

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO PARA EL ESTUDIO DE INUNDACIONES EN EL DELTA DEL PARANÁ**

**Patricio Ormazabal, Patricia Jaime, Pablo Spalletti, José D. Brea**

Programa de Hidráulica Fluvial - Laboratorio de Hidráulica - Instituto Nacional del Agua (INA)

CC21 Aeropuerto Ezeiza (CP 1802) – Te: 011-44804500

E-mail: pormazabal@ina.gov.ar - pjaime@ina.gov.ar - pspallet@ina.gov.ar - dbrea@ina.gov.ar

### **RESUMEN**

Se describe la metodología utilizada para implementar un modelo hidrodinámico del Delta del río Paraná, aplicado al estudio del impacto hidráulico que genera la ocupación de las planicies inundables. Para ello se implementó un modelo matemático unidimensional en redes de canales.

Con el objeto de definir de la mejor manera las zonas de desborde, así como el comportamiento hidráulico de los valles de inundación, se hizo un tratamiento de la información básica disponible mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica, al que también se le incorporó una serie de imágenes satelitales georreferenciadas, correspondientes a distintas situaciones de crecida del sistema.

### **ABSTRACT**

The used methodology to implement an hydrodynamic model of the Paraná river Delta, is described. It was applied to the study of the hydraulic impact that generates the occupation of flood plains. In order to carry out the study, a one-dimensional mathematical model in networks of channels was implemented.

With the intention of defining in the best way the zones of overflowing, as well as the hydraulic behavior of flood valleys, the available basic data were processed by means of the application of a Geographic Information System, to which also a series of georeferenced Landsat images was included, corresponding to different situations of the system.

### **INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo describe la metodología utilizada para implementar un modelo hidrodinámico del Delta del río Paraná, aplicado al estudio del impacto hidráulico que genera la ocupación, mediante defensas contra inundaciones, de las planicies inundables en un sector del mismo.

La zona donde se localizan los terraplenes está comprendida por el río Gualeguay en su tramo inferior y por el río Paraná Ibicuy. En la Figura 1 se pueden observar las superficies protegidas por las obras de defensa contra inundaciones construidas y proyectadas. El propósito de estas obras es el de optimizar la explotación agropecuaria de las superficies defendidas frente a eventuales anegamientos.

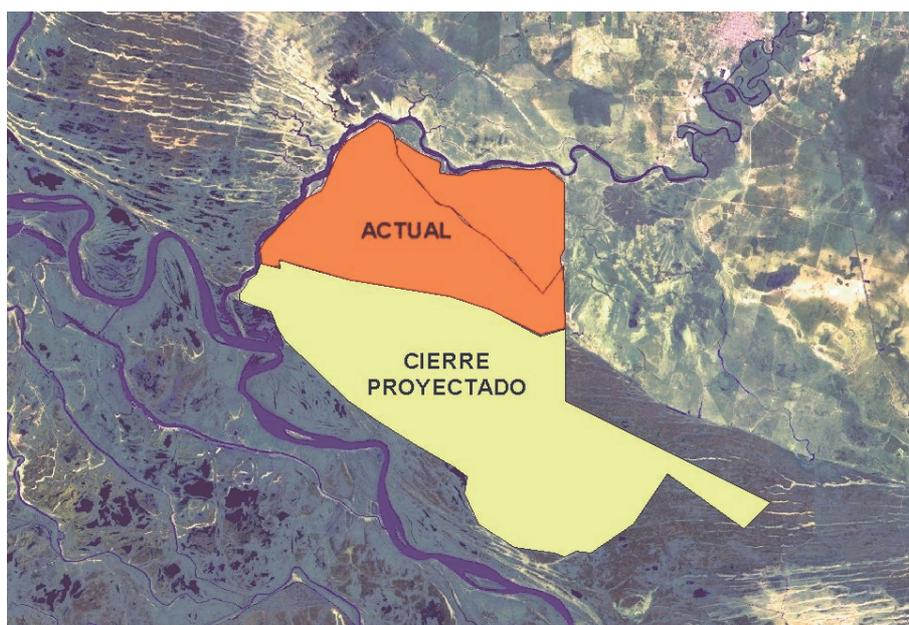


Figura 1.- Superficies defendidas

Estas superficies se encuentran en el Delta del río Paraná, abarcando una franja de tierras bajas conformada por numerosos cursos de agua de distinta magnitud, cuyo comportamiento hidrodinámico está sujeto a los caudales aportados por los ríos Paraná y Gualeguay, y a los niveles en el Río de la Plata. El tramo considerado del río Gualeguay está fuertemente influenciado por las condiciones hidráulicas en su desembocadura, o sea, por los niveles y caudales del río Paraná.

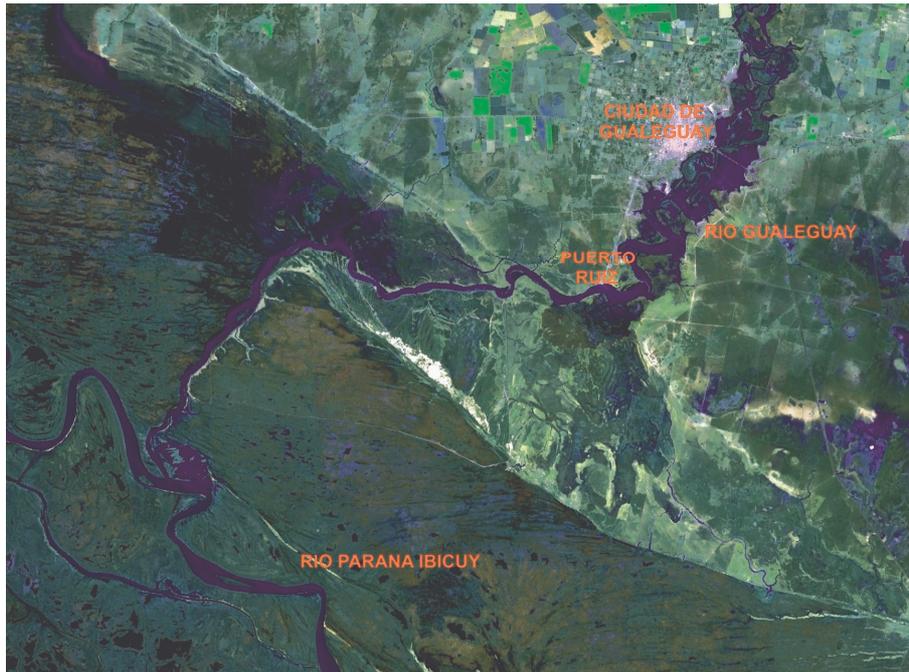
El principal objetivo de este trabajo se focaliza en la descripción de una metodología simplificada que, frente a la limitada información de base disponible en este tipo de problemáticas, permita una correcta evaluación del impacto hidráulico generado por obras de defensa contra inundaciones emplazadas en planicies inundables, ocupando estas áreas con fines productivos o urbanos.

## APLICACIÓN DEL MODELO MIKE11

A pesar de la complejidad del comportamiento hidráulico observado en la zona de estudio, y frente a la escasez de información necesaria para una correcta representación del funcionamiento del sistema, se propuso la implementación de una herramienta simplificada, que permitiera, a partir de la información disponible, representar en forma adecuada el comportamiento del sistema analizado.

Para ello se implementó un modelo matemático unidimensional mediante la aplicación del MIKE11, que es un programa desarrollado por el DHI, siendo posible la utilización de otros modelos de adquisición gratuita como ser el HEC-RAS.

A modo de ejemplo, en la Figura 2 se observa que ante crecidas de cierta magnitud en el río Gualeguay, se presenta una zona de desborde frente a la localidad de Puerto Ruiz, activándose cursos secundarios que transportan estos excedentes. Esto llevó a representar en el modelo no sólo los cauces principales de los ríos Paraná y Gualeguay sino también algunos brazos secundarios y escurrimientos desarrollados en bajos y cursos menores, pero que en condición de crecida, colaboran en el transporte, regulación y distribución de los volúmenes escurridos.



**Figura 2.-** Imagen satelital de la zona

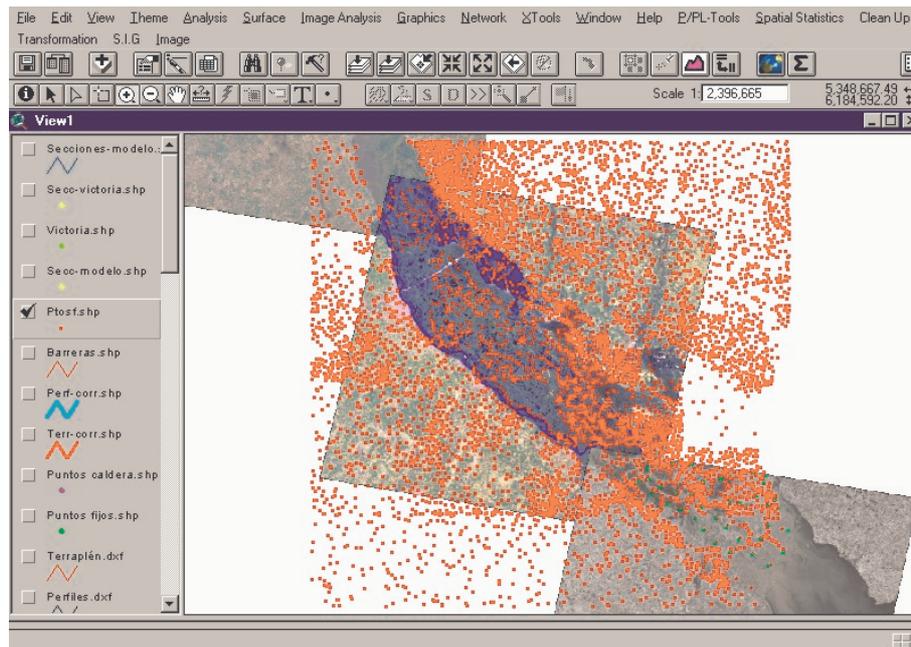
Con el objeto de definir de la mejor manera las condiciones en la restitución y en el tramo final del río Gualeguay, se procedió a implementar un modelo regional en redes de canales de la totalidad del Delta del Paraná, representándose 24 cauces y mediante 230 secciones transversales.

Los datos de las secciones transversales del río Paraná y de los distintos brazos que conforman el Delta se obtuvieron de la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, de otros antecedentes tales como el estudio de la Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de Entre Ríos (1995), de relevamientos realizados durante el desarrollo del estudio y de los relevamientos topobatimétricos realizados por INCOCIV (2003).

Las imágenes satelitales utilizadas fueron aportadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y corresponden a imágenes Landsat 5 y 7 (Path 226, row 83).

Para tener en cuenta el comportamiento del sistema frente a crecidas del Paraná, se procesó la información de base para caracterizar los valles de inundación de los cauces. Esta tarea se llevó a cabo mediante un sistema de información geográfica (SIG), de forma tal de obtener como producto final los valles de los cauces en correspondencia con las secciones del modelo.

En primer término se creó una base de datos general con los puntos fijos y acotados de la totalidad de las cartas del IGM en la zona, incluyendo adicionalmente datos recopilados de distintos relevamientos disponibles (Figura 3).



**Figura 3.-** Puntos con datos altimétricos.

Una vez incorporada esta información y definidas las barreras que representan la presencia de ciertos accidentes naturales como ser los principales ríos y cuya presencia no puede obviarse cuando se interpolan los puntos acotados, se elaboró el modelo digital del terreno.

El MDT es una modelación de la topografía compuesta por un mosaico de celdas de pequeñas dimensiones que cubren la totalidad de la zona de estudio, y a las que se les asigna un valor de cota representativo. En el presente estudio se trabajó con celdas de 200 metros de lado, y su cota se obtuvo a partir de la interpolación de los puntos con la información básica.

La posición en planta de los perfiles transversales de los cauces de la red de escurrimiento definida, se volcó al SIG con el objeto de determinar con el apoyo de imágenes satelitales para diferentes condiciones de inundación, la posición y el ancho de los valles en correspondencia con cada cauce y cada progresiva. Se determinaron a continuación los perfiles transversales de la zona de desborde, los que fueron incorporados al modelo implementado.

En la zona de la desembocadura del río Gualeguay en el Paraná Ibicuy, a partir de la interpretación de información de base y de observaciones directas del terreno, se propuso el esquema en planta presentado en la Figura 4, que representa el escurrimiento de los cauces principales, así como determinados desbordes que participan activamente en el funcionamiento del sistema, vinculando diferentes cauces.

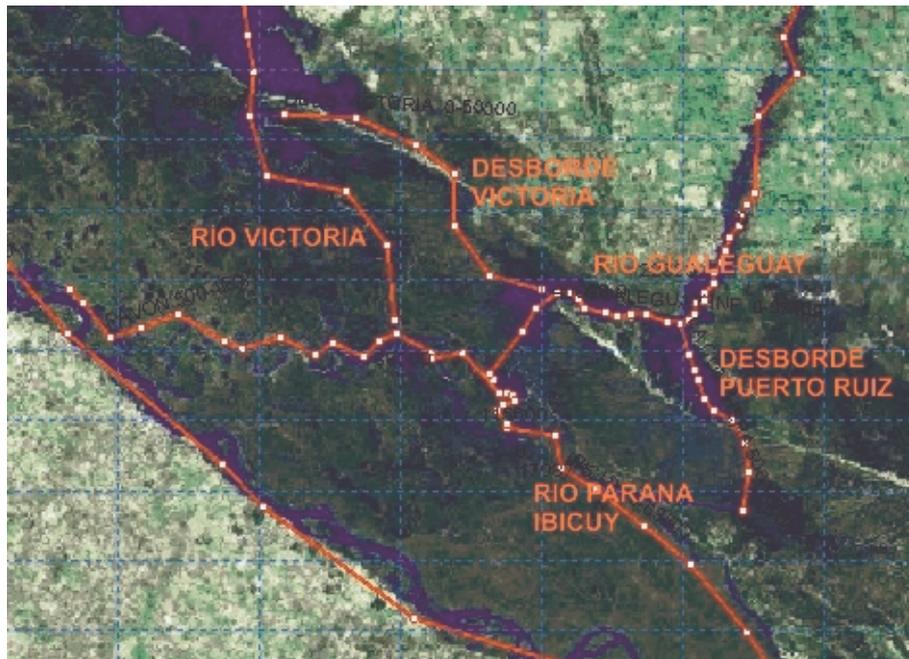


Figura 4.- Esquema en planta del modelo aplicado. Imagen de junio de 2000 (crecida del río Guauguay).

En la representación del río Gualeguay, se utilizaron dos esquemas de funcionamiento, el primero, correspondiente a una situación de aguas altas o crecidas extraordinarias en donde se consideraron cauces secundarios o zonas de desborde y un desarrollo en planta acorde al eje medio de la planicie inundada, y el segundo, correspondiente a una situación de aguas bajas o crecidas ordinarias, en donde el río se mantiene en su cauce y el desarrollo en planta reproduce la ubicación del cauce principal.

## CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración de los modelos implementados consistió en verificar su adecuado funcionamiento desde el punto de vista hidráulico para situaciones medidas, permitiéndonos afirmar que los mismos representan adecuadamente el comportamiento de los sistemas representados, pudiendo aplicarlos como herramientas para estudiar distintos escenarios mediante la definición de diversas condiciones de borde durante las corridas de producción.

Dado los requerimientos del estudio, para la calibración del modelo se utilizaron eventos registrados de características hidrológicas variadas. Para ello se consideraron las series de caudales en Corrientes y Rosario del Tala y de niveles en el Río de la Plata.

Para la calibración se contrastaron los niveles medidos y calculados en las estaciones hidrométricas de Rosario, Victoria, Puerto Ruiz, Ramallo, Ibicuy y Zarate.

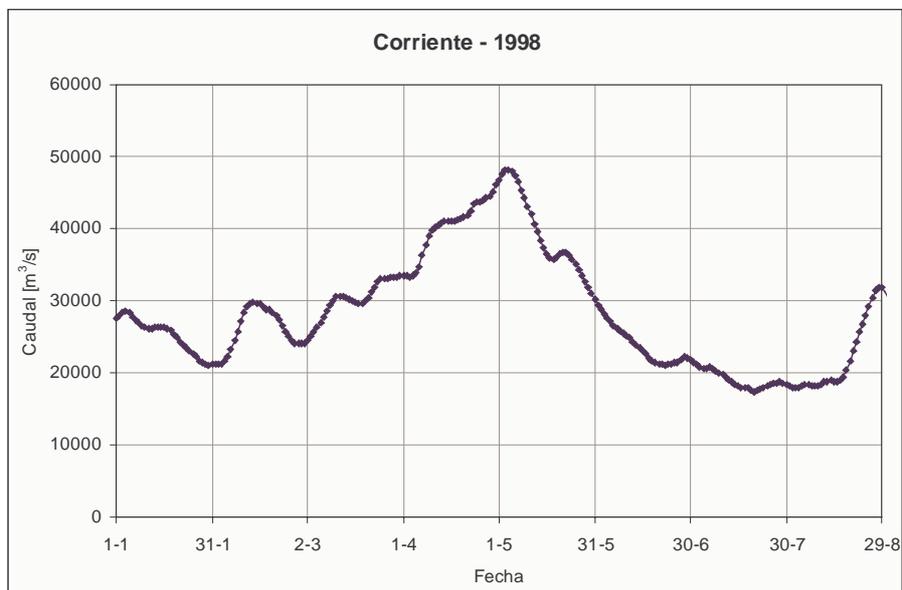
Los datos hidrométricos fueron recopilados de diferentes fuentes, y a continuación se enumeran las fuentes consultadas, estaciones y series disponibles:

- Datos contenidos en el Estudio de Defensa contra Inundaciones (INCOCIV):  
Niveles en Puerto Ruiz (1983-1993 y 1997-2001).
- Datos aportados por el Servicio de Alerta Hidrológico (Instituto Nacional del Agua):  
Niveles en Rosario (1973-2004).

Niveles en Victoria (1976-2004).  
Niveles en Ramallo (1973-2004).  
Niveles en Puerto Ruiz (2003-2004).  
Niveles en Zarate (1978-2004).  
Niveles en Ibicuy (1983-2004).

- Datos aportados por EVARSA (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación):  
Caudales en Corrientes (1904-2000).  
Caudales en Rosario del Tala (1992-2004).  
Niveles del Río de La Plata en Palermo (1905-1998).

A continuación se presentan los resultados de las corridas del modelo para los primeros ocho meses del año 1998. En dicho período se registraron crecidas importantes tanto en el río Paraná como en el Gualeguay, con picos de caudal con una recurrencia del orden de los 10 años. En las Figuras N° 5 y 6 se presentan los hidrogramas utilizados para las corridas del modelo.



**Figura 5.-** Hidrograma registrado en Corrientes en 1998

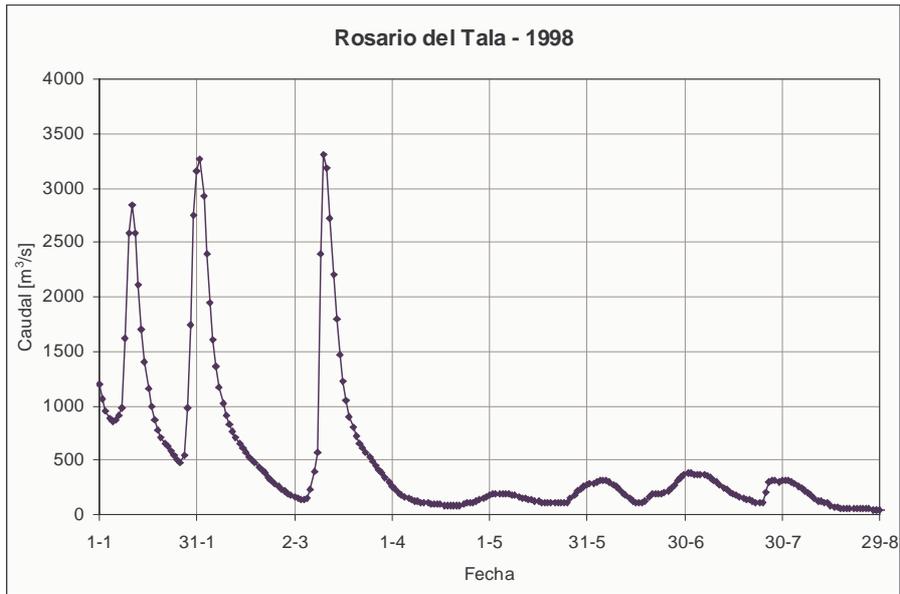


Figura 6.- Hidrograma registrado en Rosario del Tala en 1998

En las Figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se presentan las comparaciones de los niveles líquidos de los registros con los obtenidos mediante el modelo en los primeros ocho meses del año 1998, en las estaciones Rosario sobre el río Paraná, Victoria ubicada en el riacho Victoria, Puerto Ruiz en el río Gualeguay, Ramallo localizada en el río Paraná de las Palmas, Ibicuy en el Paraná Ibicuy y Zárate sobre el río Paraná de las Palmas, respectivamente.

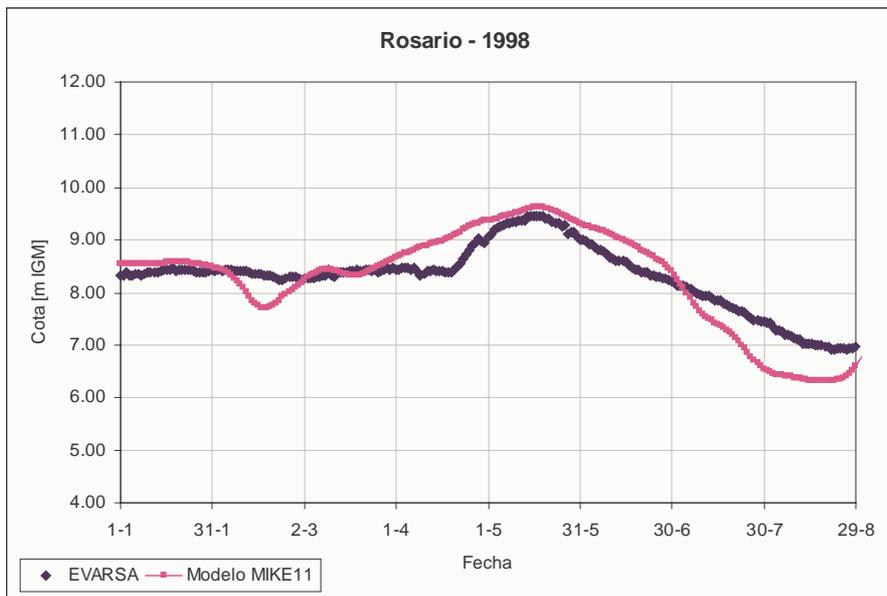


Figura 7.- Niveles en Rosario - 1998.

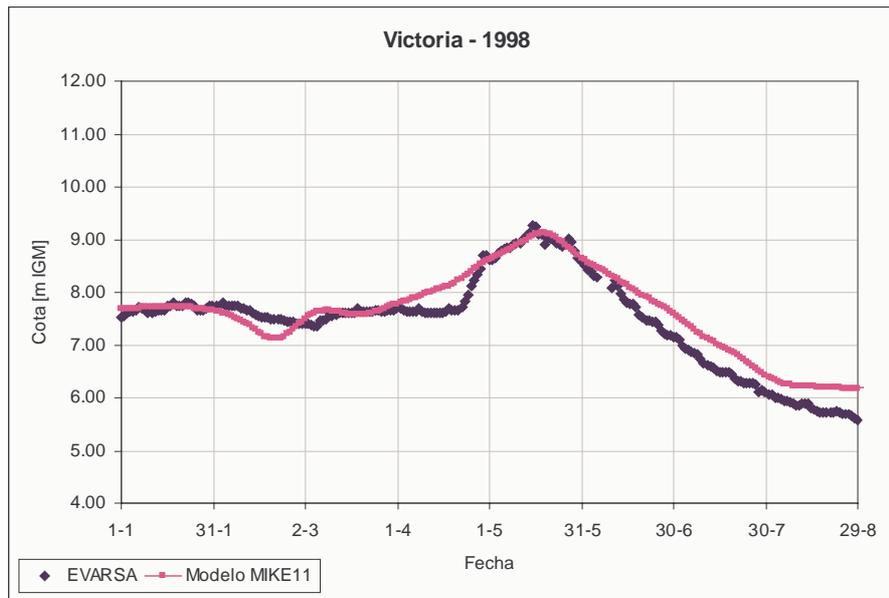


Figura 8.- Niveles en Victoria - 1998.

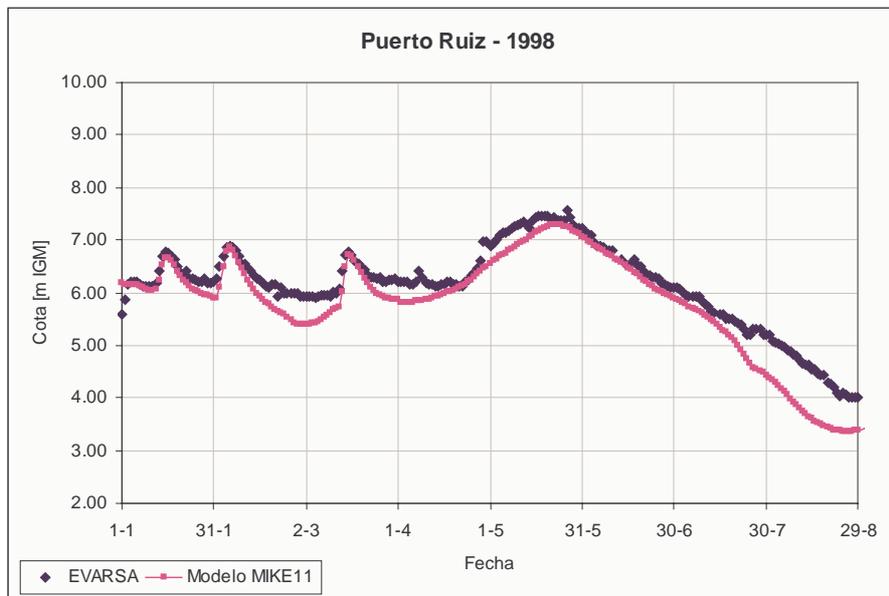
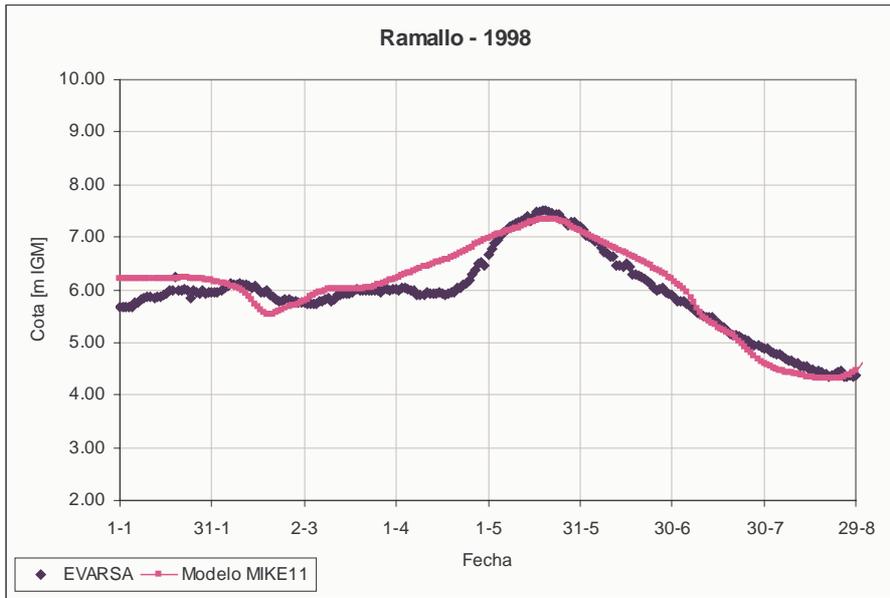
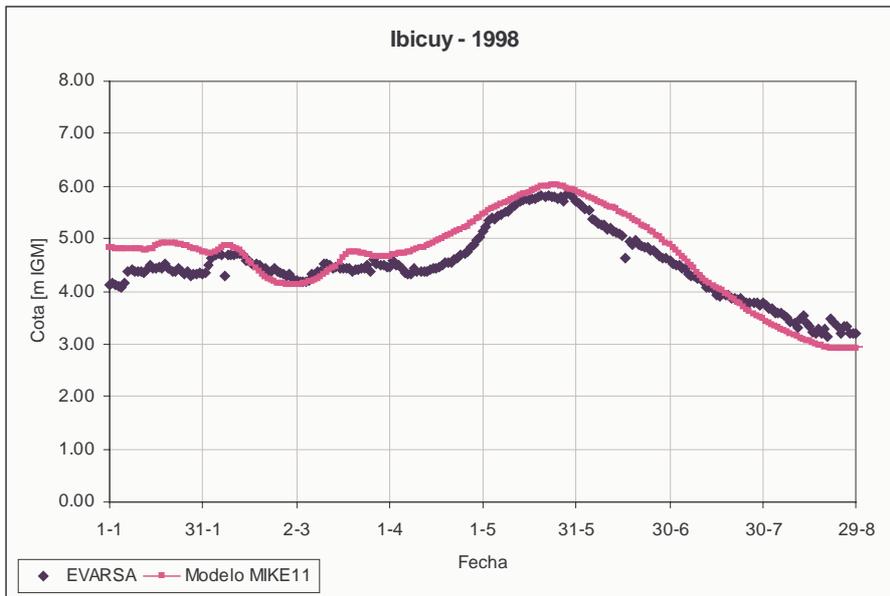


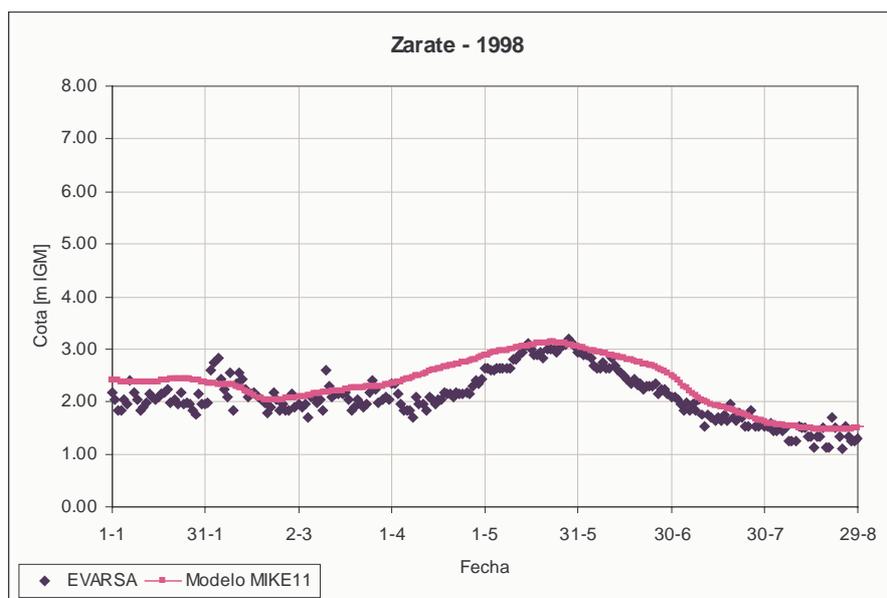
Figura 9.- Niveles en Puerto Ruiz (río Gualeguay) - 1998



**Figura 10.- Niveles en Ramallo - 1998**



**Figura 11.- Niveles en Ibicuy - 1998**



**Figura 12.-** Niveles en Zárate - 1998.

En las figuras expuestas se observa que tanto los niveles de base como el pico de la crecida y sus fechas asociadas, obtenidos de la simulación, responden satisfactoriamente frente a los datos registrados. Las diferencias pueden considerarse tolerables dada la complejidad del sistema representado y las limitaciones que posee el tipo de herramienta utilizada.

El resultado de las corridas de calibración arrojó parámetros de rugosidad (“n” de Manning) de 0.025 a 0.030 en los cauces principales, de 0.030 a 0.035 en los secundarios y de 0.10 a 0.16 en las planicies de inundación asociadas a los diferentes cauces.

## CONCLUSIONES

- La implementación de un modelo hidrodinámico resulta una herramienta adecuada para estudiar la afectación que las obras en planicies de inundación de grandes ríos de llanura, imponen a los escurrimientos.
- El Delta del río Paraná, está caracterizado por su gran extensión superficial, la magnitud de los cursos de agua que lo definen y atraviesan, y la limitada información de base disponible para encarar estudios minuciosos. Por ello, fue necesario aplicar ciertas técnicas para el manejo de los datos e implementación de modelos, con el fin de obtener resultados acordes a los niveles de respuesta deseables.
- La metodología propuesta en este trabajo ha permitido representar adecuadamente el comportamiento del sistema bajo diferentes combinaciones de eventos de crecida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Bombardelli, F.; Menéndez, A.; Brea, J.D.** (1995). “Estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática”. *Informe Técnico LHA-INA*.

**Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de Entre Ríos – Danish Hydraulic Institute**

– **Laboratorio de Hidráulica del INCyTH.** (1995). “Impacto Hidráulico del Dique Abierto del Predelta”. *Informe Técnico*.

**INCOCIV Consultora** (2003) “Estudio de Defensas contra inundaciones”. *Informe Técnico*.

**Paoli, C.; Schreider, M.** (2003). “El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura”.

**Spalletti, P.; Brea, D.; Ormazabal, P.** (2004). “Estudio Hidráulico del Impacto de las Defensas Contra Inundaciones Proyectadas por Estancias Unidas del Ibicuy”. *Informe LHA-243-02-2004*.