

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

MODELO MATEMATICO  
DE INUNDACIONES  
DEL RIO RECONQUISTA  
Segundo Informe de Avance

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

Informe LHA 098 - 002 - 89

EZEIZA, diciembre 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 N. MENENDEZ (Jefe  
Dto. Hidráulica Computacional)

Personal Profesional:

Ing. Miguel A. CAVALIERE

Ing. Martín MARAZZI

Personal Técnico:

Srta. Susana HAYE

## RESUMEN

En la primera parte se presenta un análisis completo sobre los niveles del Río Luján en la zona de la desembocadura del sistema hídrico del Reconquista. Se selecciona el nivel representativo, se completa el análisis de recurrencia de niveles máximos presentado en el Informe de Primera Etapa, y se estudia la permanencia de las crecidas del Río Luján. En la segunda parte se discuten aspectos básicos del modelo matemático hidrodinámico. Se presentan la metodología y los resultados de la precalibración y la calibración, y se analiza la respuesta cualitativa del sistema hídrico a la excitación producida por la onda de crecida.

### DESCRIPTORES TEMATICOS:

Simulación numérica, modelación matemática, inundaciones, ecuaciones de Saint Venant.

### DESCRIPTORES GEOGRAFICOS E INSTITUCIONALES:

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

## 1. NIVELES EN EL RIO LUJAN

### 1.1. Elección del nivel representativo

El sistema hídrico en consideración se trifurca antes de desembocar en el Río Luján, constituyendo el Río Tigre, el Río Reconquista (Chico) y el Canal Aliviador. En consecuencia, es necesario caracterizar el funcionamiento hidráulico del Río Luján de modo de poder especificar adecuadas condiciones de contorno.

Esta caracterización ya se efectuó en la Primera Etapa del estudio, lo cual está asentado en el Informe correspondiente. En la segunda etapa se dispuso, a través de la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, de registros horarios de los mareógrafos de Pajarito y Canal Arias, cuya ubicación se indica en la Fig. 1.1, para algunos de los eventos de crecida por viento más importantes.

En el Informe de Primera Etapa se explicó que:

"...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..."

Del análisis de los registros para los eventos del 15 de abril de 1959, 9 de diciembre de 1960, 7 de setiembre de 1963 y 16 de julio de 1973 surge una confirmación de aquella interpretación. Se deduce que una onda típica de crecida (es decir, una onda de gran duración) se traslada desde el Río de la Plata hacia la cabecera del Río Luján. A la altura de Pajarito se distinguen claramente las oscilaciones producidas por la marea astronómica, pero éstas se atenúan completamente a la altura de Canal Arias cuando los niveles superan, aproximadamente, la cota 1,80 m I.G.M.. En la Fig. 1.2 se muestran, a título de ilustración, los registros correspondientes a la crecida de 1963, junto con una curva de ajuste en Pajarito para filtrar las oscilaciones y una curva interpolada mediante spline en Arias para suavizar. El desfase entre los picos (filtradas las oscilaciones) es, para todos los eventos analizados, del orden de las 10 horas, lo cual corresponde a velocidades de traslación de alrededor de 0,5 m/s. Estas son del orden de la velocidad media del río, confirmando la interpretación de onda de crecida (las ondas de corta duración, es decir, las asociadas a la marea astronómica, tienen velocidades que superan largamente el metro por segundo).

Respecto de la atenuación de la onda desde Pajarito hasta Canal Arias, se observan disminuciones del nivel pico en alrededor

de 20 cm, salvo para el evento de máxima duración (1959), donde el nivel pico en Canal Arias alcanza al máximo nivel en Pajarito e, incluso, supera el valor pico obtenido filtrando las oscilaciones por marea.

En base a estas observaciones se confirma el criterio adoptado en la primera etapa, que consiste en tomar como condiciones de contorno en el Río Luján un nivel único en las tres desembocaduras, e igual al nivel en Pajarito.

## 1.2. Recurrencia de niveles máximos

En el Informe de Primera Etapa se presentó un análisis de recurrencia de niveles máximos en Pajarito, en base a la serie de excedentes y la distribución de Gumbel (Fig. 1.3). Esa serie se construyó con los niveles máximos registrados con el mareógrafo de Pajarito durante todo su período de operación, que se extendió desde 1952 hasta 1979.

Dado que fuera del período mencionado ocurrieron crecidas de gran envergadura, incluyendo la de noviembre de 1989, se estudió la posibilidad de extender la serie a través de la incorporación de datos extra provenientes de otras fuentes, ya que el mareógrafo fue desactivado en el año 1980. Se obtuvieron datos de crecidas registrados por la Prefectura de Tigre a la altura de la desembocadura del Río Tigre, durante la presente década. Se seleccionaron aquellos eventos con niveles que superaron la cota 1,90 I.G.M., que está 20 cm por debajo del nivel considerado como base del estado de alerta en la zona, los cuales se indican en la Tabla 1.1. Agregando esta información a la disponible de Pajarito se construyó la serie de excedentes de niveles máximos, suponiendo que durante los años 1980, 81 y 82 no se produjeron eventos de gran envergadura. Los resultados se presentan en la Fig. 1.4. Comparando con la Fig. 1.3, se observa que los puntos que representan eventos correspondientes a los niveles mayores (1958, 1959) sufren un pequeño corrimiento hacia la izquierda, es decir, se asocian a una menor recurrencia por efecto, básicamente, de la presencia del pico de 1989. No obstante, las rectas de ajuste no varían apreciablemente, por lo cual no se modifican las conclusiones respecto del análisis anterior.

Para completar el estudio se decidió incorporar aún más información, de modo de tener en cuenta la crecida máxima histórica, producida en el año 1940. Esto se llevó a cabo en base a los datos registrados en Buenos Aires. Como fuente de información se utilizó el informe "Análisis frecuencial de los niveles extremos del Río de la Plata en la zona del Puerto de Buenos Aires" del Servicio de Hidrografía Naval, producido por E. D'Onofrio y C. Balay. Allí se presentan los máximos mensuales registrados con el mareógrafo del Riachuelo (controlado por la DNCPyVN) en el período 1905-1959, y los registrados con el mareógrafo de Palermo (controlado por el SHN) en el período 1960-1981. La base de datos se completó con los registros de la DNCPyVN durante el lapso 1982-1989.

Hubo que establecer, primeramente, que existe una buena correlación entre los niveles en Buenos Aires y en Pajarito. En el Informe de Primera Etapa se presentó esa correlación involucrando los máximos anuales durante el período 1952-1979 (que es cuando existen datos en Pajarito). En la Fig. 1.5 se muestra la correlación entre los máximos mensuales correspondientes al mismo período, junto con la recta de regresión y los límites de confianza del 95 y 99 %. El factor de correlación resultó ser de 0,935. Esto confirma que, tal cual se expresó anteriormente, el nivel en Pajarito parece estar totalmente controlado por el nivel del Río de la Plata.

La nueva serie de excedentes se construyó, entonces, tomando como base los máximos mensuales en Pajarito para los años 1952-1979, los picos registrados en Tigre en el período 1983-1989, y, para los años restantes (1905-1951 y 1980-1982) los máximos mensuales obtenidos de la correlación con Buenos Aires. Los resultados se presentan en la Fig. 1.6. Comparando con la Fig. 1.4, se observa que la presencia de la crecida de 1940 no afecta, en término medio, la ubicación de los puntos correspondientes a los eventos máximos, ya que aquella crecida se asocia a una recurrencia del orden de los 100 años. Las rectas de regresión no sufren, como en el caso anterior, ninguna variación significativa.

La consistencia de los resultados del análisis desarrollado, en cuanto a la poca sensibilidad de la regresión, torna confiable la metodología empleada. Se adoptará la efectuada para el caso completo (Fig. 1.6).

### 1.3. Permanencia de crecidas del Río Luján

Para caracterizar la permanencia de las inundaciones producidas por las crecidas del Río Luján, se analizaron los cotagramas correspondientes a eventos en los cuales se alcanzaron los mayores niveles históricos. Se dispuso, tal como se explicó más arriba, de los registros en Pajarito para las crecidas del 15 de abril de 1959, 9 de diciembre de 1960, 7 de setiembre de 1963 y 16 de julio de 1973. Para cada uno de ellos se determinó el intervalo de tiempo durante el cual el nivel supera una cota dada. La Fig. 1.7 presenta el intervalo de tiempo neto de "inundación", considerando que, debido a las oscilaciones del nivel, existen lapsos durante los cuales éste cae por debajo de esa cota para luego volver a superarla. En la Fig. 1.8 se muestra el intervalo de tiempo total de inundación, desde la primera vez que se supera la cota analizada hasta el momento en que el nivel cae definitivamente por debajo de esa cota. En ambos casos se observa una tendencia definida: mayores permanencias corresponden a mayores niveles pico. Por ejemplo, para la cota 2 m los registros históricos considerados indican permanencias que varían entre 1 y 3 días para niveles picos que van desde 2,7 hasta 3,4 m.

No es posible, con este grado de información, establecer relaciones precisas entre permanencias y niveles pico. No obstante, de las figuras pueden obtenerse estimaciones mediante interpolación.

En el caso de que las crecidas del Luján no estén acompañadas de crecidas del Reconquista, lo cual es altamente probable, la inundación provocada en la baja cuenca (zona del Tigre) puede estimarse como un nivel básicamente uniforme e igual al de Pajarito, por lo cual el análisis de permanencia antes efectuado puede utilizarse para definir la inundación en toda la zona.

## 2. MODELO HIDRODINAMICO

### 2.1. Precalibración

Ante la necesidad de contar con un modelo hidrodinámico operativo a la brevedad, y ante la ausencia inmediata de una base de datos completa para calibrar, se procedió en un primer momento a efectuar una precalibración, es decir, un ajuste de los parámetros del modelo que garantizaran una representación grosera del fenómeno.

Para este propósito se dispuso de un mapa de inundación de las crecidas de los años 1959 (13 al 15 de abril) y 1967 (8 al 10 de octubre). El mapa, provisto por la Dirección Provincial de Hidráulica, está hecho en escala 1:25.000, y presenta los límites de las zonas inundadas junto a las curvas de nivel del terreno. Por otro lado, se obtuvieron las cotas máximas de inundación de algunos puntos aislados debido a la crecida de 1982 (14 al 16 de setiembre). La fuente fue "Informe Especial - Crecida del Río Reconquista del 16-9-1982", producido por INCONAS S.R.L. para CEAMSE, en relación a la construcción del Camino del Buen Ayre.

En ninguno de estos casos se contó con datos sobre caudales de arribo a la cabecera del modelo y aportados por los afluentes, de modo que fue necesario desarrollar una metodología para esquematizar su distribución longitudinal y estimar su intensidad. Para ello se utilizaron los resultados preliminares provistos por el modelo hidrológico para simular crecidas con 2, 5, 10, 25 y 50 años de recurrencia. Estas corridas preliminares se efectuaron sobre una esquematización simple de la cuenca, en la que se distinguieron solo los aportes de los arroyos Las Catonas, Los Berros y Morón. Se observó que la relación entre los caudales pico, correspondientes a los distintos tramos entre aportes laterales, se mantenía prácticamente constante para las distintas recurrencias. Respecto del primer tramo, que corresponde al aporte de cabecera, la situación es diferente estando o no presente la presa Roggero. En los años 1959 y 1967 la presa aún no había sido construída. Dado que las corridas del modelo hidrológico consideraban tanto la presencia de la presa Roggero como las de La Choza y El Durazno, en estos casos se adoptó como caudal representativo del primer tramo el que resulta de sumar los aportes a La Choza y El Durazno, antes de la laminación. En cambio, en el año 1982 las presas regularon la descarga, tal como lo simuló el modelo hidrológico.

Si se adopta como criterio el mantenimiento de la relación de caudales, salvo en el primer tramo cuando actúa la presa Roggero, solo es necesario definir un valor de caudal en alguno de los tramos para determinar la distribución completa. Este valor se obtuvo por prueba y error, tratando de ajustar el perfil calculado (en régimen permanente) a los datos observados. Además, para el año 1982 se dispuso de algunos aforos realizados en Puente Roca en días posteriores a la tormenta, que arrojaron valores de caudal del orden de los 100 m<sup>3</sup>/s.

En la Tabla 2.1 se presentan los valores de caudal adoptados en cada tramo del Reconquista para los tres eventos considerados. Se trabajó con un modelo reducido, que se extendió hasta el Acceso Norte, ya que esa es la zona donde se dispone de información. Los valores de rugosidad adoptados son los mismos que se presentaron en el Informe de Primera Etapa. Con esos datos se obtuvieron los resultados mostrados en las Figs. 2.1 a 2.3. Se observa que el acuerdo logrado entre simulación y mediciones es satisfactorio.

## 2.2. Calibración

Como evento de calibración se adoptó la crecida del año 1985 (30 de mayo y 1 de junio), para la cual se dispuso de todos los datos necesarios para alimentar el modelo. El mapa de inundación se determinó a partir de aerofotografías facilitadas por la Dirección Provincial de Hidráulica. Como la determinación de los límites de inundación se hizo en forma visual, éstos están afectados de un error relativamente grande. Los hidrogramas del caudal erogado por la presa Roggero y de los caudales aportados por las diversas subcuencas fueron provistos por el modelo hidrológico. En la Tabla 2.2 se resumen las principales características de esos hidrogramas. La simulación se efectuó sobre el modelo hidrodinámico completo, es decir que se extendió desde la Roggero hasta el Río Luján, incluyendo las tres ramas en que se divide el Reconquista antes de su desembocadura. Para ello se agregaron secciones transversales representativas del Río Tigre, del Reconquista (Chico) y del Canal Aliviador. El nivel del Luján se tomó igual a 0,82 m I.G.M., el cual, si bien es relativamente alto respecto de una situación normal, no produce inundación en la baja cuenca. El paso espacial de discretización ( $\Delta x$ ) es de 1 km. Se tomó un paso temporal ( $\Delta t$ ) de 15 minutos, lo cual da un rango de números de Courant ( $\sqrt{gh} \Delta t / \Delta x$ ) entre 5 y 10, aproximadamente.

Durante la calibración se ajustaron levemente los valores del coeficiente de Manning respecto de los iniciales presentados en el Informe de Primera Etapa: 0,035 para el cauce y 0,045 para las zonas rurales. Más significativos fueron los ajustes en los parámetros que caracterizan la pérdida de carga local en los puentes. La Fig. 2.4 muestra el perfil de los niveles pico calculado por el modelo (aguas abajo el perfil sigue la traza del Canal Aliviador) junto a los datos relevados en algunas secciones (éstos se presentan como pares de puntos que indican los extremos de un intervalo). El acuerdo entre ambos se considera altamente satisfactorio dada la calidad de la información disponible.

## 2.3. Tipos de resultados y respuesta del sistema

El modelo hidrodinámico responde a dos tipos de excitaciones: la provocada por el aporte de agua en la cabecera (presa Roggero) y por los afluentes, y la debida a la variación del nivel de agua en el Río Luján. Los resultados directos provistos por el modelo son el perfil instantáneo de niveles y caudales para instantes especificados, los hidrogramas de caudal y nivel en secciones

especificadas y los caudales y niveles picos alcanzados en cada sección de cálculo junto con los instantes de tiempo en que se produjeron. En base a estos resultados es posible obtener la permanencia de la inundación en puntos especificados, caracterizados por su progresiva y su cota.

Tal cual se explicó en el Informe de Primera Etapa, las ondas de inundación que se trasladan a lo largo del Reconquista forman parte del rango de ondas más largas dentro del espectro de ondas en aguas poco profundas. En consecuencia, éstas se trasladan con una velocidad del orden de la del fluido, mientras se atenúan suavemente. En régimen libre se establece una relación definida entre el nivel y el caudal locales: a mayor nivel mayor caudal. El aporte de cada subcuenca produce un aumento local del caudal, que se manifiesta en un crecimiento relativo del nivel aguas abajo del aporte.

La presencia de estructuras tales como puentes, que producen un efecto obstruccionista, modifican las condiciones descriptas. En efecto, el embalse generado aguas arriba de la estructura produce una atenuación del pico de la onda. Es decir, la estructura aumenta niveles y disminuye caudales. Este efecto ha resultado particularmente notable en el problema en estudio, dada la gran cantidad de puentes que atraviesan el río. El mismo efecto provoca el remanso producido por las crecidas del Río Luján.

#### 2.4. Algunos resultados

A título ilustrativo, la Fig. 2.5 presenta los niveles picos obtenidos para crecidas con frecuencias de 10, 25 y 50 años. Como condición de borde en el Río Luján se tomó un nivel de 0,50 m, que corresponde al máximo observado entre los valores medios anuales. Los hidrogramas de aporte fueron provistos por el modelo hidrológico. La Fig. 2.6. muestra los hidrogramas de nivel y caudal en Puente Roca (progresiva 33,5 km) correspondiente a la crecida de 50 años.

Por su parte, la Fig. 2.7 presenta una comparación entre los niveles pico en condiciones naturales y en una de las alternativas estudiadas (que incluye canalización y terraplenes) para la crecida de 50 años.

Tabla 1.1. Crecidas registradas por la Prefectura de Tigre.

Año	Período
1983	Jul 23 - Jul 24
	Set 27 - Set 29
	Nov 12 - Nov 14
	Dic 1
1984	Feb 23 - Feb 24
	Mar 28 - Mar 29
	Abr 16
	Abr 19 - Abr 21
1985	Mar 7 - Mar 8
	Mar 24 - Mar 25
	Ago 14
	Jul 7 - Jul 8
1986	Set 14 - Set 16
	Ene 16 - Ene 17
	Feb 10 - Feb 11
	Abr 13 - Abr 14
	Abr 23
	Nov 11
1987	Dic 31 - Ene 1 (1987)
	Ene 9 - Ene 10
	Set 15 - Set 16
	Nov 4
1988	Feb 9 - Feb 10
	Mar 6 - Mar 7
1989	Feb 7 - Feb 8
	Ago 19 - Ago 21
	Nov 18 - Nov 20

Tabla 2.1. Caudales pico ( $m^3/s$ ) adoptados en las corridas de precalibración.

Tramo	Evento (año)		
	1959	1967	1982
Roggero - Las Catonas	463	700	92
Las Catonas - Los Berros	113	135	67
Los Berros - Morón	102	85	50
Morón - Acceso Norte	93	78	47

Tabla 2.2. Aportes de las subcuencas en la crecida de 1985.

Subcuenca		Caudal pico ( $m^3/s$ )	Tiempo al pico (horas)
Basualdo	10,23	210,3	21,92
	10,23	538,3	22,40
Morón	20,41	277,6	21,44
Los Berros	28,11	139,4	19,37
De Soto	29,11	340,2	19,20
Las Catonas	34,91	199,5	26,95
Saladero	37,01	52,7	18,34
Torres	39,81	94,5	14,20
Soto	43,90	40,0	18,10
Laferrere	44,71	66,3	19,14
	45,90	201,1	19,49
Sauce	48,38	98,0	18,48
Presa Roggero	51,41	309,8	50,70

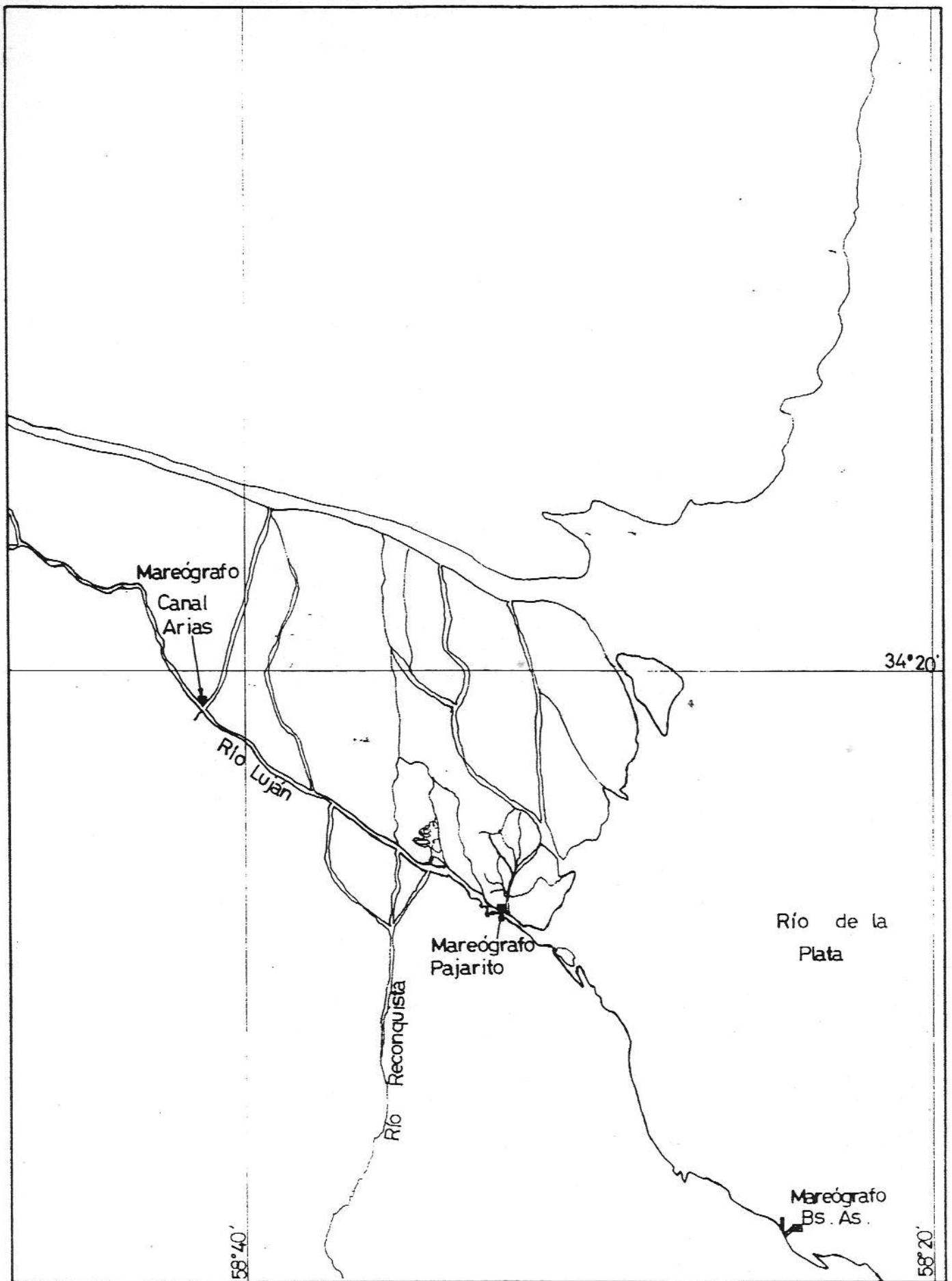


Figura 1.1. Ubicación de mareógrafos

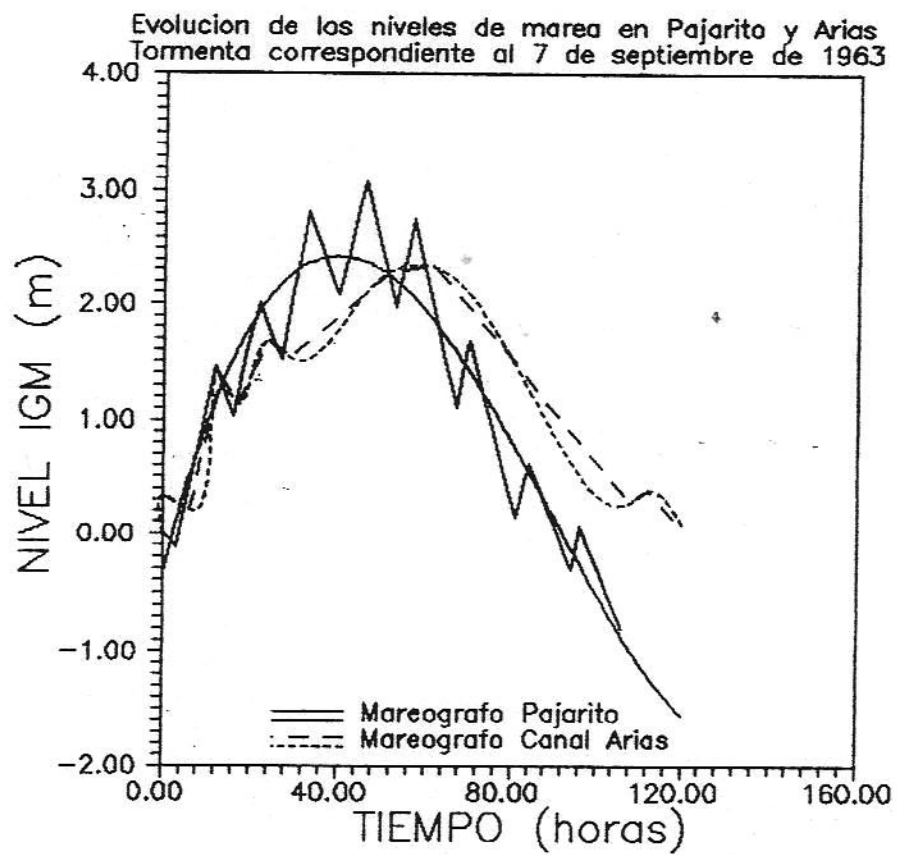


Figura 1.2

MAREAS MAXIMAS EXCEDENTES : PAJARITO 1952-79 (IGM)

LEY DE GUMBEL

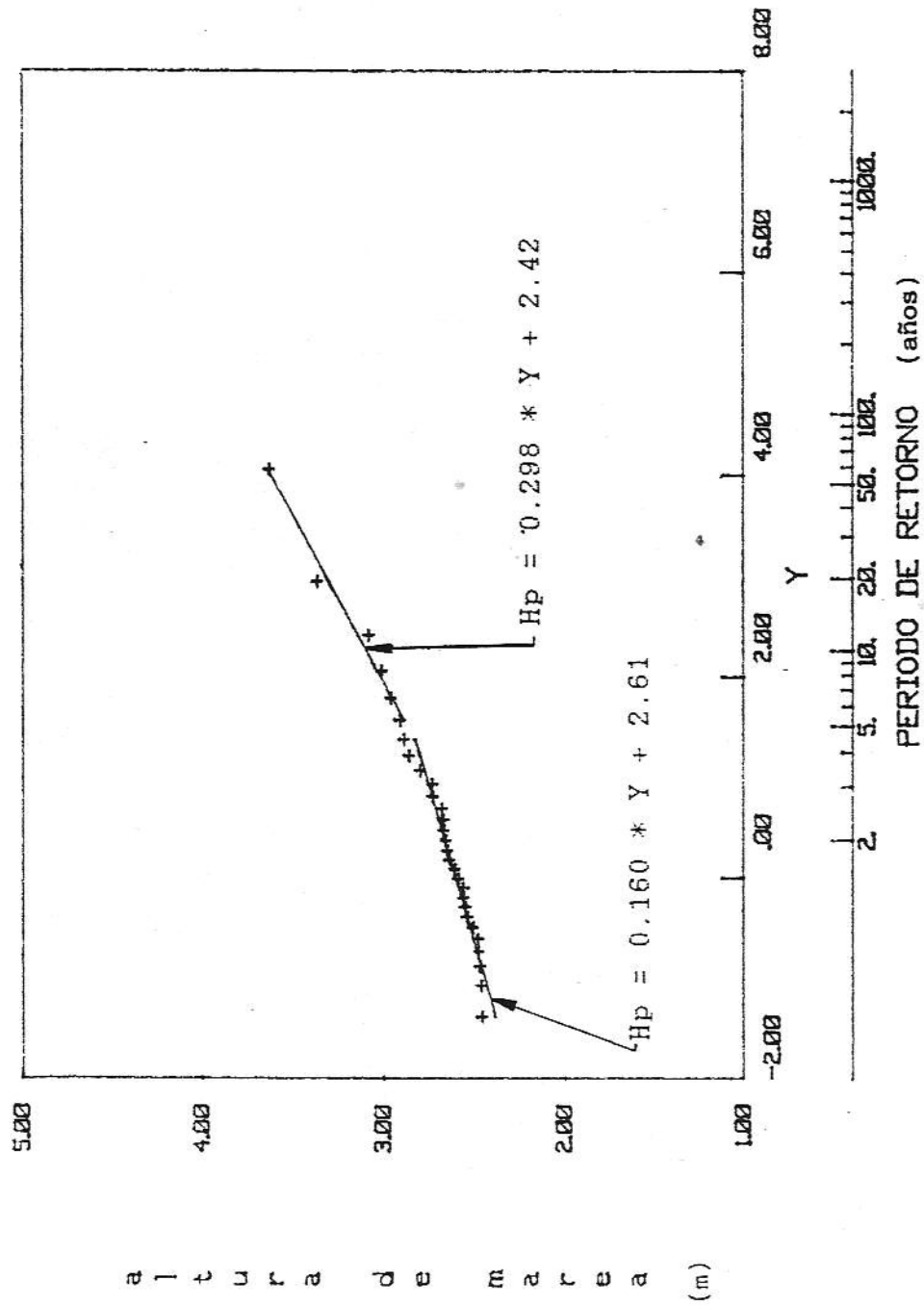


Figura 1.3. Regresión para niveles pico en el Río Luján.  
Serie 1952-1979.

MAREAS MAXIMAS EXCEDENTES : PAJARITO 1952-89 (IGM)

LEY DE GUMBEL.

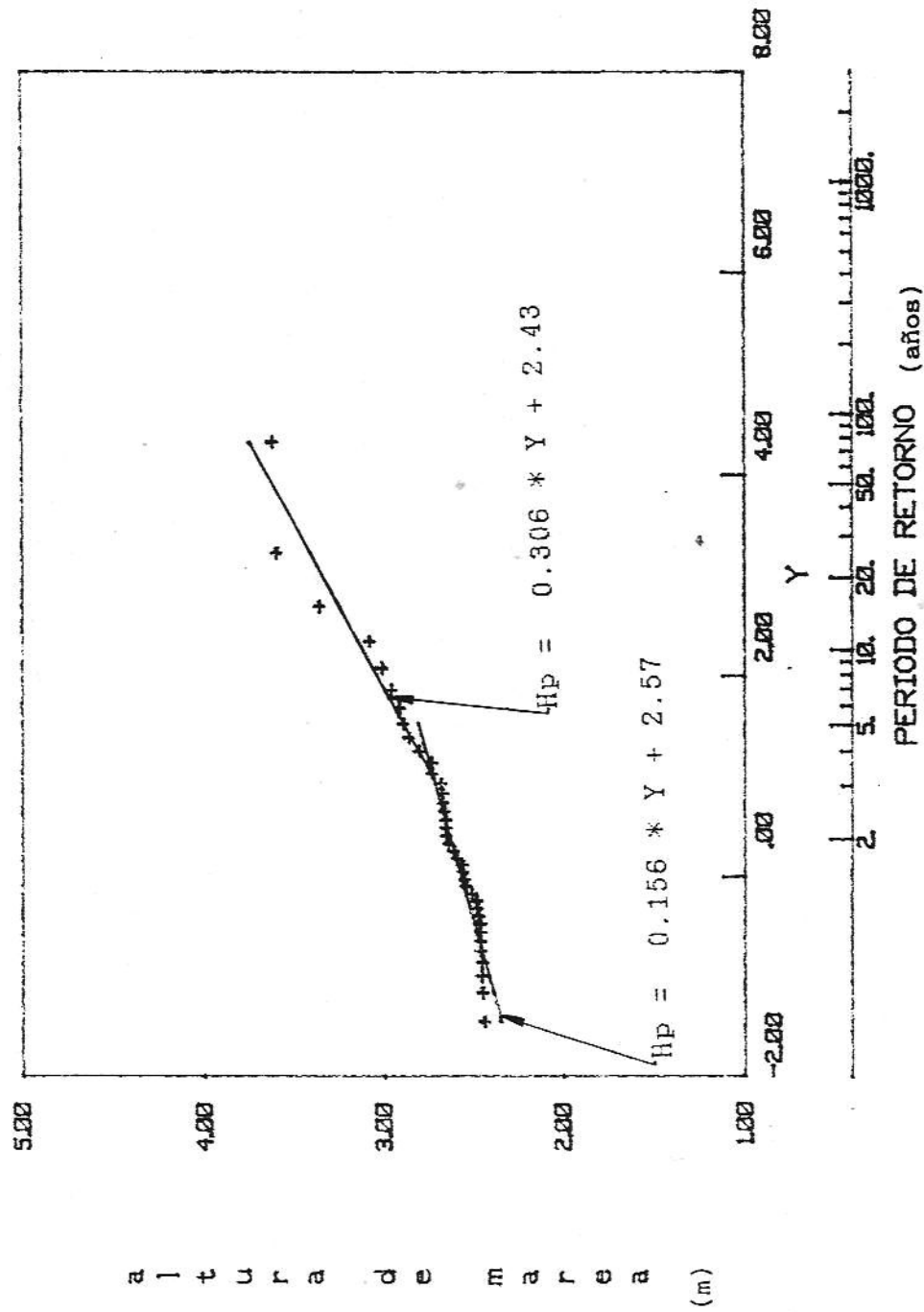


Figura 1.4. Regresión para niveles pico en el Río Luján.

Serie 1952-1989.

CORRELACION

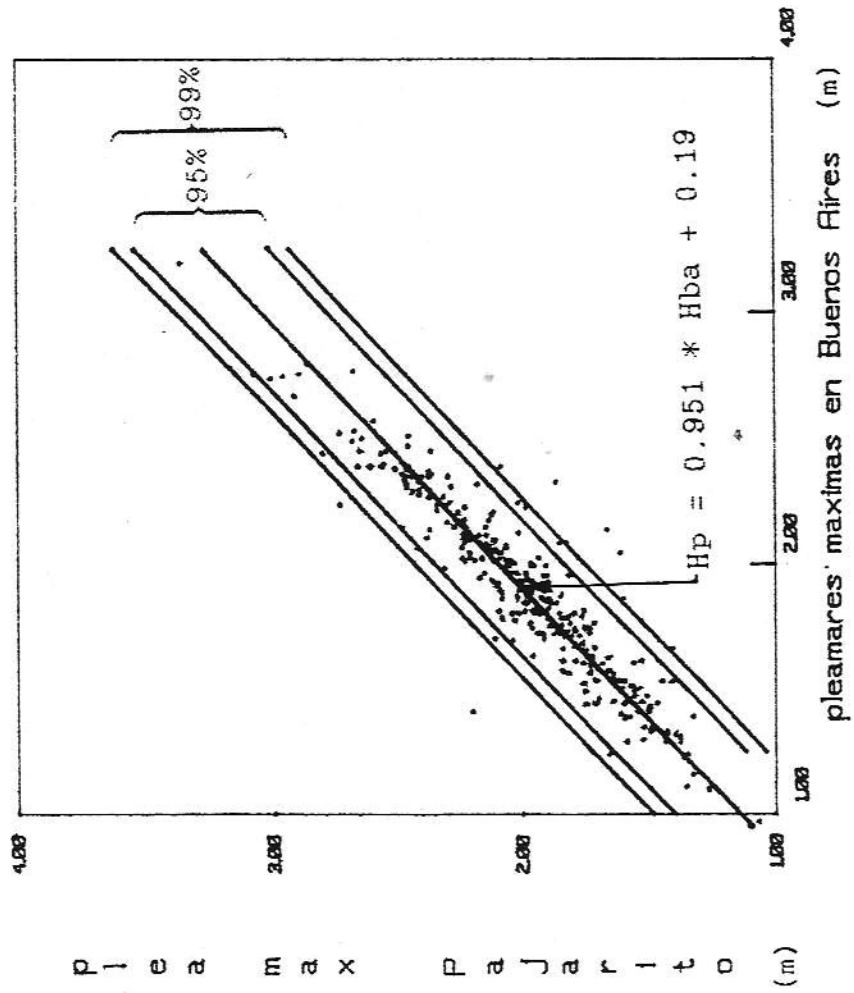


Figura 1.5. Correlación entre niveles pico en Buenos Aires y Pajarito.

MAREAS MAXIMAS EXCEDENTES : PAJARITO 1905-89 (IGM)

LEY DE GUMBEL

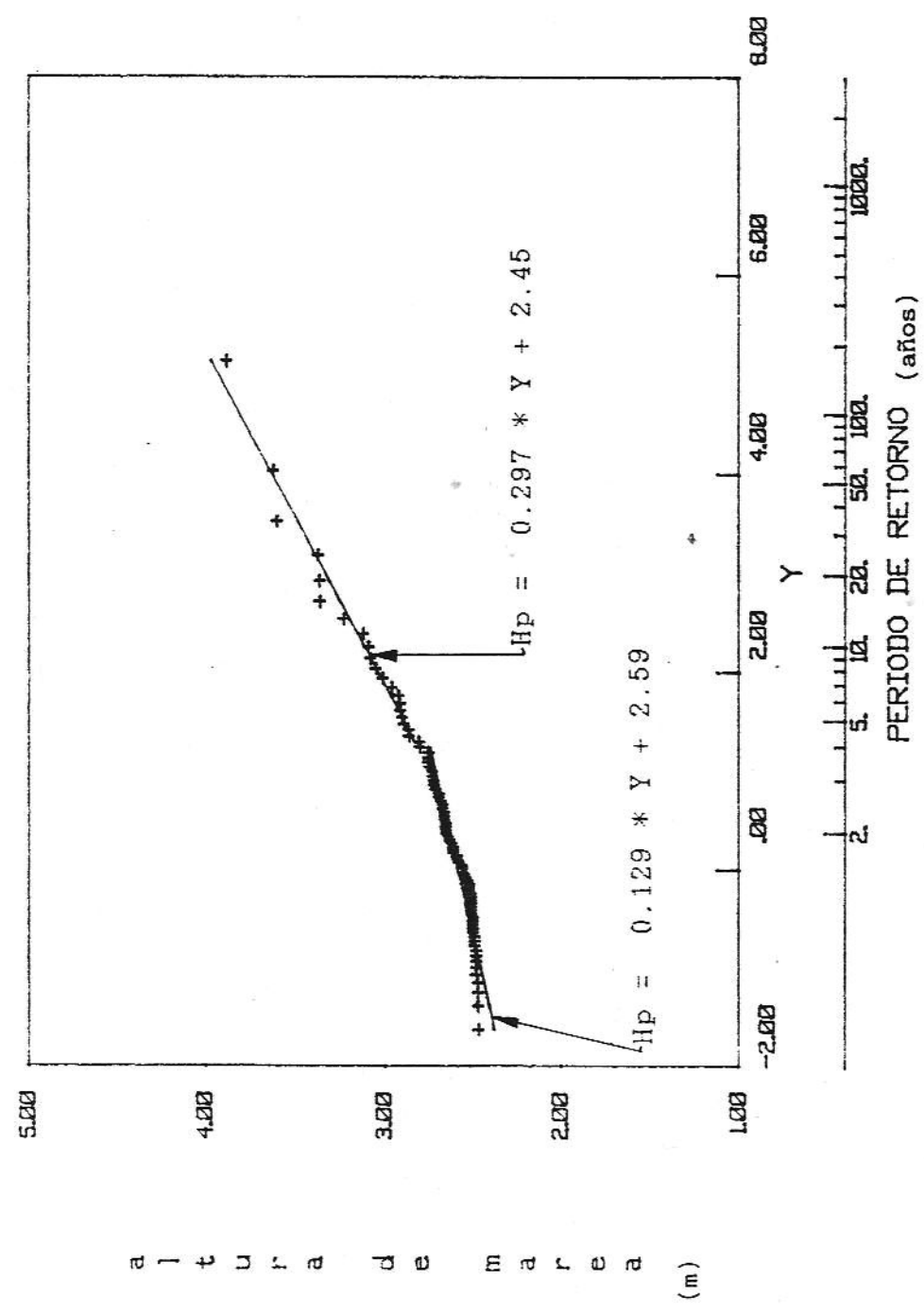
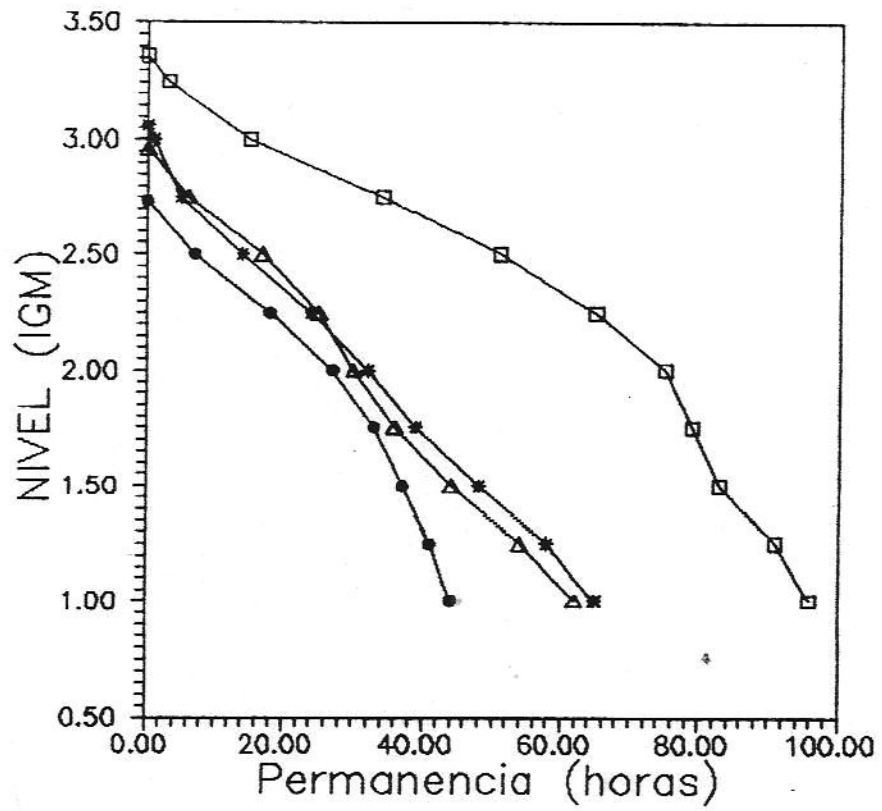
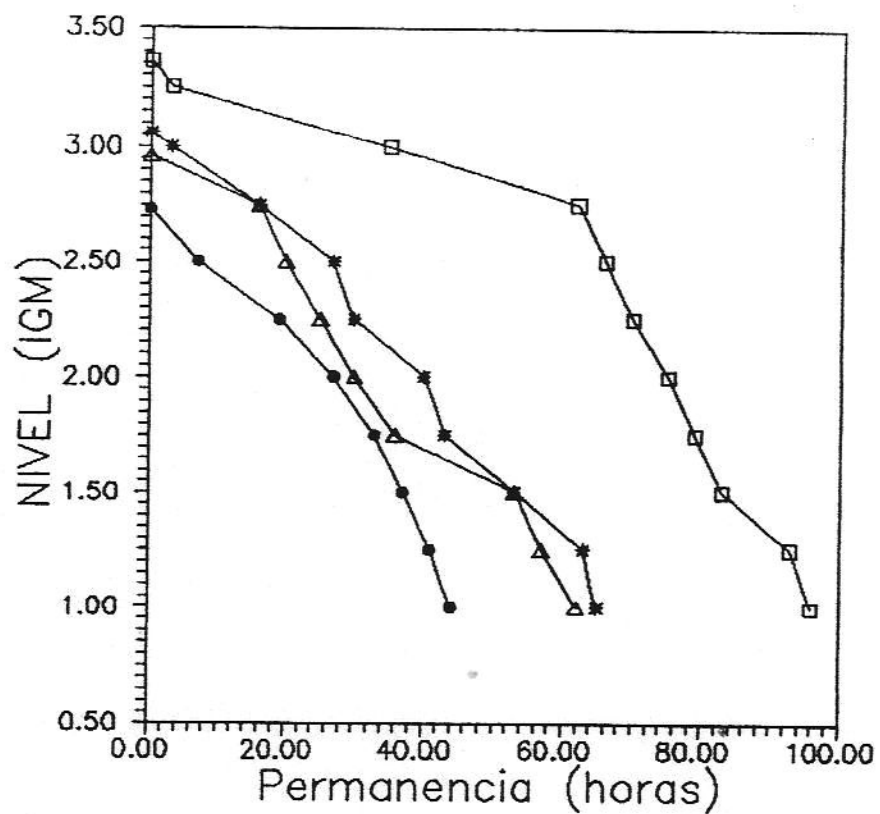


Figura 1.6. Regresión para niveles pico en el Río Luján. Serie 1905-1989.



Fecha	Nivel Pico (IGM)
15-ABR-1959	3.36 m
7-SET-1963	3.08 m
16-JUL-1973	2.96 m
9-DIC-1960	2.73 m

Figura 1.7. Permanencia neta de crecidas históricas.



Fecha	Nivel Pico (IGM)
15-ABR-1959	3.36 m
7-SET-1963	3.08 m
16-JUL-1973	2.96 m
9-DIC-1960	2.73 m

Figura 1.8. Permanencia total de crecidas históricas.

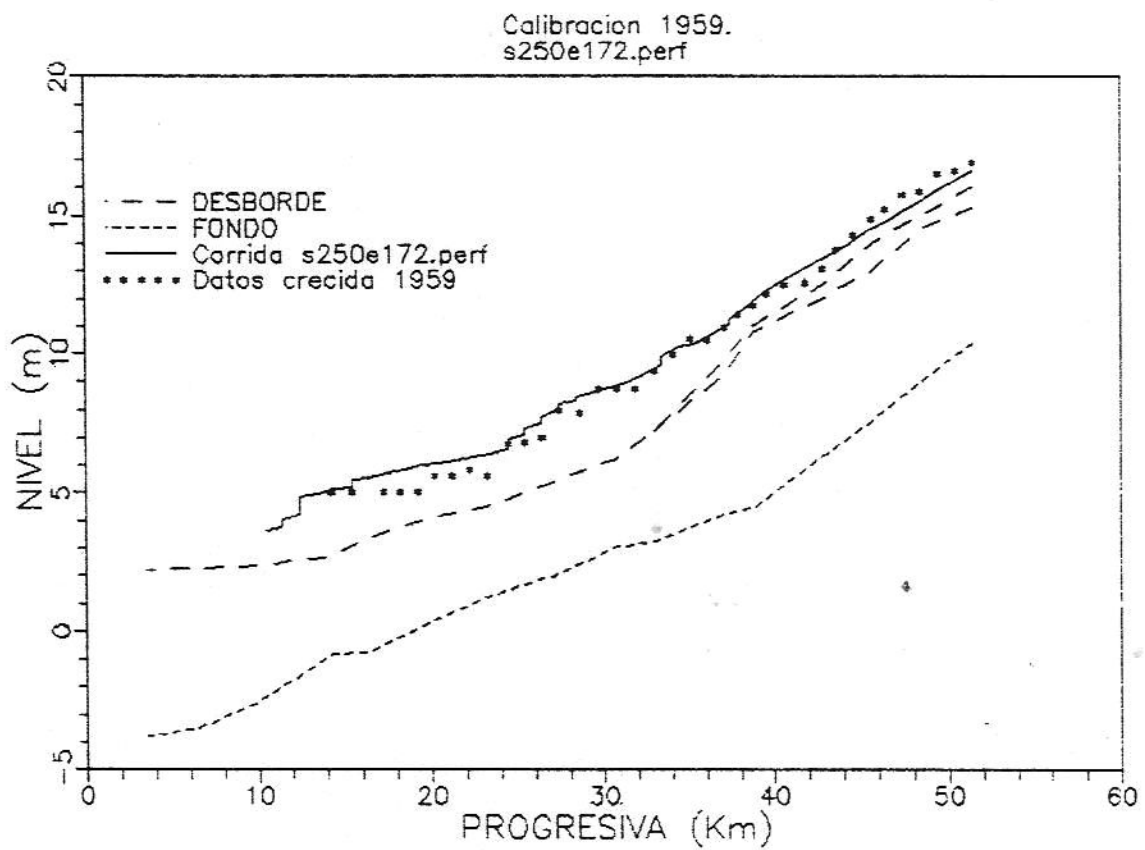


Figura 2.1. Corrida de precalibración. Crecida de 1959.

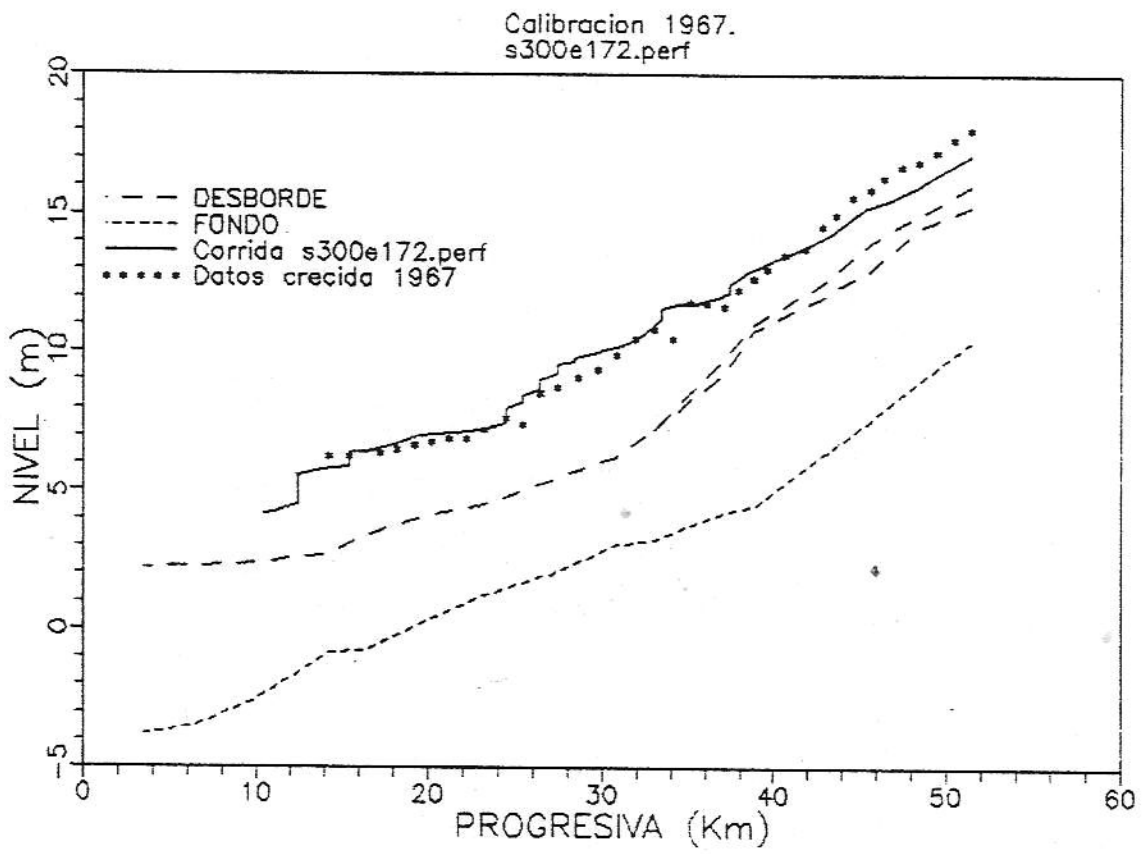


Figura 2.2. Corrida de precalibración. Crecida de 1967.

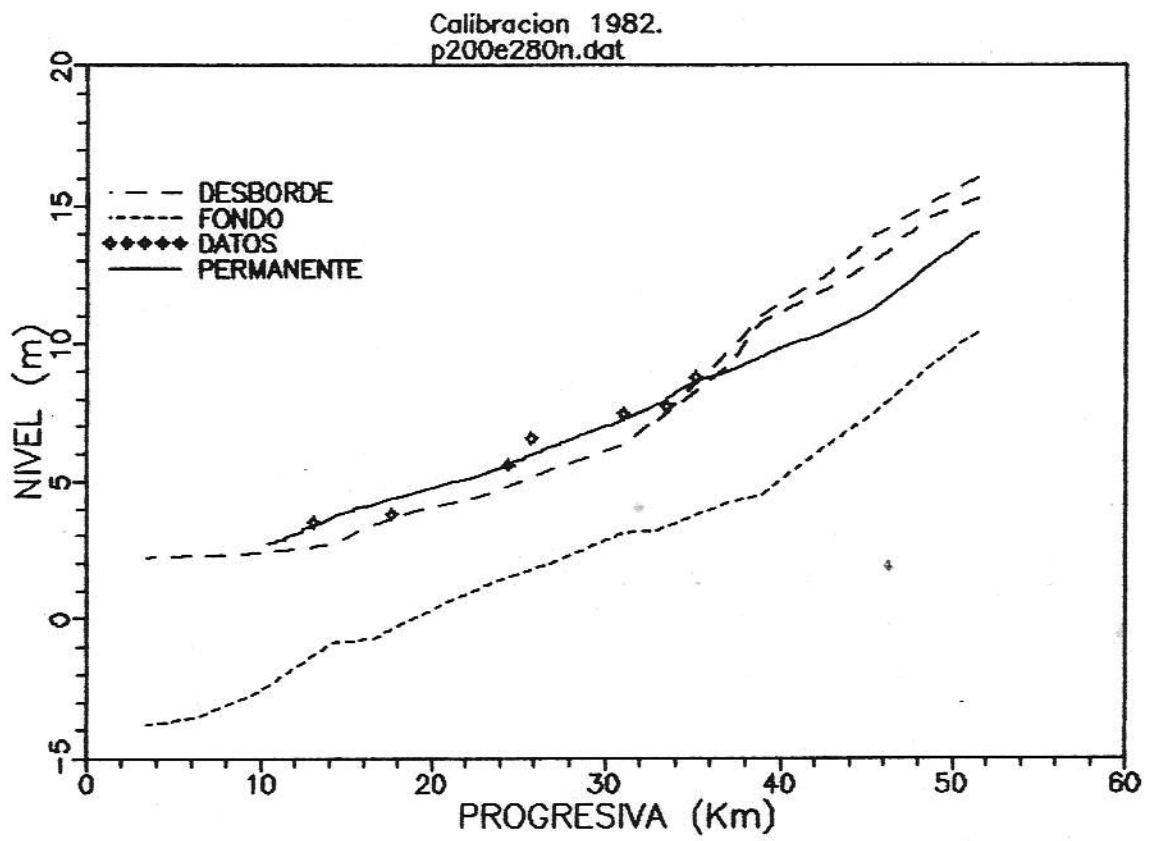


Figura 2.3. Corrida de precalibración. Crecida de 1982.

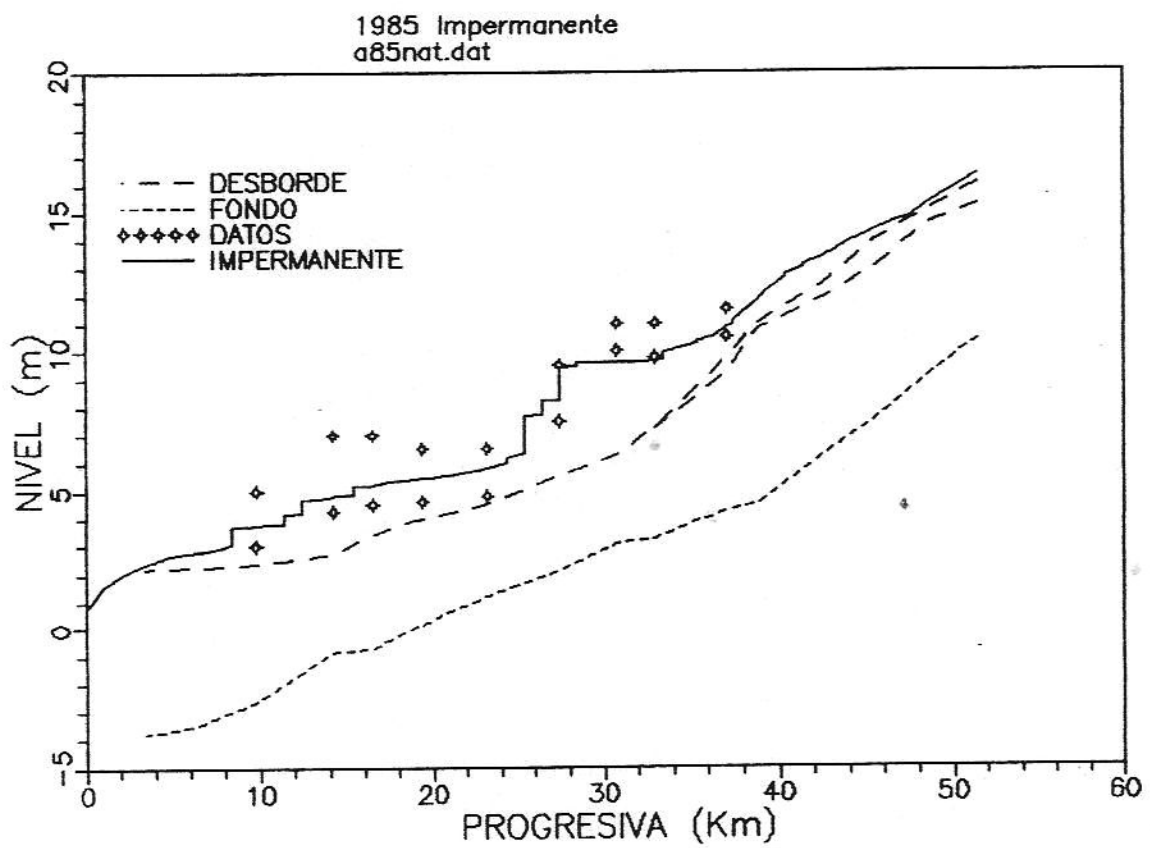


Figura 2.4. Corrida de calibración. Crecida de 1985.

NAT10 NAT25 NAT50  
Cauce Natural.

1-12-89

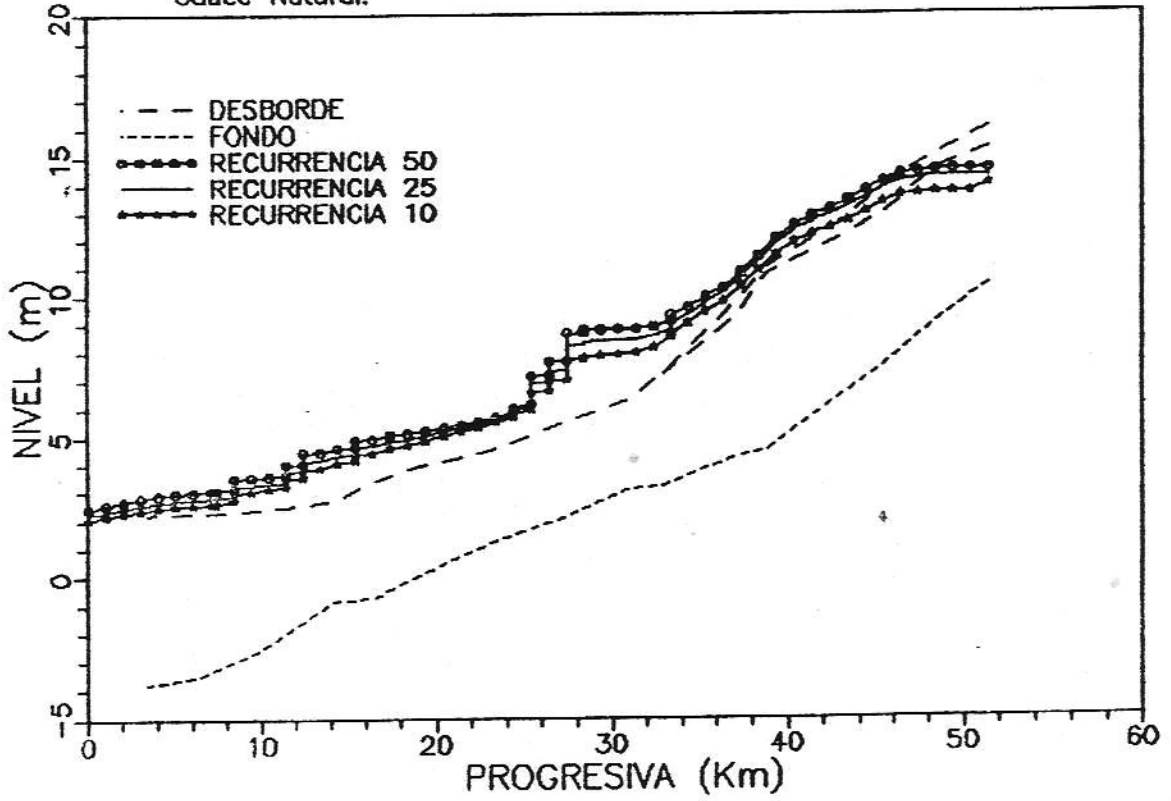


Figura 2.5. Comparación de inundaciones en condiciones naturales para tormentas de recurrencia de 10, 25 y 50 años.

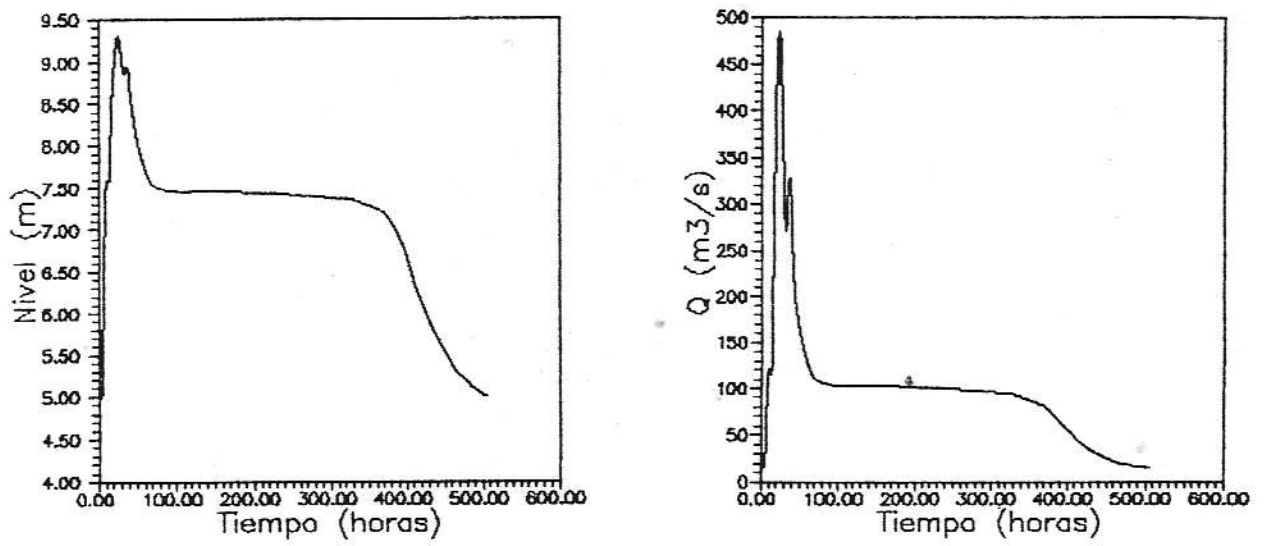


Figura 2.6. Hidrogramas de nivel y caudal en Puente Roca para la tormenta de 50 años de recurrencia.

nat50.dat c50t50.dat

12-12-89

Comparacion entre cauce natural y canalizacion con pendiente uniforme.  
Recurrencia 50.

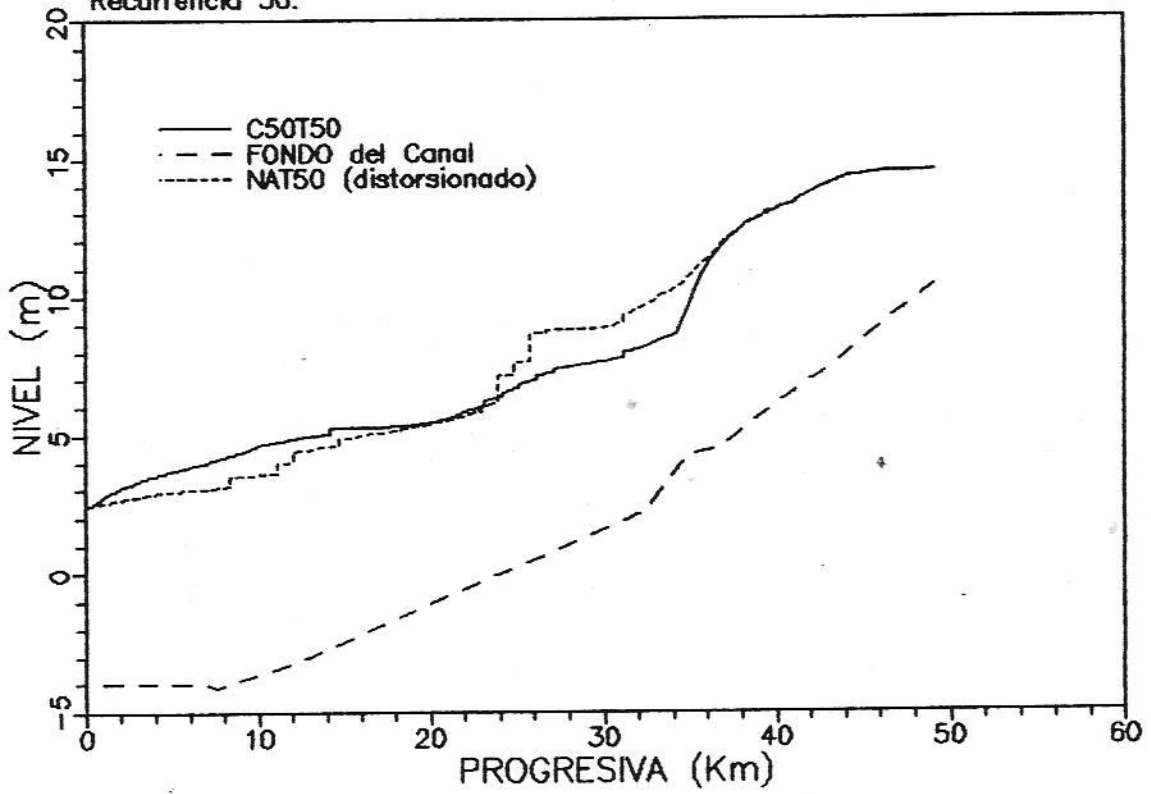


Figura 2.7. Comparación de inundaciones en condiciones naturales y con una variante de canalización para una tormenta de recurrencia de 50 años.