

---

---

**EVALUACIÓN Y DISEÑO PRELIMINAR DE UN PRONÓSTICO DE NIVELES DEL RÍO CUAREIM PARA LAS CIUDADES DE ARTIGAS/QUARAI, A PARTIR DE UNA RELACIÓN DE TIPO ESTADÍSTICO/ESTOCÁSTICO.**

Alejandro Arcelus<sup>1</sup>, Nicolás Failache, Christian Chreties, Alvaro Sordo

**Dirección<sup>(1)</sup>: (del autor principal)**

Calle: Rincón 575

Tel: 5982 9164666- 3328

Ciudad: Montevideo

Fax: 5982 9164667

Uruguay

CP: 11000

e-mail: arcelus@dnh.gub.uy

**RESUMEN**

En el marco del Programa Asociado de Gestión de Crecientes (APFM) que está siendo desarrollado por la Global Water Partnership (GWP) en conjunto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), está en ejecución el "Proyecto Piloto de Gestión Integrada de Crecientes en la cuenca del Río Cuareim" en coordinación entre la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH) y el Instituto de Pesquisas Hidráulicas de la Universidad Federal de Río Grande do Sul (IPH). El proyecto busca entre otras cosas, diseñar y aplicar un Sistema de Gestión Integrada de Crecientes en la Cuenca del Río Cuareim/Quarai (Brasil – Uruguay), para lo cual se consideran diferentes medidas estructurales y no estructurales entre las que se destaca el diseño e implementación de un sistema de predicción de crecientes. Actualmente, las ciudades de Artigas y Quarai, no cuentan con sistema de pre-aviso de crecidas del Río Cuareim alguno; por el contrario, las cada vez más frecuentes crecidas del Río sorprenden a la población de las zonas más bajas, debiendo realizar evacuaciones durante la inundación, las que son cada vez más numerosas. Este trabajo tiene por objetivo, evaluar la posibilidad de implementar un alerta de crecientes del Río Cuareim para la población de Artigas y Quarai de simple operación en tiempo real; utilizando datos históricos hidrometeorológicos de las estaciones de la cuenca y aplicando exclusivamente herramientas estadísticas de la hidrología. Luego de calibrado el alerta, se realiza un testeo con datos de tormentas reales ocurridas en la cuenca, resultado que en 9 de cada 10 eventos se pronostica en forma acertada si habrá o no evacuados y si habrá o no desmadre del Río con una antelación de 12 horas como mínimo. Además, se pronostica en forma acertada también en 9 de cada 10 casos, el nivel máximo a alcanzar por el Cuareim con 20 horas de antelación como mínimo y con un error inferior a 1,5 metros. Paralelamente se realizaron estudios de zonificación de las crecidas por medios de modelos hidrodinámicos y herramientas de GIS de forma de visualizar espacialmente la zona potencialmente inundable a partir de la cota pronosticada con el alerta. De esta forma se contará con una potente herramienta para asistir a la toma de decisión a la planificación de la evacuación así como para futuros reordenamientos territoriales. Cabe señalar que el sistema propuesto, está actualmente en etapa de mejora e implementación.

**INTRODUCCIÓN**

La cuenca del Río Cuareim, aguas arriba de las ciudades de Artigas/Quarai que abarca aproximadamente 4500 Km<sup>2</sup> de extensión, cuenta con características físicas que la distinguen como una "cuenca rápida"; siendo esto una condición desfavorable a los efectos de poder anticiparse significativamente a la generación y arribo de las crecidas a los centros poblados. En este sentido, el tiempo de concentración de la cuenca (Estimado por el método de Ramser-Kirpich) es de 28 horas, y los suelos de la misma son de muy bajo espesor, aflorando en forma casi permanente el basalto. Los cauces tributarios en dicha zona, poseen generalmente barrancas pronunciadas y sus aguas suelen crecer y decrecer en forma muy rápida, debido a que están emplazados sobre el basalto.

Actualmente, las ciudades de Artigas y Quarai, no cuentan con sistema de pre-aviso de crecidas del Río Cuareim alguno; por el contrario, las crecidas del Río sorprenden a la población de las zonas más bajas, debiendo realizar evacuaciones durante la inundación. Estas como consecuencia del aumento en la intensidad de la precipitación a partir de la década de 1980 y del aumento de los asentamientos ubicados en la planicie de inundación del Río

---

<sup>1</sup> Coordinador Nacional del Proyecto Piloto de Gestión Integrada de Crecientes OMM/GWP.

Cuareim, han registrado un aumento significativo en los últimos años alcanzando en el año 2001 un total aproximado de 5000 evacuados.

Teniendo en cuenta esta situación, el "Proyecto Piloto de Gestión Integrada de Crecientes en la cuenca del Río Cuareim", incluye dentro de sus principales objetivos el diseño e implementación de un sistema de predicción de crecientes para las ciudades de Artigas y Quaraí así como la zonificación de las áreas urbanas inundables. El presente trabajo, se inscribe en el marco de dicho proyecto, pretendiendo ser un primer paso hacia un sistema de alerta definitivo.

## OBJETIVOS Y METAS

El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad de realizar un pronóstico de crecientes en tiempo real de operación simple, para las ciudades de Artigas y Quaraí, basado en la información histórica disponible y aplicando exclusivamente herramientas estadísticas de la hidrología, de modelación hidrodinámica y de GIS sin considerar la modelación del proceso precipitación-escorrentamiento ni la propagación de las ondas de crecida (aguas arriba de Artigas).

## METODOLOGÍA

### Predicción de nivel máximo

Para la elaboración del sistema de alerta hidrológico se consideró la siguiente información disponible (únicas estaciones de transmisión en tiempo real (TR) con influencia en la cuenca):

*Precipitación:*

Nombre de la Estación	Código	Institución	Frecuencia	Intervalo de información
Artigas	1600	CTM	Horaria (TR)	1997-2004
Catalán Grande	2800	CTM	Horaria (TR)	1997-2004
Sarandí de Arapey	2900	CTM	Horaria (TR)	1997-2004

*Nivel y caudal:*

Nombre de la Estación	Código	Institución	Frecuencia	Intervalo de información
Artigas (OSE)	1603	CTM	Horaria (TR)	1997-2004
Puente de la Concordia Limnógrafo	84.1	D.N.H.	Horaria	2001-2004
Usina de OSE Escala	84.0	O.S.E-D.N.H.	12 horas	1997-2001

La ubicación espacial de dichas estaciones se presenta en la Figura 1.

El análisis consistió, en primer lugar, en el ajuste estadístico de una función potencial, que permite establecer el nivel máximo a alcanzar en la ciudad de Artigas (Usina de OSE) correspondiente a un evento dado, a partir de la información de volumen total de precipitación del evento y el nivel del Río Cuareim al inicio de la precipitación. Se seleccionó una única función de predicción de tipo potencial de varias variables de la forma :

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = A.x_1^a + B.x_2^b + C.x_3^c + D.x_4^d$$

donde en nuestro caso F devuelve el nivel máximo al alcanzar por el Río;  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$ , son los volúmenes totales de precipitación (mm) de los pluviómetros: Artigas, Catalán Grande y Sarandí de Arapey respectivamente; y  $x_4$  corresponde al nivel antecedente (m) del evento.

Los valores de A, B, C, D, a, b, c y d son fijos para cualquier evento y fueron ajustados a partir de los valores de nivel máximo medidos. Para ello, se dispuso de 50 eventos con información horaria de precipitación y nivel, en las estaciones antes mencionadas. Se calibró con 2/3 de los eventos y se verificó con el 1/3 restante. Los valores de los parámetros resultantes de la calibración son los siguientes:

A	a	B	b	C	c	D	d
1.106E-3	1,422	1,480E-3	1,246	0,668	0,444	1,400	0,527

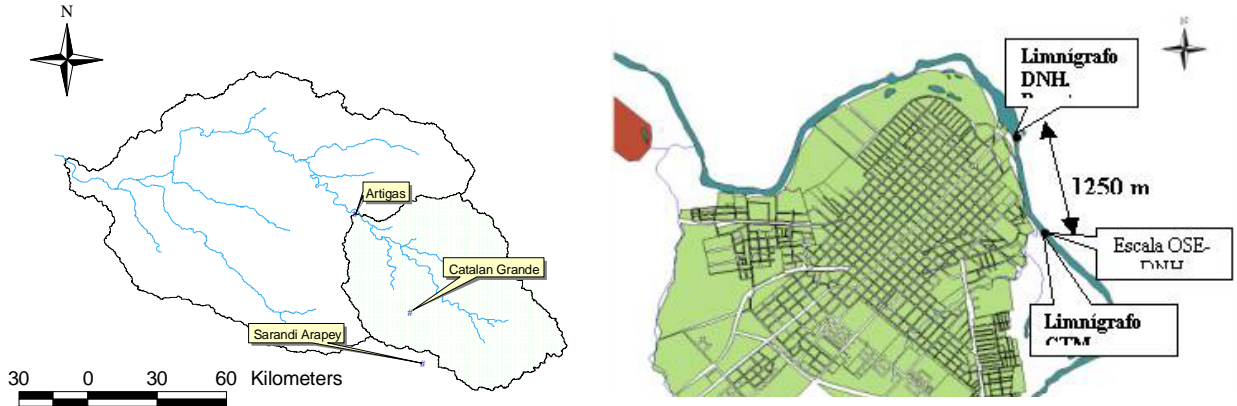


Figura 1. Ubicación de las estaciones pluviográficas y limnigráficas de CTM.

En las Figuras 2 y 3 se presentan los niveles calculados y los niveles medidos para la etapa de calibración y la etapa de verificación.

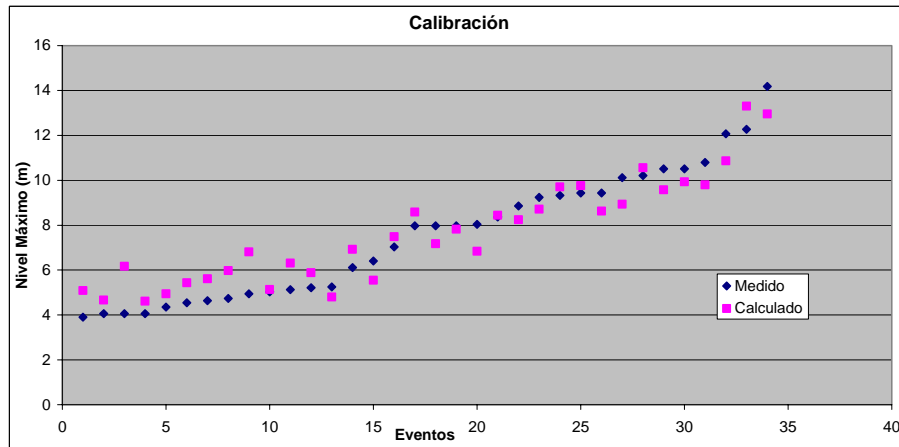


Figura 2. Resultados de la calibración del modelo de pronóstico de niveles.

Se observa en el gráfico algún evento cuya diferencia entre los niveles máximos medidos y calculados es mayor que 1,23 (error máximo en calibración). Estos eventos corresponden a niveles máximos medidos inferiores a 5 metros y por lo tanto no fueron priorizados en el ajuste.

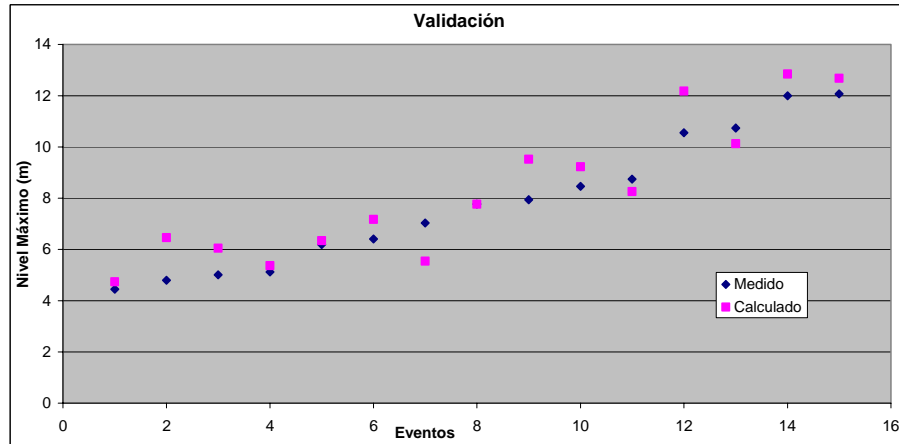


Figura 3. Resultados de la validación del modelo de pronóstico de niveles.

Posteriormente, se realiza una caracterización de los hietogramas de tormenta, a partir del volumen precipitado hasta el tiempo pico, con lo que se propone y verifica (a través de un testeo con información de las tormentas mencionadas) una metodología para el pronóstico hora a hora del evento en tiempo real. En este sentido, se analizaron todos los hietogramas, encontrando una gran dispersión entre ellos, sin poder identificar claramente un hietograma “tipo”. Sin embargo analizando la relación entre el Volumen precipitado y el Tiempo correspondiente al pico del hietograma de tormenta para cada evento, se encuentra que en promedio, el volumen total acumulado de precipitación hasta que se registra el pico corresponde a un 60% del volumen total precipitado para dicho evento, con un desvío típico del 20% del total de volumen acumulado. En cada hora se realiza una hipótesis sobre la lluvia que consiste en suponer que ya tuvo lugar el máximo del hietograma de tormenta y se considera el máximo de los valores precipitados hasta el momento. Tomando como base dicho valor, se considera que resta por precipitar un 40% mas de volumen. Por último se implementa en lenguaje de programación Visual Basic (Figura 4) con el objetivo de facilitar el ingreso de datos y hacer operativo el sistema.

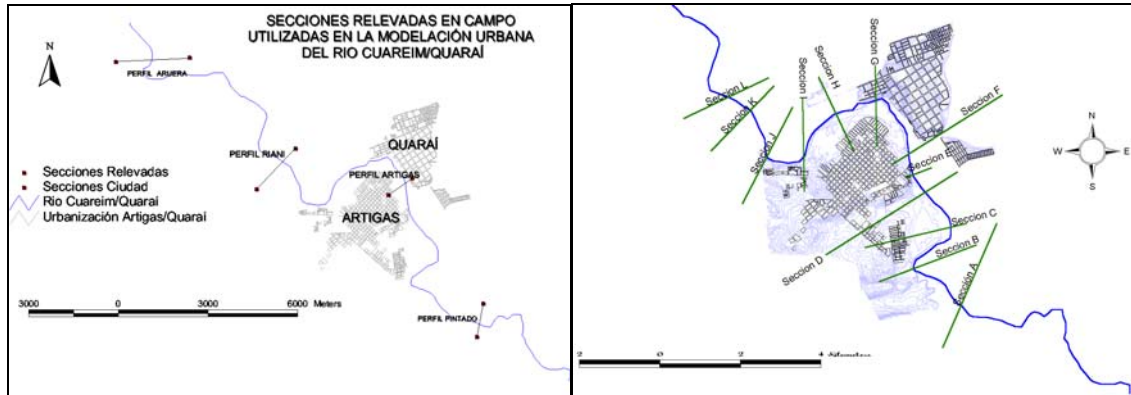


Figura 4- Interfase del Alerta Preliminar.

### Zonificación del área urbana inundable

Se consideró la siguiente información disponible:

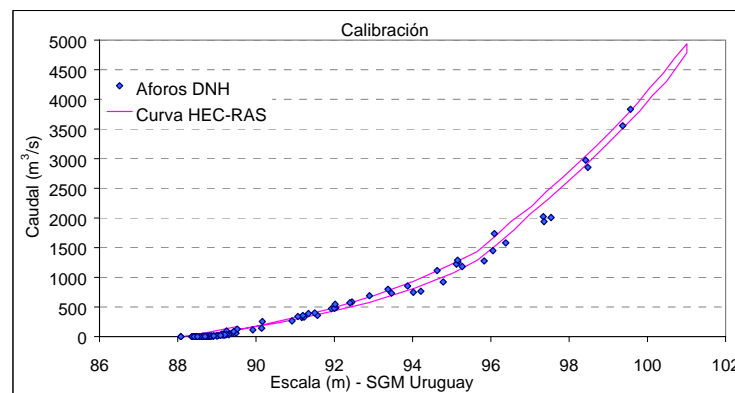
*Información topográfica:*



**Figura 5. Secciones relevadas in situ y determinadas a partir de cartografía**

Adicionalmente se utilizó información de curvas de nivel de ambas ciudades (cada 1 y 2 metros), fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Se ajustaron los números de Manning de cada sección de modo de reproducir la curva de aforo elaborada por DNH obteniendo la siguiente calibración:



**Figura 6. Resultado de la calibración: Curva de aforo simulada vs. Puntos aforados**

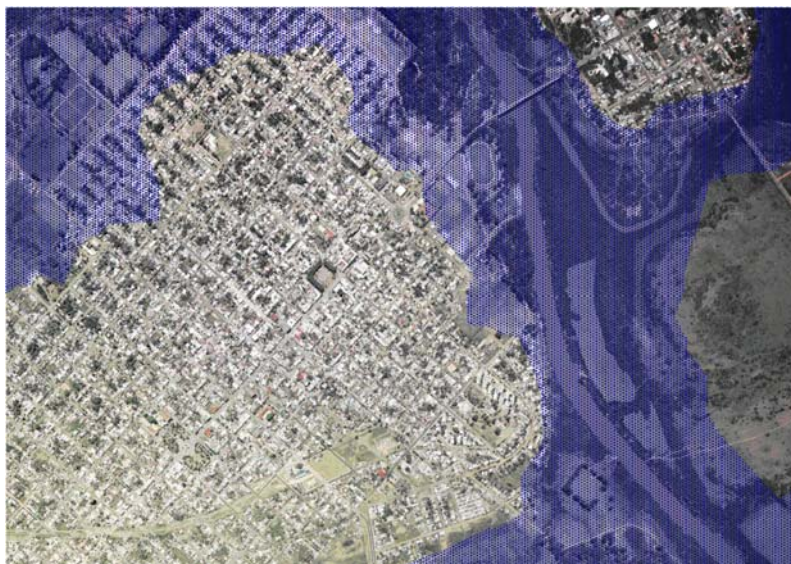
Para la obtención de las zonas inundables, a partir de los resultados del modelo hidrodinámico, se elaboró un modelo numérico de elevación de nivel máximo de agua, el cual fue restado a un modelo de terreno de las ciudades de Artigas y Quarai generado a partir de la información topográfica descrita. Cabe señalar que el modelo hidrodinámico posibilitó la construcción de las curvas de inundación que para eventos de crecidas importantes tienen una pendiente considerable difiriendo de las curvas de nivel.

## RESULTADOS

La aplicación del alerta a eventos históricos (testeo) determinó los siguientes resultados:

- 1- La estimación en cuanto a si ocurrirá o no desmadre del Cuareim, fue pronosticado correctamente en el 90% de los eventos analizados, con una antelación mínima de 12 horas para el 94 % de los casos.
- 2- La estimación en cuanto a si ocurrirá o no anegación de zonas pobladas (evacuados) del Cuareim, fue pronosticado correctamente en el 88% de los eventos, con una antelación mínima de 12 horas para el 92 % de los casos.
- 3- La estimación del nivel máximo a alcanzar en el Río fue realizada con un mínimo de 20 horas de antelación para el 90% de los casos y con un error máximo inferior al metro y medio, también para el 90% de los casos.

Adicionalmente al acoplarle el trabajo de zonificación de áreas inundables se obtiene para cada evento, el pronóstico de niveles para toda la zona inundable. A modo de ejemplo se presenta la simulación realizada para la crecida del año 2001.



**Figura 7: Zona inundable para las ciudades de Artigas y Quaraí ante la crecida de Junio de 2001.**

## CONCLUSIONES

Del testeo resultó que en 9 de cada 10 eventos se pronostica en forma acertada si habrá o no evacuados y si habrá o no desmadre del Río con una antelación de 12 horas como mínimo. Además, se pronostica en forma acertada también en 9 de cada 10 casos, el nivel máximo a alcanzar por el Cuareim con 20 horas de antelación como mínimo y con un error inferior a 1,5 metros.

Como muestra de la bondad de ajuste del modelo hidrodinámico se presenta (Figura 8) una comparación de la curva de inundación relevada y la modelada para el evento de junio de 2001. Cabe señalar, que el sistema propuesto, está actualmente en etapa de mejora e implementación.

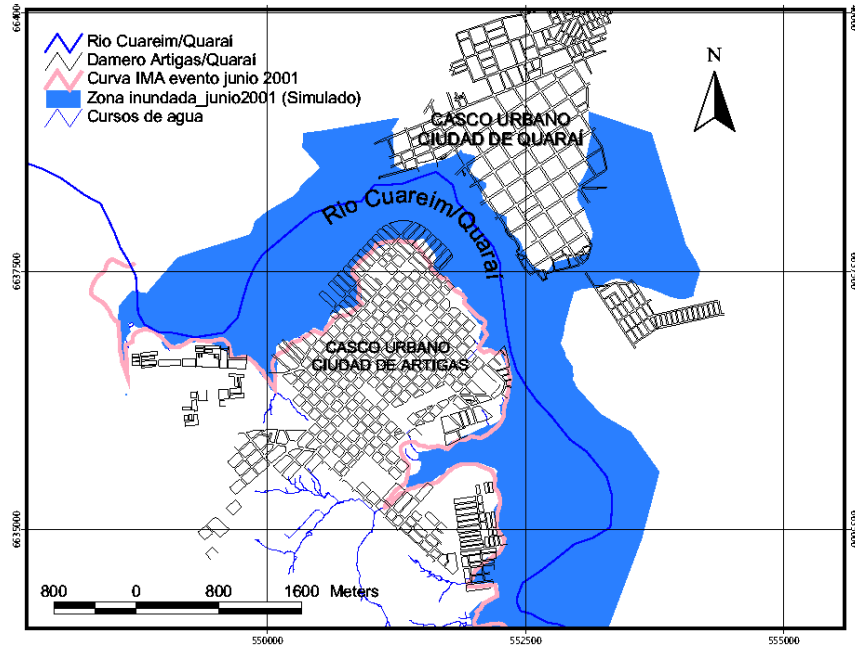


Figura 8: Comparación de curva de inundación relevada y modelada para el evento de Junio de 2001.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- APFM (Programa Asociado de Gestión de Crecientes), Gestión integrada de crecientes-Documento conceptual, OMM, 2003
- 2- DNH-IPH-OMM-GWP, "Proyecto Piloto de Gestión Integrada de Crecientes en la Cuenca del Río Cuareim. Informe de Avance Febrero 2005"
- 3- OEA-BID-Cascos Blancos/ MTOP-DNH, "Plan de Emergencia contra inundaciones para la ciudad de Durazno", 2002
- 4- SISTEMA NACIONAL DE EMERGENCIA- (Uruguay), "Informe de Actualización del Sistema", Junio 2001.
- 5- INTENDENCIA MUNICIPAL DE ARTIGAS- IMA, "Detalle de gastos de evacuados", 2001.