

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

MODELO MATEMATICO
DE INUNDACIONES
DEL RIO RECONQUISTA
Primer Informe de Avance

Este Informe constituye parte del Capitulo V del Informe General de Avance de tareas producido por el grupo liderado por la empresa INCONAS S.A., y cuyo comitente es la Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires

Informe LHA 098 - 001 - 89

EZEIZA, agosto de 1989

INFORME PRODUCIDO POR:

Dr. Angel N. MENENDEZ

DIRECTOR DEL LHA:

Dr. Raúl LOPARDO

VICE-DIRECTOR DEL LHA:

Ing. Julio DE LIO

EQUIPO DE TRABAJO:

Responsable Técnico:

Dr. Angel MENENDEZ (Jefe Dto.
Hidráulica Computacional)

Personal Profesional:

Ing. Martín MARAZZI

Ing. Miguel A. CAVALIERE

Ing. María T. LAVALLE

Personal Técnico:

Sr. Andrés GOËTA

Sr. Rodolfo G. CALABRO

RESUMEN

Se presentan resultados del análisis de datos de mareas en la desembocadura del Río Reconquista y sus brazos. Se estiman las recurrencias de eventos de crecientes provocadas por mareas "meteorológicas". Se explica una metodología para cuantificar la probabilidad conjunta de eventos de creciente por crecidas del Reconquista (producto de las lluvias) y por mareas altas. También se describe la implementación del modelo matemático hidrodinámico para simular las inundaciones, que se extiende desde el pie de la presa Roggero hasta la desembocadura en el Río Luján, y se presentan resultados preliminares de la calibración.

DESCRIPTORES TEMATICOS:

Simulación numérica, modelación matemática, inundaciones.

DESCRIPTORES GEOGRAFICOS E INSTITUCIONALES:

Río Reconquista, Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires

V.1. ANALISIS DE DATOS HIDROMETRICOS

V.1.1. Mareas en la desembocadura

El escurrimiento en la baja cuenca del Rio Reconquista está fuertemente influenciado por las mareas que, provenientes del océano, atraviesan el Rio de la Plata y remontan el Rio Luján. En particular, las inundaciones en la baja cuenca suelen estar asociadas a " mareas meteorológicas ", generalmente producidas por la acción de sudestadas.

Para analizar la recurrencia de estos eventos extremos se utilizó como información de base las series mensuales de pleamares máximas diarias obtenidas de los registros en los mareógrafos de Pajarito (periodo 1952 - 1979), Canal Arias (1933 - 1987) y Buenos Aires (1905 - 1981). Los dos primeros fueron proporcionados por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (DNCPVN). Los registros en Buenos Aires se obtuvieron de la Ref. [1]. Los mareógrafos de Pajarito y Canal Arias se encuentran ubicados sobre el Rio Luján [2]. El primero está a 3,750 km aguas abajo de la desembocadura del Rio Tigre y el segundo a 12,750 km aguas arriba del mismo punto (Fig. V.1).

Partir de esta base de datos significa filtrar, de entrada, las variaciones de nivel producidas por la marea astronómica, lo cual se justifica debido a que la escala de tiempos de interés es de varios días.

En primer término se construyeron las series anuales de máximos diarios, y se les ajustó una regresión de Gumbel, es decir [3,4]

$$H = \bar{H} - \sigma \left(0.45 + \frac{Y}{1.2825} \right)$$

donde H es el nivel de la marea para una recurrencia dada (todos los niveles están referidos al cero IGM), \bar{H} el valor medio del nivel, σ su desviación estandar y

$$Y = \ln [- \ln (1 - T^{-1})]$$

la coordenada de Gumbel, siendo T el periodo de recurrencia en años. Los valores de los parámetros correspondientes a cada mareógrafo se presentan en la Tabla V.1. Las series y los respectivos ajustes se muestran en las Figs. V.2, V.3 y V.4.

Los niveles obtenidos por regresión sobre la serie anual pueden resultar en subestimaciones para bajos periodos de recurrencia (unos pocos años). Como en el presente estudio estos eventos resultan de importancia, se procedió a analizar las series de excedentes. Esta serie se construye tomando los N valores máximos diarios de los registrados sobre un intervalo de N años [3,4]. Como las series de excedentes se generaron a partir de las series mensuales, se supuso que, en cada mes, no se produjeron otros fenómenos independientes del mismo orden de magnitud.

La representación de las series de excedentes en coordenadas de Gumbel se muestra en las Figs. V.5, V.6 y V.7. Se observa que tiende a coincidir con la representación de la serie anual para altas recurrencias ($T > 5$ años), pero da valores mayores del nivel para los bajos periodos de retorno. Se manifiesta, además, una relación no lineal entre H e Y. Para representar esta relación se ajustaron dos rectas por el método de cuadrados mínimos, las cuales se intersectan alrededor de $T = 5$ años. La pendiente (m) y ordenada al origen (b) de cada recta se presenta en la Tabla V.2. En la Tabla V.3 se muestran niveles de marea correspondientes a algunos periodos de retorno, obtenidos a partir de los ajustes.

Con las series anuales en Pajarito y Canal Arias, y los máximos diarios en Buenos Aires correspondientes a las fechas de aquellos máximos, se obtuvieron las correlaciones entre los niveles registrados en distintos mareógrafos. Estas relaciones pueden ser útiles, entre otras cosas, para completar la serie histórica en caso de que ello sea necesario para calibrar (tengase en cuenta que, por ejemplo, el mareógrafo de Pajarito está fuera de servicio desde el año 1980). Se observó que solo la correlación entre el nivel en Pajarito (H_p) y Buenos Aires (H_{ba}) resulta aceptable, la cual puede expresarse como (ver Fig. V.8)

$$H_{ba} = 0,8433 H_p + 0,2326$$

con un factor de correlación de 0,905. La correlación que involucra a Canal Arias resulta mucho más pobre. Además, es interesante observar que los máximos anuales de los niveles máximos diarios son mayores en Pajarito que en Canal Arias, lo cual significa que, cuando se producen estos eventos, hay una pendiente invertida de la superficie libre del Río Luján.

Las observaciones efectuadas en el parágrafo anterior conducen a la siguiente interpretación sobre el fenómeno de penetración de las mareas en el Río Luján. El apilamiento de las aguas en la cabecera del Río de la Plata produce una corriente invertida en el Río Luján. A la altura del mareógrafo de Pajarito el nivel está totalmente controlado por el nivel en el Río de la Plata. En cambio, el nivel en Canal Arias depende del transitorio que genera la penetración de la onda de marea. En general, este nivel se encuentra por debajo del de Pajarito, pero tiende hacia este último, al cual logrará alcanzar solo en situaciones extremas de mucha persistencia del fenómeno de sudestada. Esto explica el por qué de la pobre correlación de los niveles en Canal Arias con el Buenos Aires, ya que aquél se encuentra en todo momento influenciado por un transitorio.

Una conclusión interesante de la interpretación dada más arriba es que, para fijar el nivel del Río Luján en las desembocaduras de la cuenca del Reconquista (Río Tigre, Río Reconquista y Canal Aliviador), lo seguro es adoptar el nivel de Pajarito (que, en realidad, sería el que se alcanzaría asintóticamente).

V.1.2. Recurrencia de eventos que producen inundación

Las inundaciones del Río Reconquista pueden asociarse, básicamente, a dos fuentes. Por un lado, la recolección de las precipitaciones que se descargan sobre su cuenca. Por el otro, las "mareas meteorológicas" que penetran desde su desembocadura. Estas fuentes no son independientes, ya que ambas pueden estar total o parcialmente ligadas al mismo fenómeno meteorológico. En consecuencia, a cada período de retorno se le puede asociar todo un rango de eventos, desde los que involucran un gran volumen de precipitación y bajo nivel de marea, a aquellos que corresponden a una baja precipitación pero alta marea.

Para poder efectuar un análisis de recurrencia como el mencionado, es necesario determinar la probabilidad conjunta de los fenómenos de "precipitación" y "marea alta". Dado el corto plazo del estudio, se decidió utilizar algunos de los resultados obtenidos en el estudio de la cuenca del Río Matanza [5]. En la Fig. V.9 (tomada de esa Referencia) se presentan las relaciones entre la precipitación total media y el nivel medio diario en su desembocadura (Buenos Aires) para distintos períodos de retorno. Para poder utilizar estos resultados debe suponerse, en primer lugar, que la precipitación total media sobre la cuenca del Matanza es representativa de la que corresponde a la cuenca del Reconquista, dada su proximidad.

En segundo lugar, es necesario relacionar los niveles. Para ello, primero debe relacionarse el nivel medio diario con el máximo diario en Buenos Aires. En la Fig. V.10 se representan los ajustes para las recurrencias de los niveles medios diarios [5] y

los niveles máximos diarios (Fig. V.7). Se observa que, para bajas recurrencias ($T < 5$ años), los primeros son inferiores a los segundos en un valor prácticamente uniforme de alrededor de 30 cm. Para periodos de retorno mayores ambos niveles tienden a coincidir. Esto permite obtener el nivel máximo diario en Buenos Aires a partir del medio diario. Con ese valor puede utilizarse la correlación entre niveles máximos diarios en Pajarito y en Buenos Aires para obtener el nivel correspondiente en Pajarito, que, de acuerdo a lo discutido en la sección anterior, puede tomarse como el de las desembocaduras de la cuenca del Reconquista.

De esta manera, con el valor de precipitación y el nivel en las desembocaduras, queda completamente definido un evento con la recurrencia requerida. Nótese que es necesario analizar una serie de eventos para caracterizar completamente esa recurrencia.

V.2. IMPLEMENTACION DEL MODELO MATEMATICO HIDRODINAMICO

El modelo matemático hidrodinámico del Río Reconquista se extiende desde el pie de la presa Roggero hasta la desembocadura en el Río Luján, incluyendo los tres brazos en que se divide: el Río Tigre, el Río Reconquista y el Canal Aliviador. Está basado en el sistema computacional EZEIZA V, desarrollado en el Laboratorio de Hidráulica Aplicada (LHA) del INCYTH. Este sistema simula numéricamente el escurrimiento impermanente en una red de canales en base a un análisis unidimensional (que conduce a las Ecuaciones de Saint Venant).

Para implementar el modelo matemático es necesario construir una base de datos adecuada que caracterice completamente el sistema fluvial. Esto incluye definir la geometría del sistema, incluir los aportes de los afluentes, cuantificar la resistencia al movimiento ("rugosidad") y simular las estructuras que interfieren con el flujo (básicamente puentes).

V.2.1. Geometría

Para definir la geometría del sistema deben proveerse, como datos básicos, secciones transversales a la dirección del escurrimiento. Estas secciones deben elegirse de forma tal de representar adecuadamente los cambios que se van produciendo en la dirección longitudinal, dentro de la escala de resolución del problema (de todos modos, el sistema EZEIZA V opera con un paso de discretización constante, interpolando los datos necesarios con los disponibles de las dos secciones más cercanas). Con esta información el programa de preprocesamiento GEOV genera tablas con valores del área de la sección, el ancho superficial, el radio hidráulico, etc., para distintos niveles del pelo de agua.

Desde el tramo que se extiende desde la presa Roggero hasta el cruce del Acceso Norte se definieron 14 secciones transversales (Fig. V.11). Las distancias entre secciones oscilan entre 1 y 4 km. Estas fueron relevadas, en su mayor parte, de las planialtimetrías de escala 1:25.000, que representan adecuadamente la geometría del valle de inundación. De las planialtimetrías de escala 1:2.000 se obtuvo algún detalle de la parte superior del cauce principal. Como hasta la desembocadura del Arroyo Morón solo se proveen datos hasta el nivel de la superficie libre en una situación de régimen normal del río, la cota del fondo del cauce se estimó de mediciones de profundidad efectuadas durante el relevamiento de los puentes que cruzan el río. Desde la confluencia con el Morón hasta la desembocadura del Reconquista se dispuso del perfil longitudinal del lecho, con puntos separados por una distancia de alrededor de 100 m.

Desde el Acceso Norte en adelante, las secciones transversales que definen la planicie de inundación fueron generadas a partir de planialtimetría de escala 1:20.000. Para los cauces principales se contó con secciones transversales del Río Tigre, separadas por una distancia que oscila entre 100 y 500 m, y con la batimetría completa del Canal Aliviador.

V.2.2. Afluentes

Para la representación de los afluentes se respetó, básicamente, la esquematización adoptada en la modelización hidrológica de las sub-cuencas que llevan agua al Reconquista. En consecuencia, los aportes se materializaron como descargas puntuales de masa y cantidad de movimiento coincidentes con los puntos de desembocadura de algunos arroyos.

Aguas abajo de la presa Roggero, y sobre margen derecha, confluyen los arroyos Laferrere y Torres. A continuación, sobre margen izquierda, lo hacen los arroyos Las Catonas y Los Berros. Luego, sobre margen derecha, aporta el Arroyo Morón. Finalmente, confluye el Arroyo Basualdo sobre margen izquierda. En la Tabla V.4 se presenta el esquema de aportes adoptado, y se cuantifican sus parámetros físicos.

Sobre cada afluente debe especificarse el hidrograma de caudales correspondiente a cada ensayo, los cuales son provistos por los estudios hidrológicos.

V.2.3. Rugosidad

Para cuantificar la resistencia hidráulica se dispone como parámetro del coeficiente de rugosidad de Manning. Como primer paso se procedió a una zonificación de la superficie de terreno sobre la cual se produce el escurrimiento. Se distinguió el cauce principal del valle de inundación. A su vez, el valle se zonificó en base a un criterio de densidad poblacional. Se definieron cuatro zonas de rugosidad creciente: una rural y las otras tres urbanas con densidad poblacional baja, media y alta, respectivamente (Fig. V.12). Los valores del coeficiente de Manning asignados inicialmente a cada una de esas zonas se presentan en la Tabla V.5. Estos valores fueron luego ajustados levemente durante la etapa de calibración.

V.2.4. Estructuras

A lo largo del recorrido del Río Reconquista se encuentran una gran cantidad de puentes viales y ferroviarios que, durante las épocas de inundación, se convierten en obstáculos al escurrimiento. A los fines de la simulación numérica, estas estructuras representan singularidades, ya que producen variaciones significativas de las variables de movimiento sobre

distancias pequeñas (es decir, del orden del tirante). Esto significa que su comportamiento local debe ser descrito de acuerdo a alguna ley, la cual debe ser introducida en el modelo para representar su efecto.

Al atravesar el estrechamiento local que representa un puente (con su correspondiente terraplén), el flujo experimenta una pérdida de carga. Más rigurosamente, el puente produce un efecto de embalsamiento aguas arriba, que se traduce en un remanso. La ley que describe el efecto local de un puente puede expresarse como

$$Q = C A (2g \Delta h)^{1/2}$$

donde Q es la descarga, Δh la diferencia entre los niveles a ambos lados del puente, A el área transversal en el estrechamiento, g la gravedad y C un coeficiente de descarga cuyo valor depende, primariamente, del estrechamiento relativo.

Los cursos del Reconquista y el Tigre son atravesados por alrededor de 60 puentes, todos los cuales fueron relevados para determinar sus características geométricas básicas. Algunos de ellos se encuentran muy próximos entre sí, por lo que fueron agrupados en una sola estructura efectiva. En la Tabla V.6 se presentan las estructuras materializadas en el tramo presa Roggero - Acceso Norte, mostrándose también los valores de los parámetros que las caracterizan.

Desde el Acceso Oeste y hasta el Acceso Norte se extiende el Camino del Buen Ayre, que corre básicamente paralelo al cauce principal del Reconquista, y se asienta en su valle de inundación. Esto produce una reducción efectiva de la sección de flujo, aunque el agua lo atraviesa por puentes y alcantarillas generando una zona de almacenamiento a su derecha. Esta zona se simuló asignándole valores muy elevados del coeficiente de rugosidad de Manning.

V.3. CALIBRACION DEL MODELO HIDRODINAMICO

V.3.1. Crecidas de calibración

En esta primera etapa se trabajó con datos dispersos sobre niveles máximos para la crecida del 16 de setiembre de 1982. No se dispuso de hidrogramas de niveles, lo cual muestra una primera limitación, ya que no hay medida precisa del grado de impermanencia de esa onda de inundación.

El día 17 de setiembre se llevó a cabo un aforo, pero se estima que el caudal obtenido (alrededor de $100 \text{ m}^3/\text{s}$) es inferior al caudal pico. Además, tampoco se contó con dato cuantitativo alguno sobre el comportamiento de las estructuras durante la crecida.

Como esta carencia se repite para las otras crecidas con las cuales se preve trabajar, esto significa que no se dispone de información completa para calibrar, por lo cual fue necesario desarrollar algún criterio para lograr una modelización al menos autoconsistente.

V.3.2. Criterio de calibración

Suponiendo como representativo un hidrograma de niveles registrado por la Dirección de Defensa Civil de la Municipalidad de Morón a la altura del cruce de la Ruta 201 durante la crecida de marzo de 1988, se observa que la permanencia del pico de una onda de inundación es de alrededor de tres días. Como estas ondas son de tipo cinemático, su celeridad es del orden de la del fluido. Si ésta se estima en $0,50 \text{ m/s}$, la extensión de una tal onda es de alrededor de 40 km. Entonces, el estado pico puede considerarse como cuasi - estacionario en cada subtramo comprendido entre dos afluentes. Siendo así, resulta operativamente conveniente efectuar las corridas de calibración imponiendo el caudal pico en cada subtramo (compensando las diferencias de caudal entre subtramos con adecuados aportes laterales) y considerándolo como permanente, a pesar de que esos picos no hayan sido contemporáneos.

Sin embargo, tal cual se explicó en la sección anterior, esos caudales picos no son conocidos. Entonces, se ensayaron distintos juegos de valores de modo de ajustar las observaciones, tratando de mantener coherencia con los resultados provistos por el estudio hidrológico.

V.3.3. Resultados

La Fig. V.1 3 muestra los resultados obtenidos sobre el tramo Presa Roggero-Acceso Norte, junto a los puntos relevados. El acuerdo se considera satisfactorio dada la precisión de los valores medidos. Los resultados del modelo corresponden a un caudal de 220 m³/s en Puente Roca, que se ven incrementados a 290 luego del aporte del Arroyo Los Berros y a 350 luego de la confluencia del Arroyo Morón. Estos aportes significaron incrementos del orden del 30% cada uno respecto del caudal en Puente Roca, que son los porcentajes medios provistos por el estudio hidrológico.

El caudal en Puente Roca surge de la suma de lo transportado por el Reconquista (130 m³/s) y el Arroyo Las Catonas. Aguas arriba de esta confluencia el Reconquista está encauzado, por lo cual no se discriminaron los afluentes sobre todo este subtramo.

Se observa claramente la presencia de algunas de las estructuras, que se manifiesta como un cambio brusco de profundidad que produce un efecto de remanso. De todos modos, se nota que, para estos caudales, este efecto es relativamente local en relación a la escala de estudio del problema.

REFERENCIAS

1. D'Onofrio, E.E., Balay, C.E., "Análisis frecuencial de los niveles extremos del Río de la Plata en la zona del puerto de Buenos Aires", Servicio Hidrografía Naval, Depto. Oceanografía, Informe No. 1/83.
2. Red Hidrométrica Zonas Norte, Delta y Río de la Plata. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables.
3. Kite, G.W., "Frequency and Risk Analysis in Hydrology", 1985.
4. Chow, V.T., "Handbook of Applied Hydrology", 1964.
5. "Estudio de la regulación de la cuenca del Río Matanza". Consejo Federal de Inversiones. 1985.

Tabla V.1. Regresión de Gumbel para serie anual.

Mareógrafo	\bar{H} (m)	σ (m)
Canal Arias	2.002	0.303
Pajarito	2.647	0.341
Buenos Aires	2.526	0.333

Tabla V.2. Ajuste para serie de excedentes.

Mareógrafo	T < 5		T > 5	
	m	b	m	b
Canal Arias	-0.0941	1.96	-0.348	1.64
Pajarito	-0.160	2.61	-0.298	2.42
Buenos Aires	-0.143	2.50	-0.301	2.31

Tabla V.3. Niveles máximos de excedentes

T (años)	Canal Arias	Pajarito	Buenos Aires
2	1.99	2.67	2.55
5	2.13	2.85	2.77
10	2.42	3.09	2.99
20	2.67	3.31	3.21
50	3.00	3.59	3.49
100	3.24	3.79	3.70

Tabla V.4. Representación de los afluentes

No.	Arroyo	Progresiva (km)	Angulo con eje del río (grados)
1	LaFerrere	44,66	90
2	Torres	39,61	90
3	Las Catonas	33,85	50
4	Los Berros	27,44	40
5	Morón	19,74	30
6	Basualdo	9,63	90

Tabla V.5. Valores iniciales del coeficiente de Manning

Zona	Manning
Cauce	0,03
Rural	0,04
Urbana densidad poblacional baja	0,08
Urbana densidad poblacional media	0,12
Urbana densidad poblacional alta	0,16

MAREAS MÁXIMAS ANUALES en CANAL ARIAS (IGM)

LEY DE GUMBEL

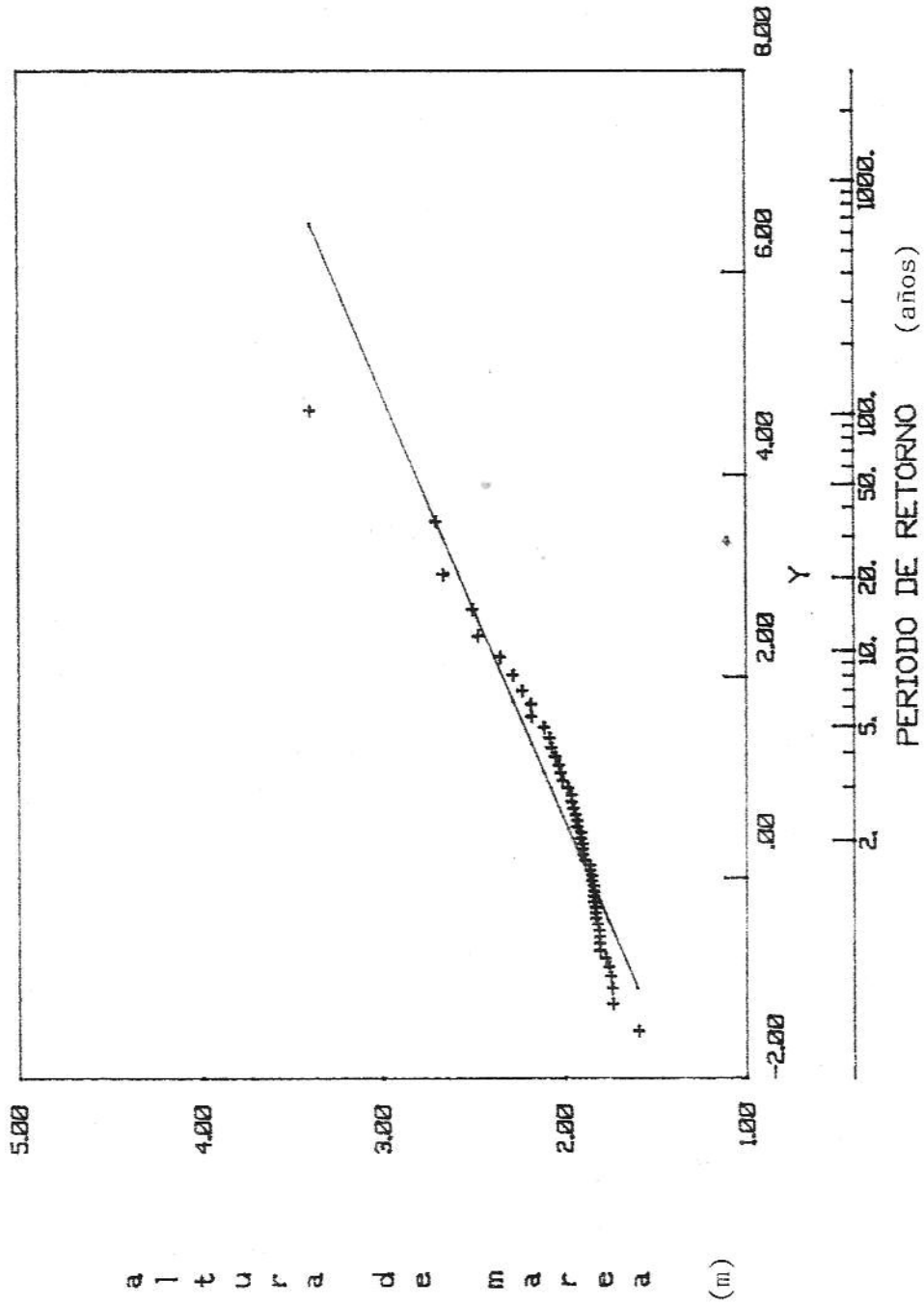


Figura V.2. Análisis de recurrencia por la ley de Gumbel para los máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Canal Arias.

MAREAS MÁXIMAS ANUALES en PAJARITO (IGM)

LEY DE GUMBEL

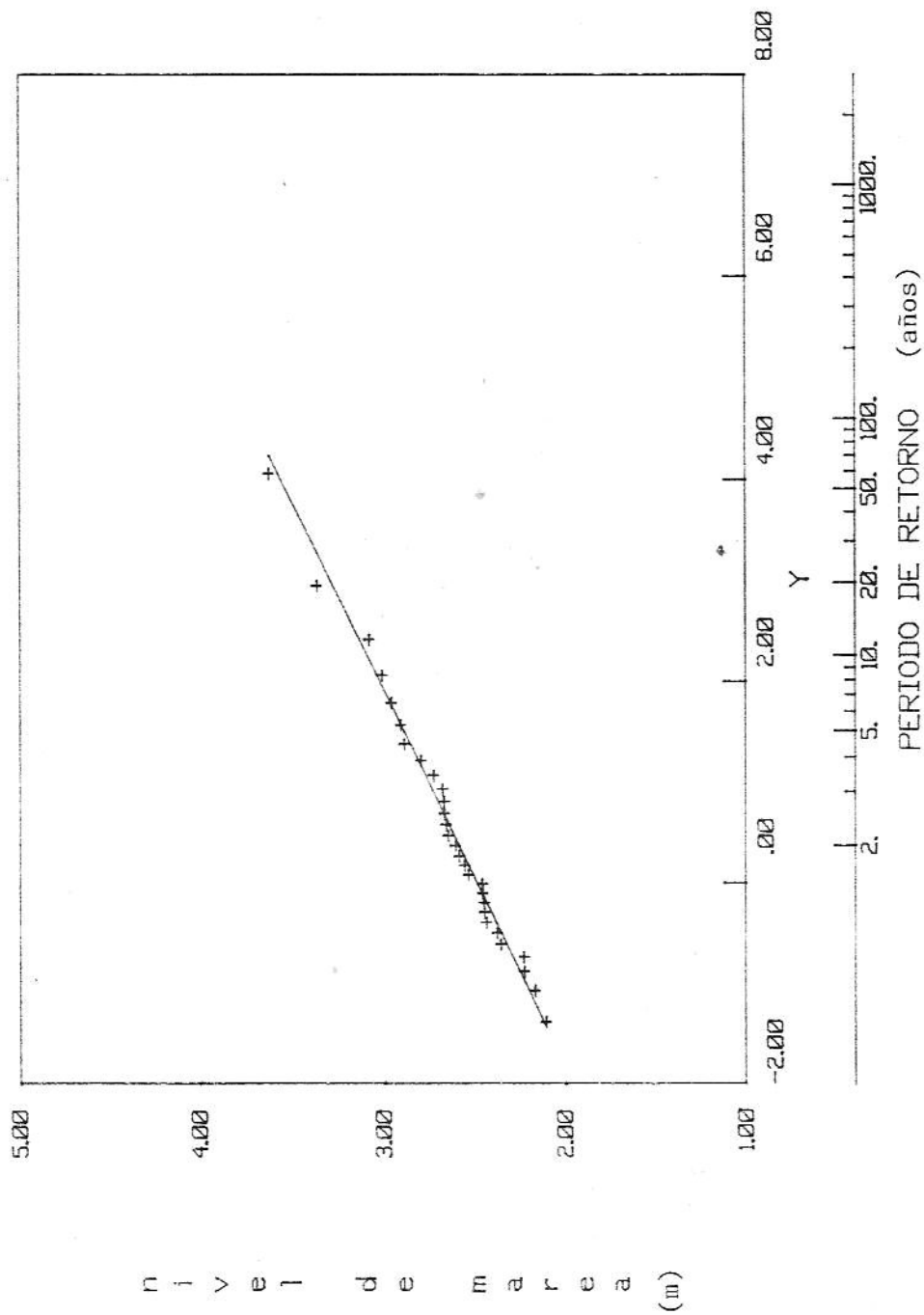


Figura V.3. Análisis de recurrencia por la ley de Gumbel para los máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Pajarito.

MAREAS MÁXIMAS ANUALES en BUENOS AIRES (IGM)

LEY DE GUMBEL

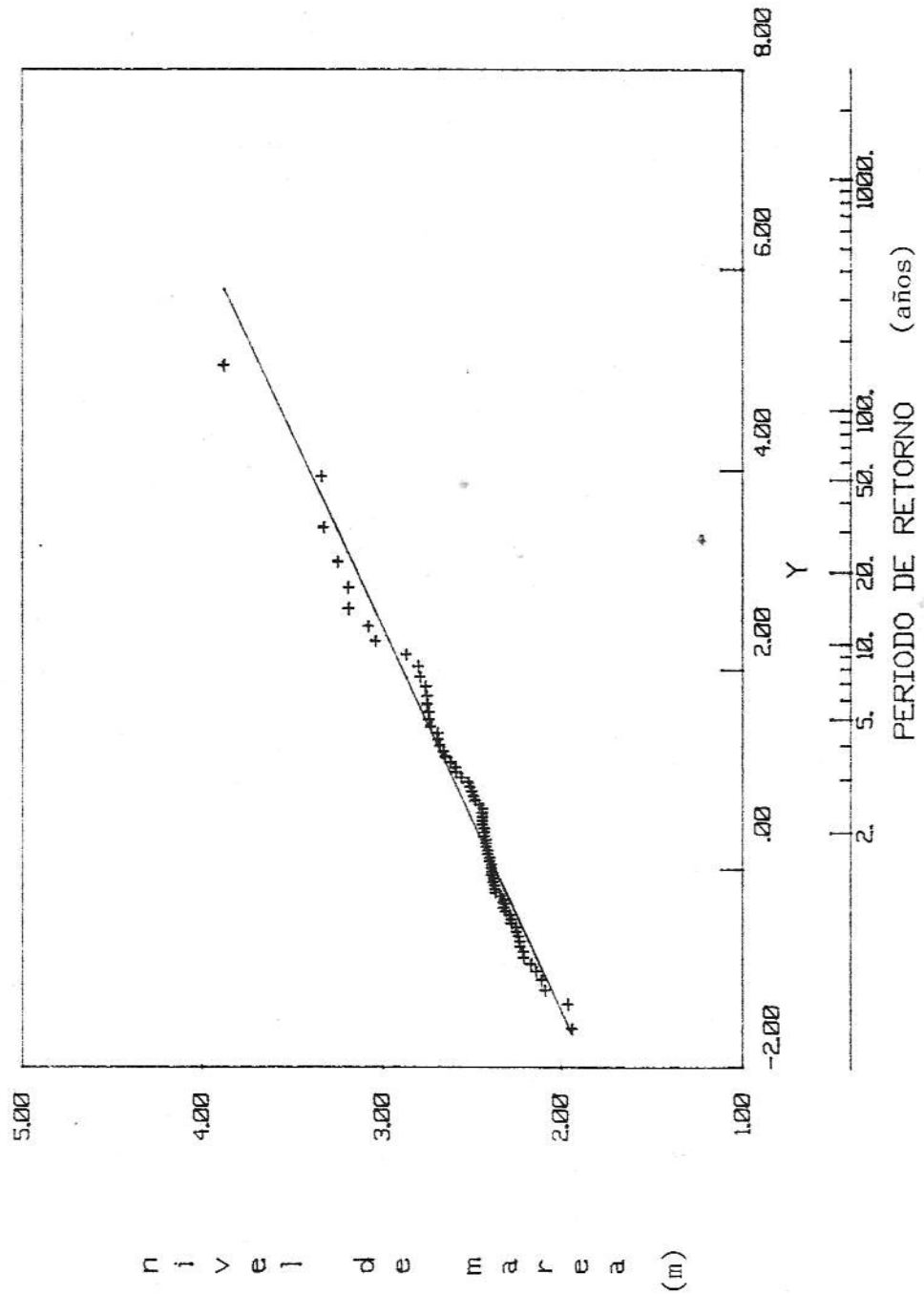


Figura V.4. Análisis de recurrencia por la ley de Gumbel para los máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Buenos Aires.

MAREAS MÁXIMAS ANUALES en PAJARITO (IGM)

LEY DE GUMBEL

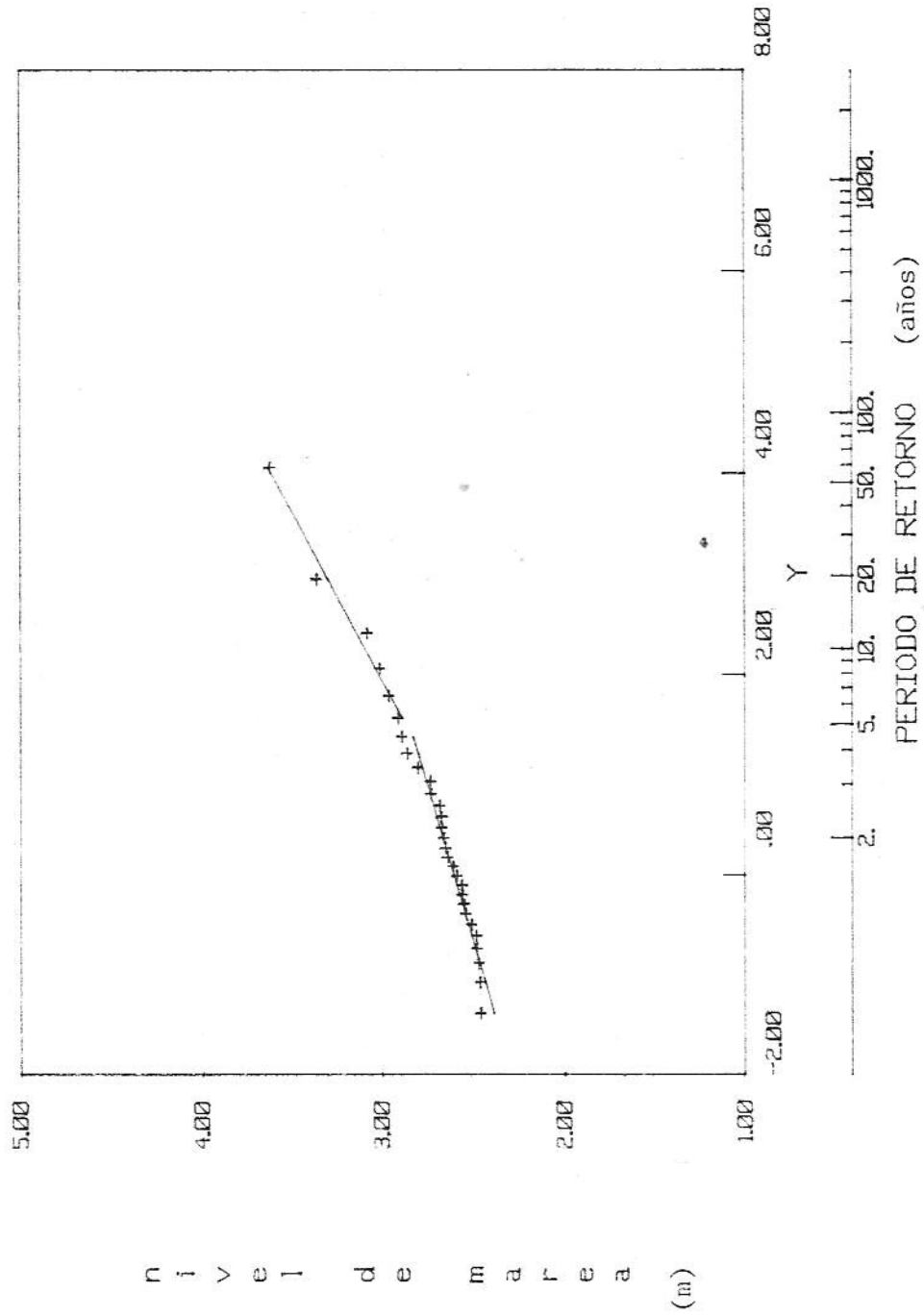


Figura V.6. Análisis de recurrencia de la serie de excedentes de máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Pajarito.

MAREAS MÁXIMAS EXCEDENTES en CANAL ARIAS (IGM)

LEY DE GUMBEL

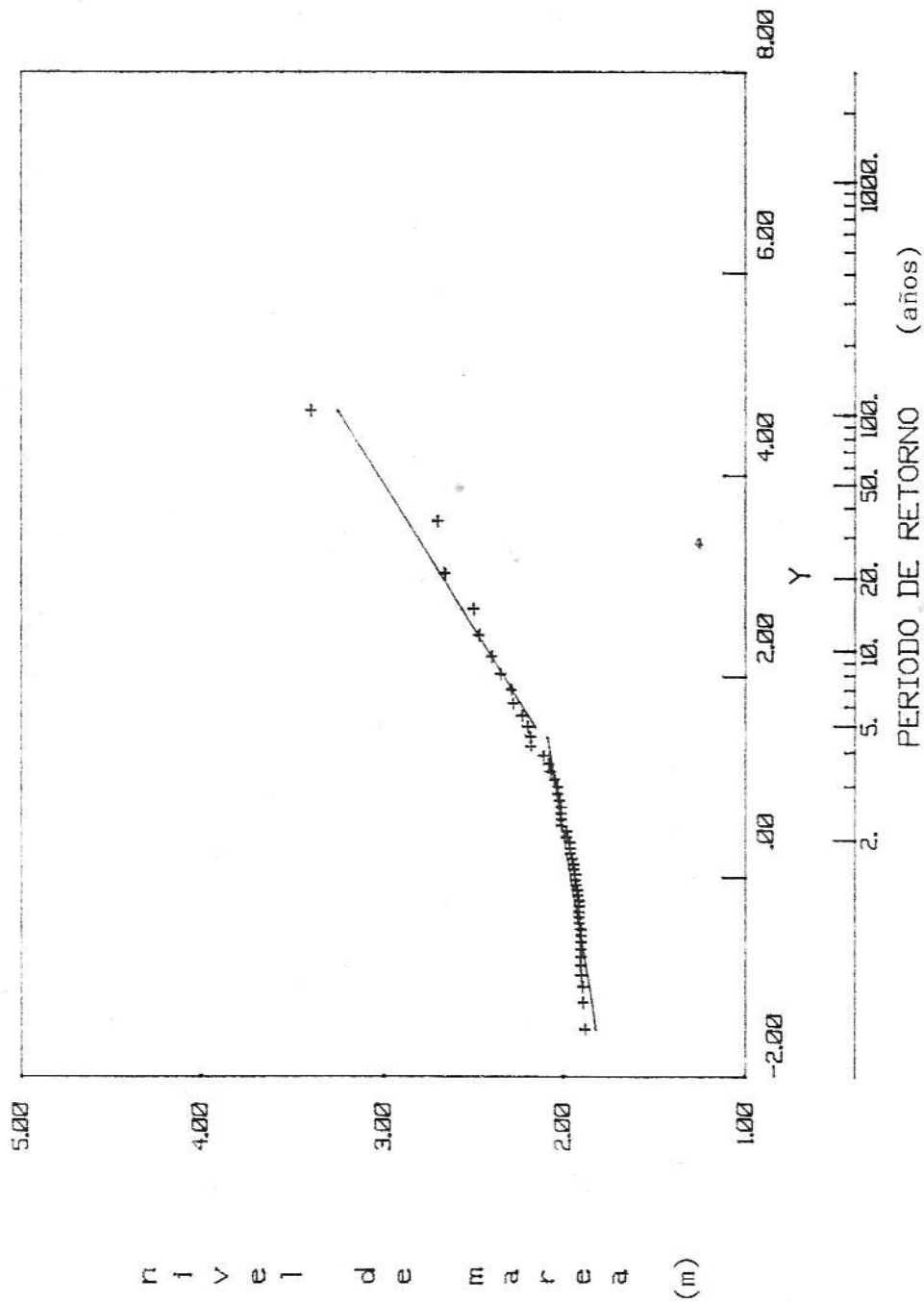


Figura V.5. Análisis de recurrencia de la serie de excedentes de máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Canal Arias.

MAREAS MÁXIMAS ANUALES en BUENOS AIRES (IGM)

LEY DE GUMBEL

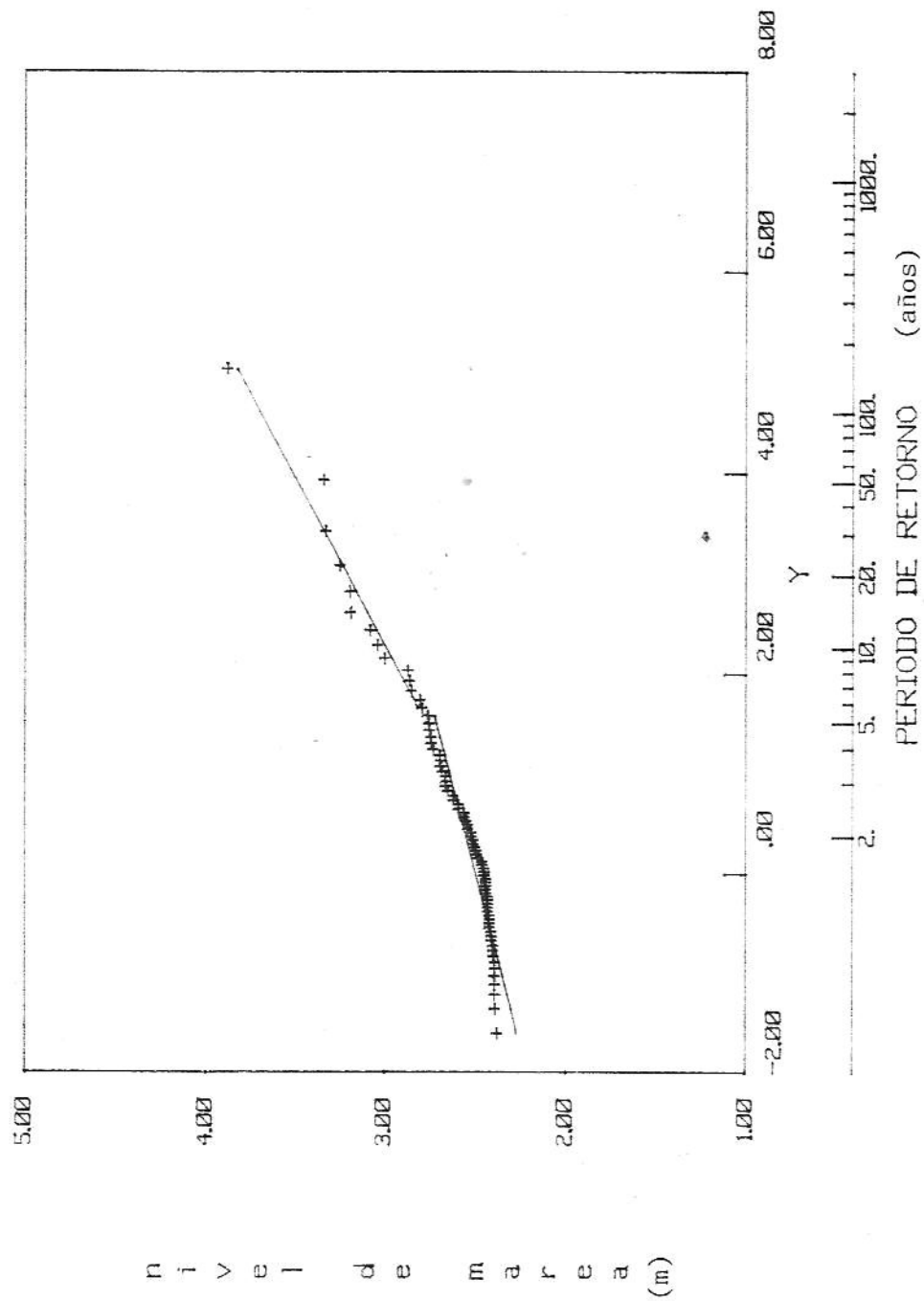


Figura V.7. Análisis de recurrencia de la serie de excedentes de máximos anuales de las mareas máximas diarias en el mareógrafo de Buenos Aires.

CORRELACION

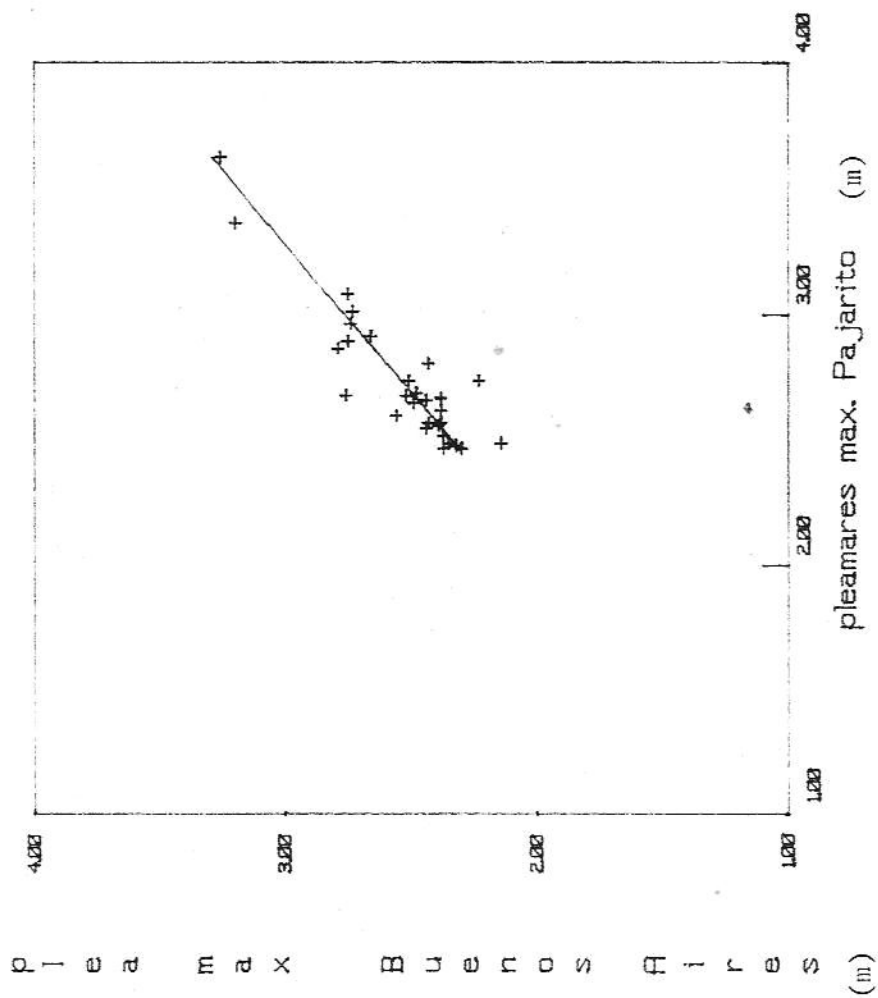


Figura V.8. Correlación entre niveles en Pajarito y Buenos Aires para los eventos de máxima anual de la marea máxima diaria en Pajarito.

DIAGRAMA DE DISPERSION PRECIPITACION vs NIVEL

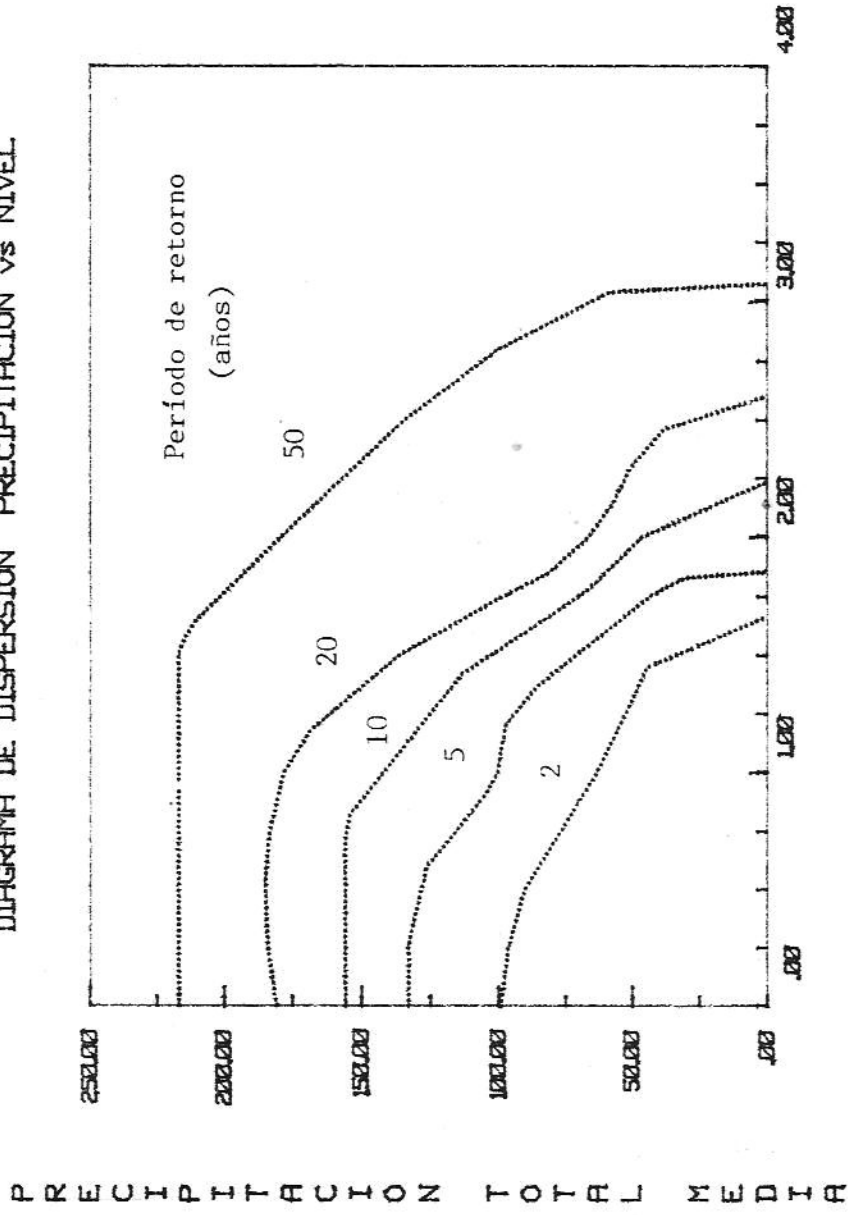


Figura V.9. Relación entre la precipitación total media sobre la cuenca del Río Matanza y el nivel medio diario en su desembocadura.

NIVELES MEDIOS MAXIMOS Y NIVELES MAXIMOS
LEY DE GUMBEL

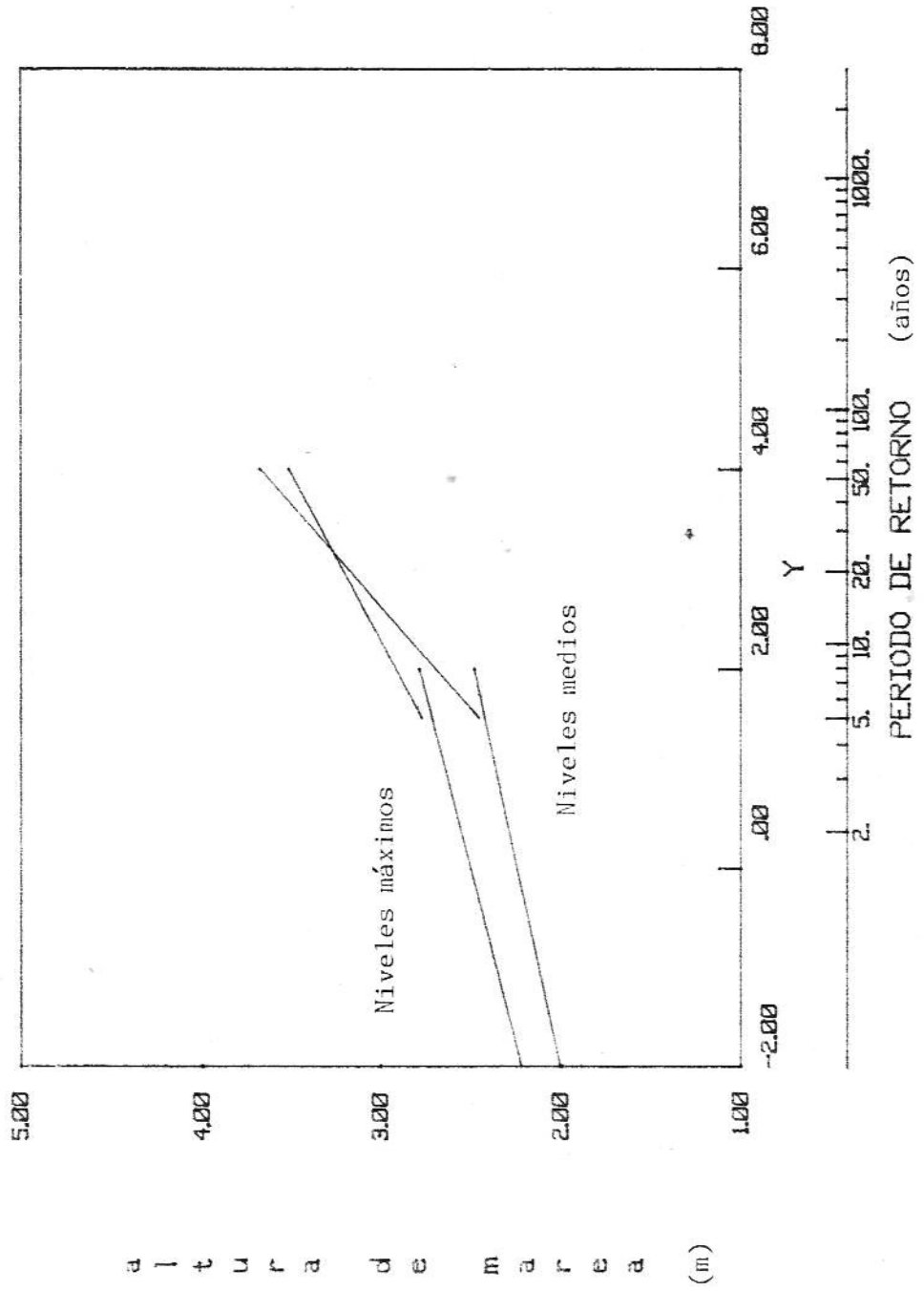


Figura V.10. Comparación entre recurrencias anuales de niveles medios y niveles máximos diarios en Buenos Aires.

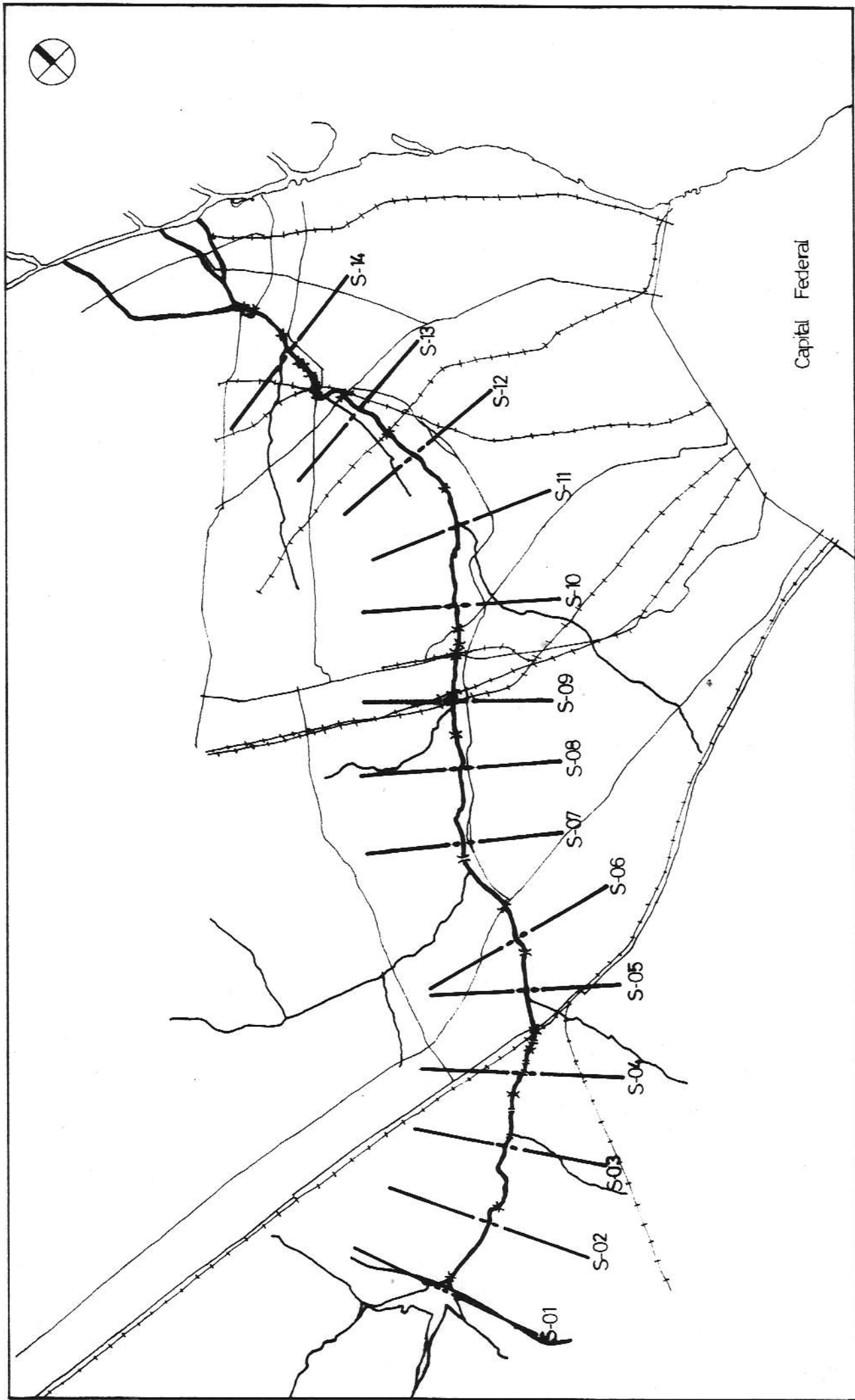


Figura V.11. Secciones transversales utilizadas en el modelo (S-01 / S-14)

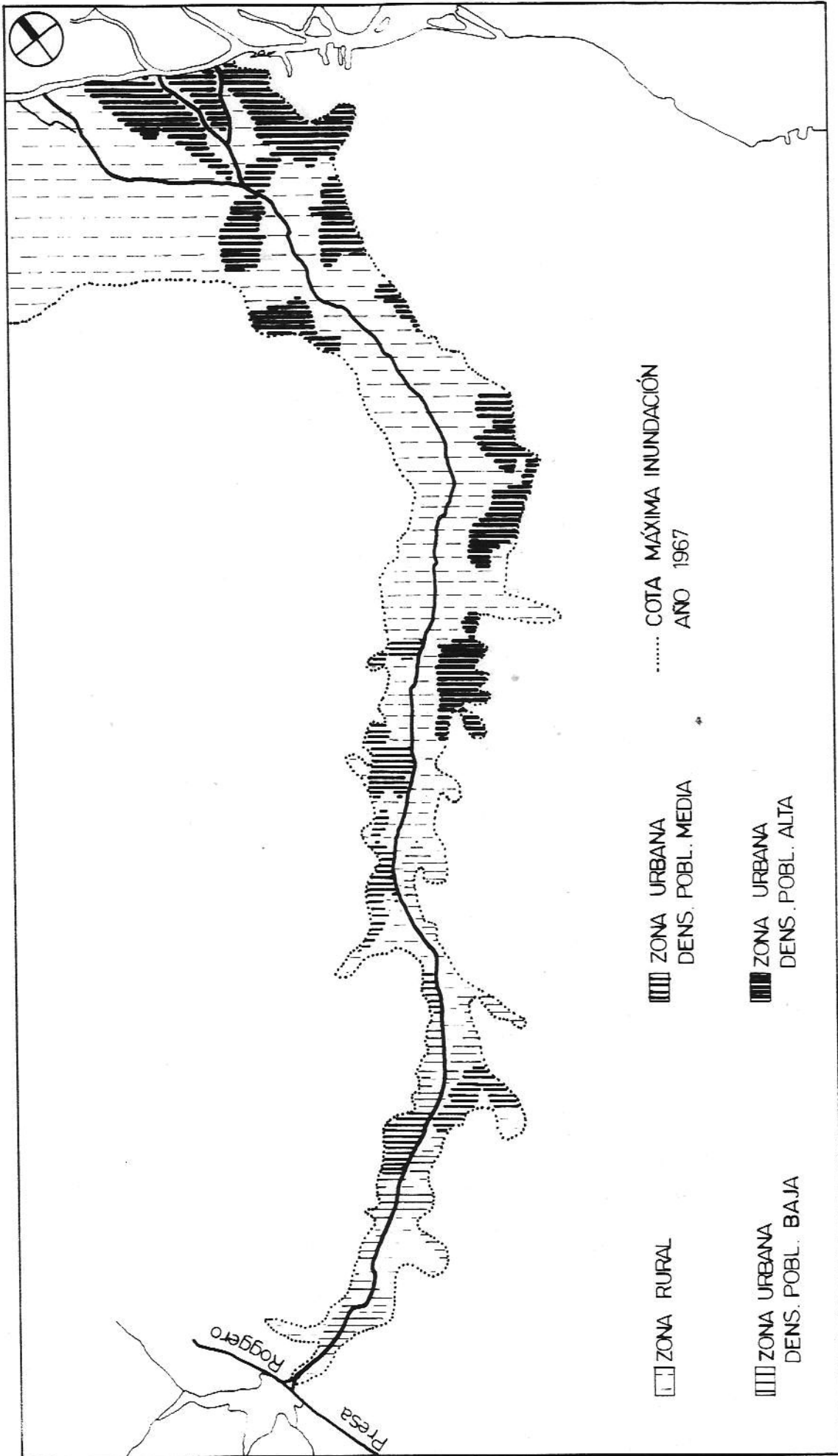


Figura V.12. Zonificación por rugosidad

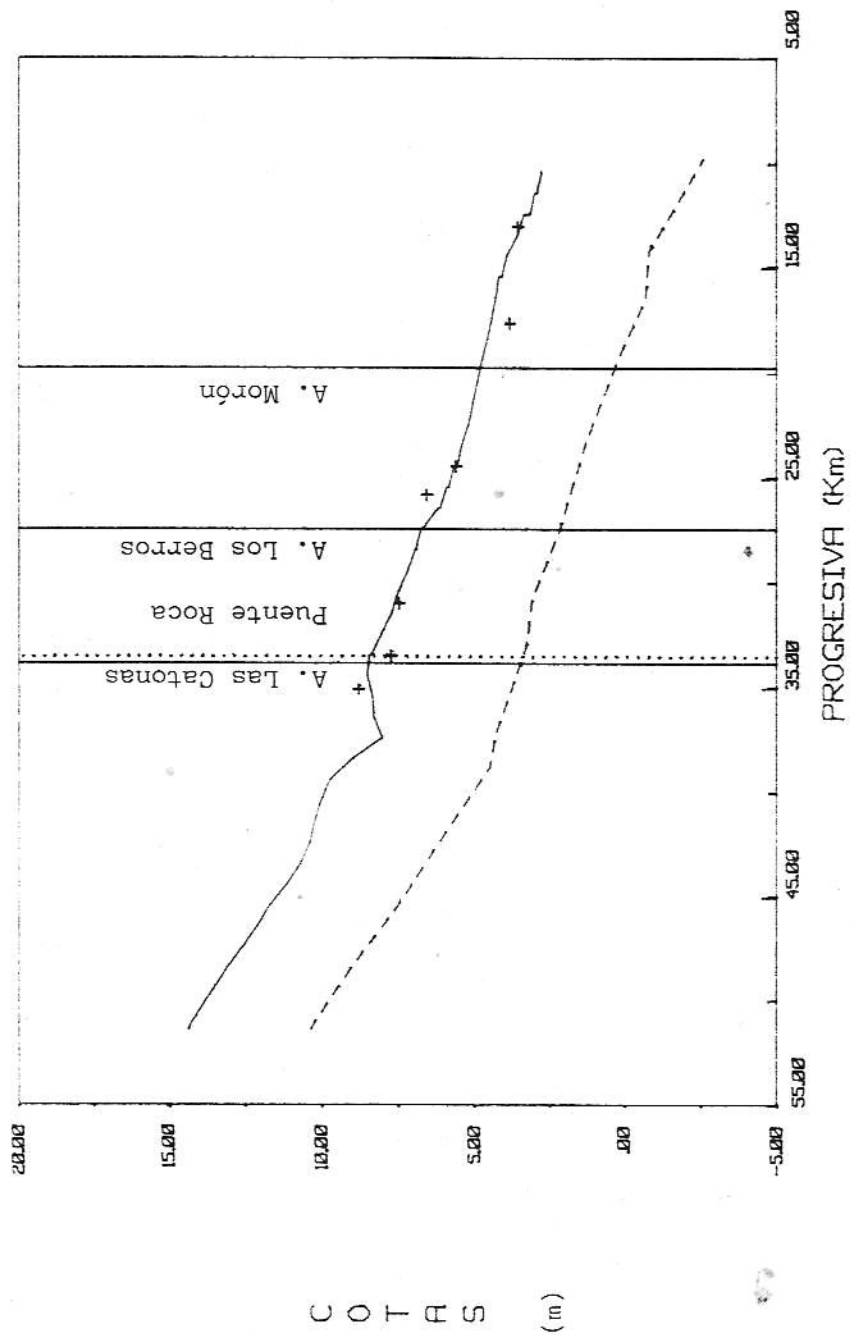


Figura V.13. Mapa de inundación de la crecida del 16/09/82. + : mediciones; --- : resultado de la calibración del modelo; ---- : cota de fondo.