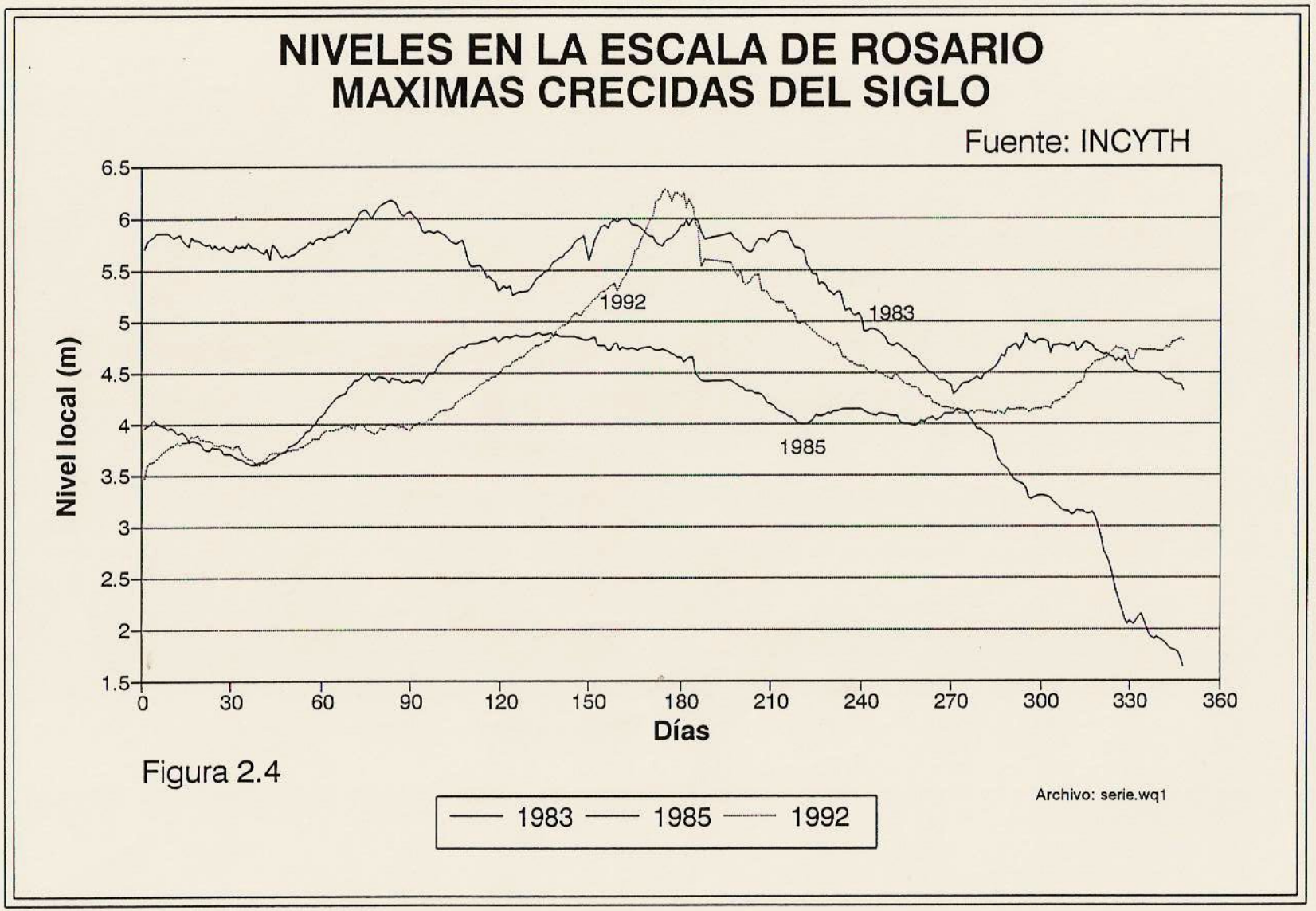

NIVELES EN LA ESCALA DE ROSARIO
MAXIMAS CRECIDAS DEL SIGLO
Fuente: INCYTH
Nivel local (m)
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
Días
1992
1983
1985
1983
1985
1992
Archivo: serie.wq1

Figura 2.4

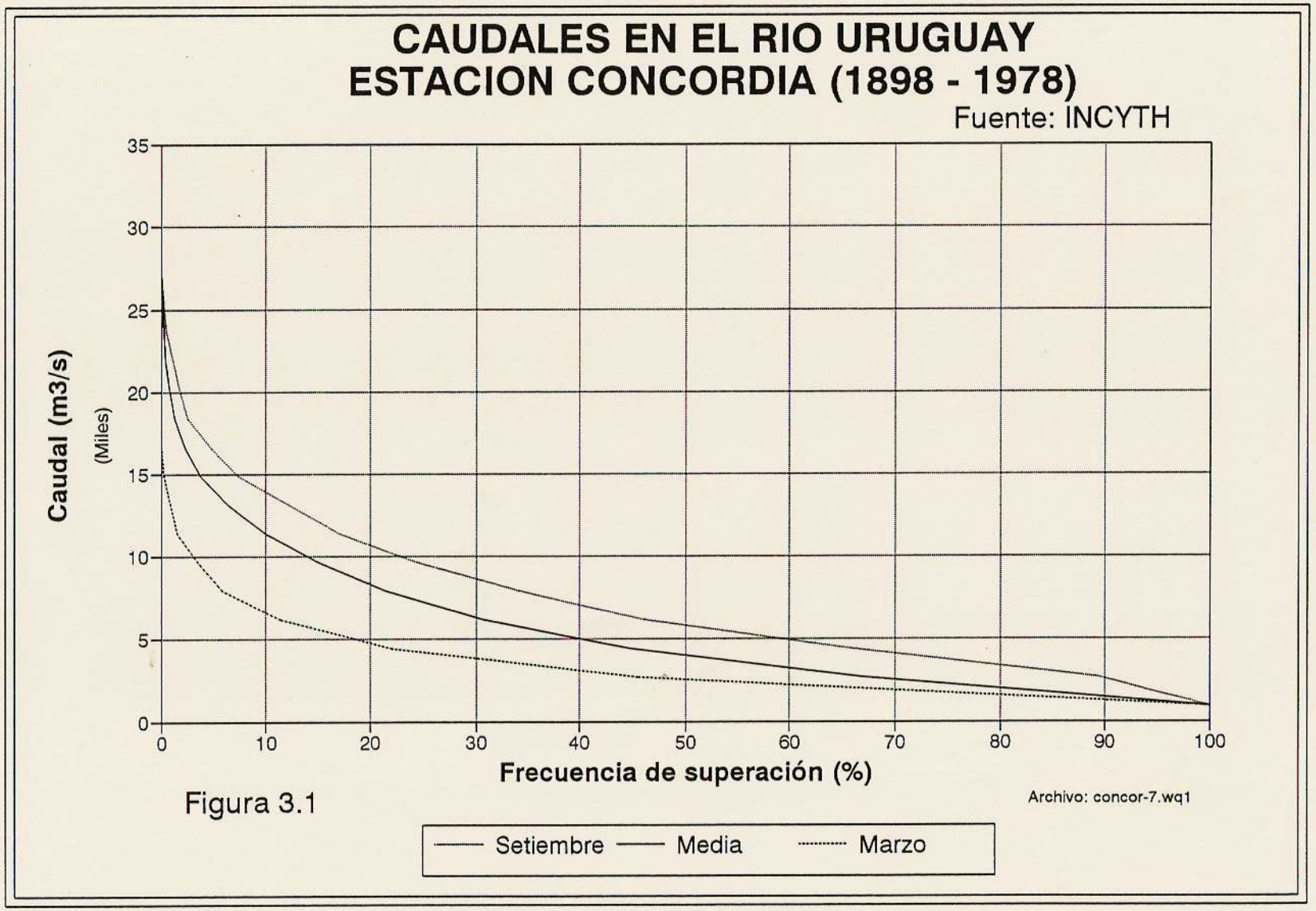

CAUDALES EN EL RIO URUGUAY
ESTACION CONCORDIA (1898 - 1978)
Fuente: INCYTH
Caudal (m3/s)
(Miles)
35
30
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Frecuencia de superación (%)
Archivo: concor-7.wq1
Setiembre
Media
Marzo

Figura 3.1

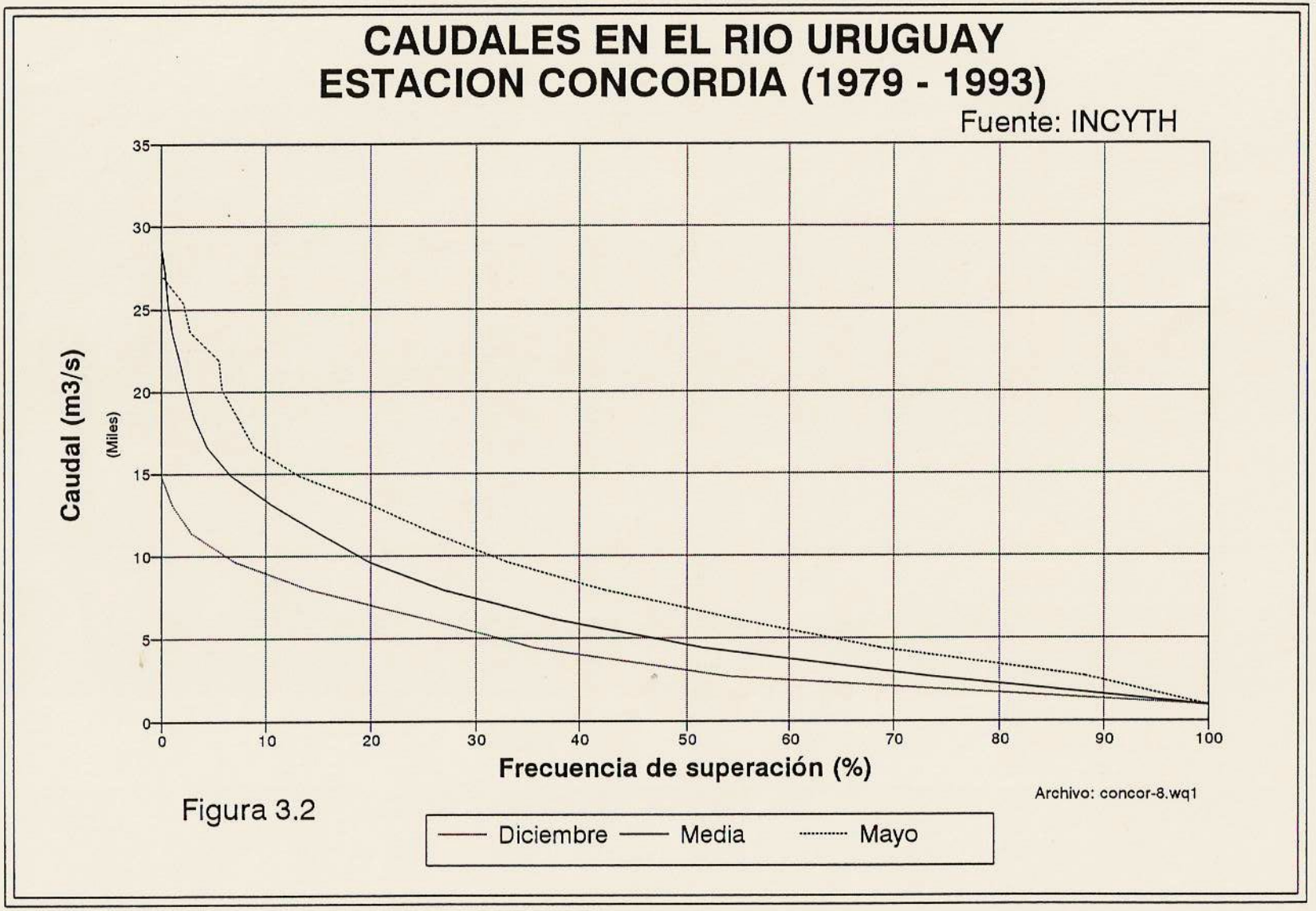

CAUDALES EN EL RIO URUGUAY
ESTACION CONCORDIA (1979 - 1993)
Fuente: INCYTH
Caudal (m3/s)
(Miles)
35
30
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Frecuencia de superación (%)
Archivo: concor-8.wq1
Diciembre
Media
Mayo

Figura 3.2

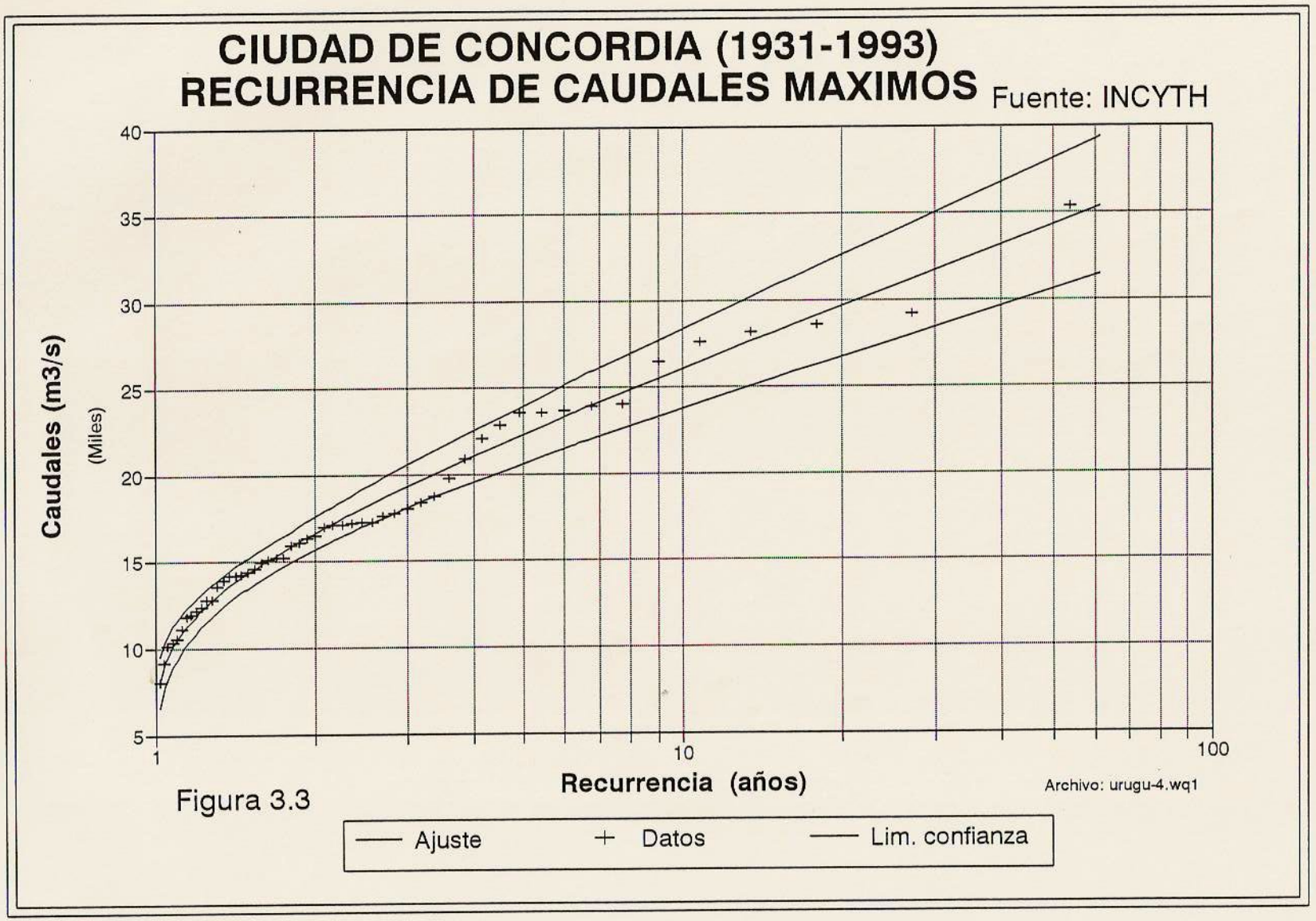

CIUDAD DE CONCORDIA (1931-1993)
RECURRENCIA DE CAUDALES MAXIMOS
Fuente: INCYTH
Caudales (m3/s)
(Miles)
40
35
30
25
20
15
10
5
1
10
100
Recurrencia (años)
Archivo: urugu-4.wq1
Ajuste
Datos
Lim. confianza

Figura 3.3

RECURRENCIA DE PICOS DE CRECIDAS INGRESANTES AL EMBALSE DE SALTO GRANDE

Fuente: INCYTH

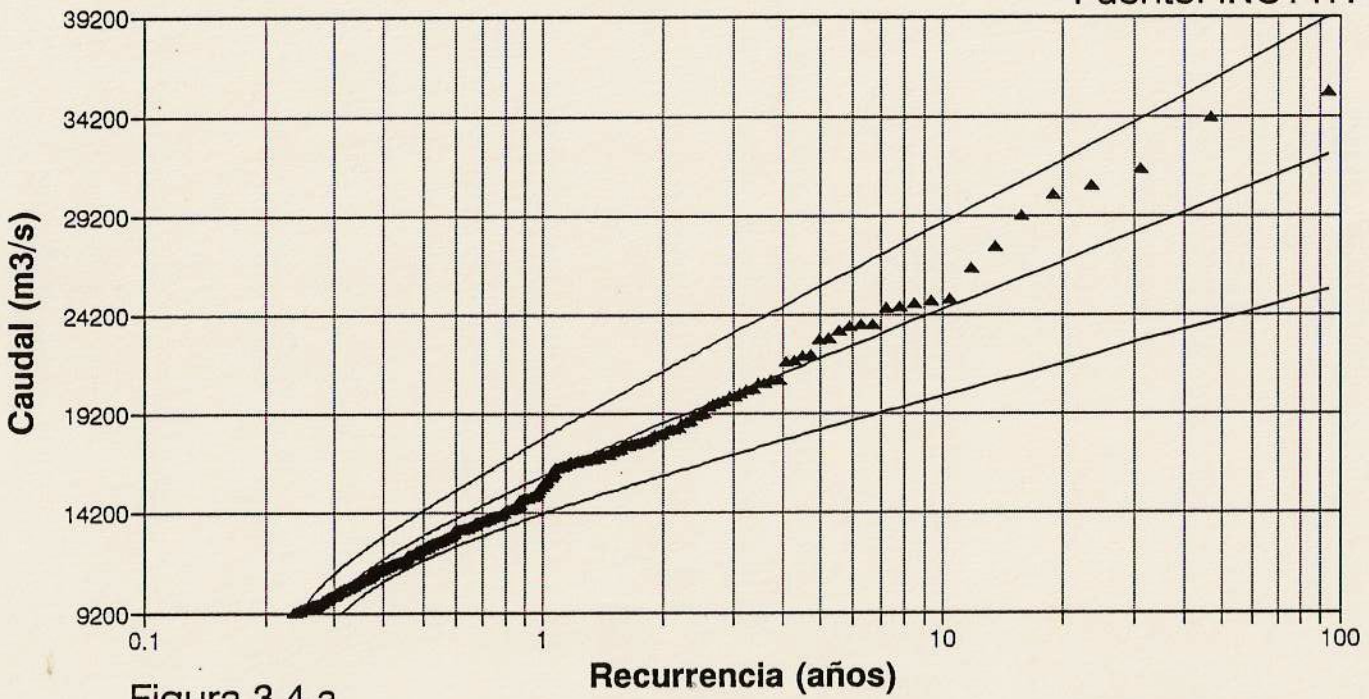


Figura 3.4 a

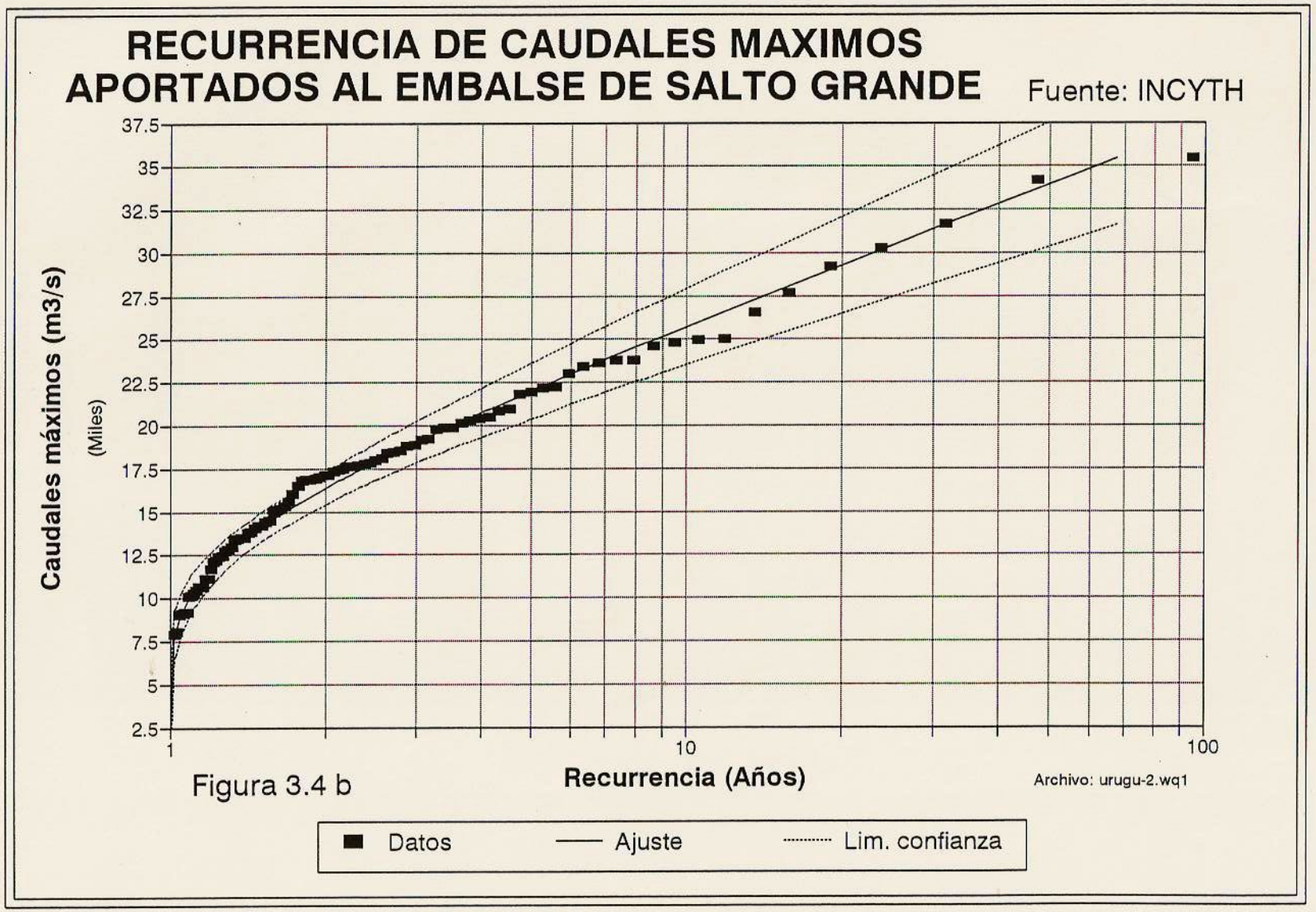

RECURRENCIA DE CAUDALES MAXIMOS
APORTADOS AL EMBALSE DE SALTO GRANDE
Fuente: INCYTH
Caudales máximos (m3/s)
(Miles)
37.5
35
32.5
30
27.5
25
22.5
20
17.5
15
12.5
10
7.5
5
2.5
1
10
100
Recurrencia (Años)
Archivo: urugu-2.wq1
Datos
Ajuste
Lim. confianza

Figura 3.4 b