

CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO CON EL APOYO DE IMÁGENES SATELITALES

Jorge Collins

Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Litoral
Patricio Cullen 6161 Santa Fe – 0342 4604540 – jorgecollins@arnet.com.ar

RESUMEN

Se realizó una calibración y validación de un modelo hidrodinámico utilizando como apoyo, un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat a efectos de representar el comportamiento del canal existente en el tramo laguna La Picasa – laguna Los Patos. Se evaluó la situación hidrológica ocurrida en el año 2001. Este trabajo forma parte del proyecto de estudio de prefactibilidad de la “Descarga de la laguna la Picasa al río Paraná”.

Se realizó la implementación del modelo con la información topográfica existente, se introdujo los hidrogramas que aportan al sistema (obtenidos de estudios hidrológicos) y se validó y recalibró el mismo a partir de la información hidrológica y del análisis de imágenes satelitales secuenciales.

Esta situación resulta un problema común, donde se ha comprobado la eficacia de la modelación usando una herramienta adicional, como es, la utilización de un Sistema de Información Geográfica a partir de un análisis multitemporal de imágenes satelitales de la zona, donde se ha delimitado para distintos eventos, las manchas ocasionadas por el escurrimiento y/o desbordes de los cuerpos de agua modelado.

ABSTRACT

It was performed the calibration and validation of a hydrodynamic model with the support of multitemporal analysis of Landsat Satellite images in order to represent the behaviour of an existent channel between La Picasa Lagoon–Los Patos Lagoon.

The 2001's hydrologic year was valued. This work forms part of the project: “The study of the feasibility of Discharging La Picasa lagoon into the Paraná River”.

The model is implemented with existent topographic information ; the hidrographs that contribute to the system (obtained from hydrological studies) are introduced. The model is validated and recalibrated starting from the hydrologic information and from the analysis of sequential satellite images.

This condition becomes a common problem where it is proved the efficacy of the modelling using an additional tool –such as the use of Geographic Information Systems- starting from multitemporal analysis of satellite images from the region where spots produced by the flow and / or overflowings' water bodies were delimited to different events.

INTRODUCCIÓN

Se representa el funcionamiento de un sistema hidrológico a través de un modelo matemático hidrodinámico, con escasa información topográfica e hidrológica y se calibra los resultados obtenidos utilizando elementos adicionales.

En muchas ocasiones, la información hidrométrica es escasa, no se tiene o es de poca confiabilidad y en otras situaciones, se quiere representar una situación hidrológica vivida en el pasado donde no se ha podido registrar cuando se produjo la crecida a representar.

Este trabajo fue realizado en el proyecto de estudio de prefactibilidad de “DESCARGA DE LA LAGUNA LA PICASA AL RIO PARANA”, que desarrolló el Instituto Nacional del Agua, donde se representó el comportamiento del actual canal y de las lagunas intermedias en el tramo laguna La Picasa – laguna Los Patos.

Se evalúa la situación hidrológica ocurrida en el año hidrológico 2001, validando los resultados obtenidos con ayuda del análisis multitemporal de imágenes sobre la zona de estudio, dado que la información hidrométrica era escasa.

UBICACIÓN:

El tramo modelado corresponde a la alternativa norte del canal de descarga de la laguna La Picasa - laguna El Chañar. El tramo presentado en este informe corresponde al tramo Laguna La Picasa – Laguna Los Patos, figura N° 1.

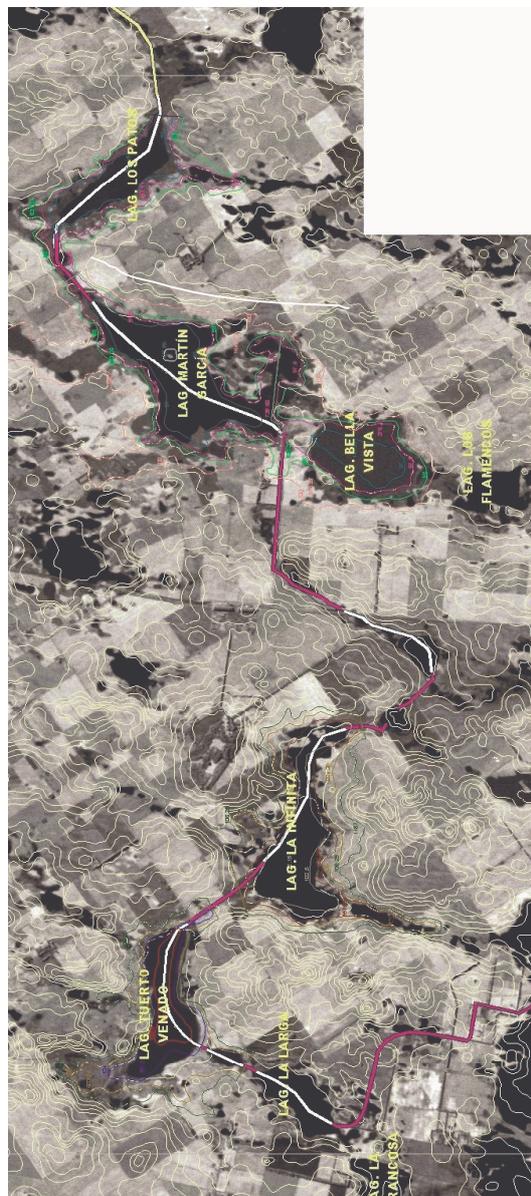


Figura N° 1 Ubicación de la zona modelada

METODOLOGÍA

Implementación del modelo

Se implementó el modelo hidrodinámico unidimensional en el tramo Laguna La Picasa – laguna El Chañar, utilizando perfiles topográficos relevados conforme a obra del canal y de las lagunas intermedias. Las longitudes de separación entre los mismos son variables y se encuentran referidos, la altimetría, al sistema del Instituto Geográfico Militar.

La condición de borde externa aguas arriba o de entrada al sistema corresponden a hidrogramas de ingreso generados por las lluvias ocurridas durante el año 2001 que aportan a las lagunas intermedias y que se conectan con el canal en el tramo La Picasa – Los Patos. No se consideraron hidrogramas de ingreso en el tramo Los Patos – El Chañar. La estimación de los hidrogramas de las cuencas de aporte fueron calculadas a partir de un estudio hidrológico.

La condición de borde de aguas abajo fue generada por la ecuación de Manning a la entrada de la laguna El Chañar.

Las condiciones de borde interna están definidas por caminos y vías férreas compuestos por alcantarillas y taponés que actúan como endicamientos transversales al canal para obstaculizar el escurrimiento dentro del mismo.

Condiciones generales del modelo

Se utilizó el modelo hidrodinámico ISIS Flow, desarrollado para canales abiertos y flujos en planicies de inundación en cualquier red de canales. Puede incorporarse una amplia gama de estructuras hidráulicas (alcantarillas, vertederos, terraplenes, compuertas, bombeos, reservorios, etc) que son usadas para evaluar el comportamiento del sistema actual y/o diseñar un nuevo sistema, incluyendo además, una variedad de tipos de conductos.

El cálculo de las profundidades y caudales generados a partir de una onda de crecida están basados sobre las ecuaciones para ondas de flujos poco profundo en canales abiertos – ecuaciones de Saint Venant. El sistema puede resolverse para condiciones permanente e impermanente y utiliza el esquema de diferencias finitas de cuatro puntos de Preissmann para resolver el sistema de ecuaciones.

Los resultados del modelo pueden ser usado junto a un sistema de información geográfica definiendo así, los anchos afectados por inundación, las profundidades, velocidades de los cursos de agua a los efectos de analizar el comportamiento del canal y el funcionamiento de los sistemas de hidráulicos introducidos.

La unidad de río está basada en la Ecuaciones de Saint Venant para flujo unidimensional, las cuales expresan la conservación de masa y momentum del cuerpo de agua. También es posible un pseudo modelado bi-dimensional para planicies de inundación cuando se calculan diferentes caudales para distintas áreas de una sección transversal. Se puede incorporar también almacenamiento de agua en una planicie de inundación y flujo turbulento. Las regiones localizadas con flujo supercrítico pueden ser modeladas aproximadamente.

Ecuaciones

Las ecuaciones utilizadas en la unidad de Río son de Conservación de Masa y Continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

Ecuación de Momentum o Dinámica:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{AQ/Q}{K^2} + q \frac{Q}{A} \cos \alpha = 0$$

Las consideraciones hechas para derivar las ecuaciones de Saint Venant son las siguientes:

- El flujo es unidimensional: se utiliza una velocidad y una cota específica para describir el estado del cuerpo de agua en cada sección transversal.
- La curvatura de las líneas de corriente es pequeña y las aceleraciones verticales despreciables, por lo tanto la presión es hidrostática.
- Los efectos de la fricción lateral y la turbulencia pueden ser tenidos en cuenta por representaciones de canales derivadas de un estado de flujo permanente.
- La pendiente longitudinal promedio es lo suficientemente pequeña tal que se pueda utilizar un ángulo de aproximación suficientemente pequeño.
- Todas las funciones y variables son continuas y diferenciales (las cuales impiden el correcto modelado de saltos hidráulicos).

El modelo ISIS FLOW calcula la conducción para un nivel de agua seleccionado y el caudal en cualquier sección intermedia.

RESULTADOS

Simulación del comportamiento del sistema actual para el año 2001

Se simuló el comportamiento hidrológico del canal y se compararon los resultados obtenidos con algunos aforos realizados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, aguas abajo de la sección de la Laguna de Los Patos. Los resultados estimados de la modelación fueron concordantes con los observados en la sección de control, debido a que no se ha estimado el caudal ingresado en el tramo Los Patos – Sección de Aforo.

Caudal calculado 22 m³/s
Caudal aforado 28 m³/s

Se analizó las áreas cubiertas por inundación de cada laguna interceptada por el canal a partir de información procesada de imágenes satelitales tomadas los días 12/02, 01/04, 20/06, 08/09, 11/11 del año 2001.

En las figuras siguientes se encuentran la variación temporal de los niveles de inundación de cada laguna obtenida de las imágenes satelitales procesadas. Se observa en general, que la segunda tormenta ocurrida en el segundo semestre del año ha incrementado las áreas inundadas en mayor proporción que para la primer tormenta. Este efecto resulta posible, debido a un mejoramiento de la capacidad de conducción de las cuencas de aporte de cada laguna o a una modificación del estado inicial en las lagunas.

A partir de los resultados de la aplicación del modelo hidrodinámico, se determinaron los niveles alcanzados en coincidencia con las fechas indicadas en las imágenes. A partir de

dichos niveles se estimaron las áreas inundadas de cada laguna utilizando las curvas de nivel de las planchetas IGM y de los perfiles topográficos usados en la implementación y se compararon con los resultados obtenidos de las imágenes.

Los resultados obtenidos de la comparación, puede observarse en la tabla N° 1 donde se tiene las áreas inundadas o afectadas de cada laguna con una aproximación razonable para diferentes niveles de las lagunas en los períodos de crecida y también, en los períodos de estiaje.

Nombre laguna Año 2001	Fecha 12-2		Fecha 1-4		Fecha 20-6		Fecha 8-9		Fecha 11-11	
	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)
	Imagen Observ.	Calcu. Model	Imagen Observ	Calcu. Model	Imagen Obser.	Calcu. Model	Imagen Observ	Calcu. Model	Imagen Observ	Calcu. Model
Tuerto Venado	489.33	488	516.51	500.56	533.25	488	518.49	483.5	486.99	493.03
La Infinita	308.25	355.57	353.43	544.01	423.72	338.4	438.86	329.71	515.16	524.32
Martín García	634.05	614.53	685.53	682.37	685.71	614.48	649.98	614.42	829.08	715.83
Los Patos	204.57	233.93	209.16	268.27	209.88	231.07	202.95	208.18	242.55	381.55

Tabla N° 1: Áreas inundadas calculadas y observadas

La escorrentía media que llega a las lagunas en la primera tormenta, resulta un 12 % menor a la generada en la segunda tormenta.

Se muestra en las siguientes figuras la variación temporal de las áreas inundadas de cada laguna de acuerdo a los resultados observados y calculados por el modelo.

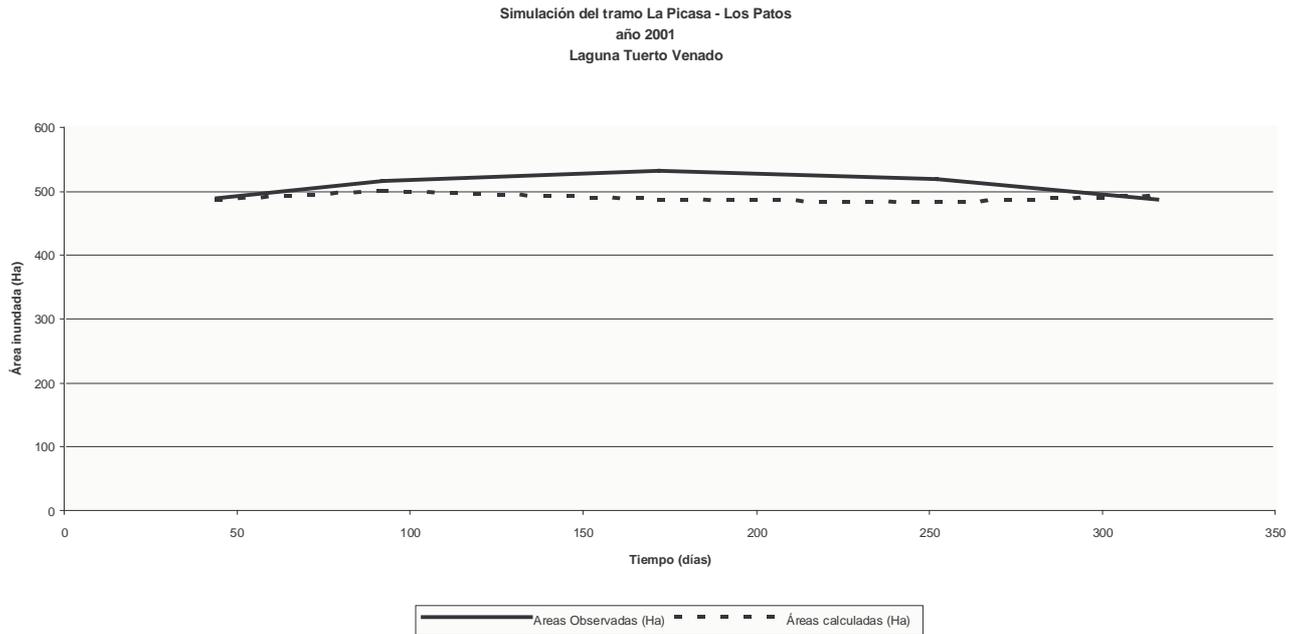


Figura N° 2: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Tuerto Venado calculadas y observadas en Ha

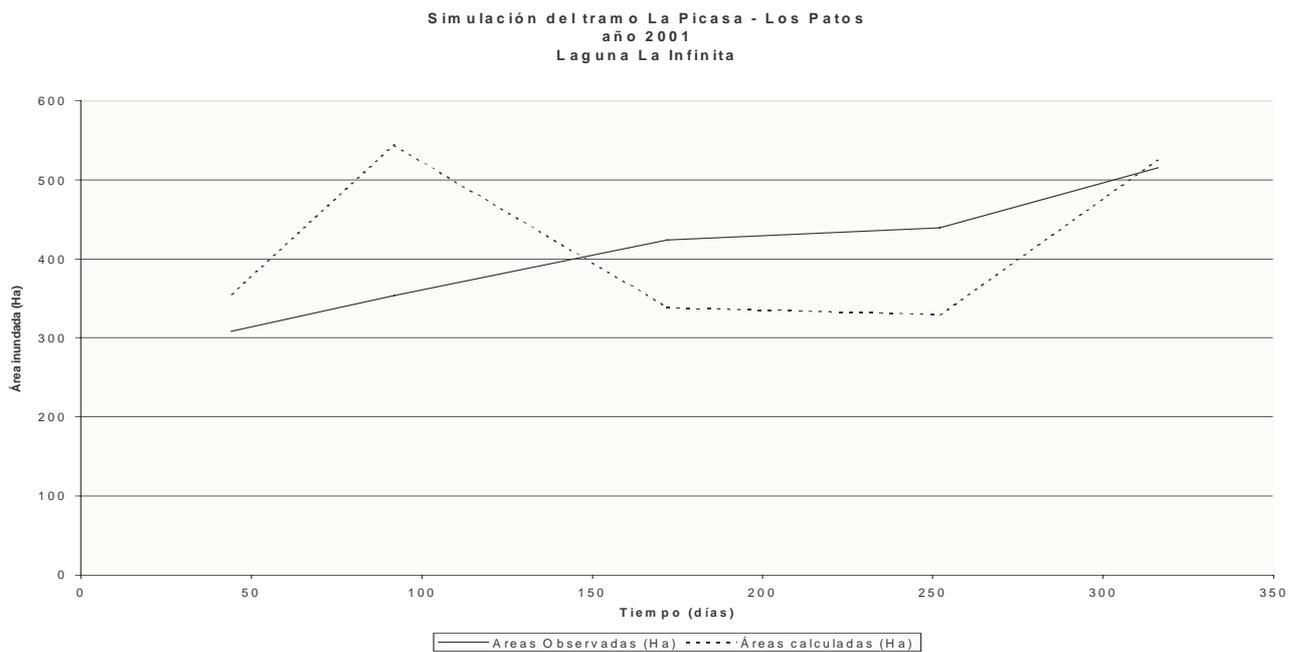


Figura N° 3: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna La Infinita calculadas y observadas en Ha

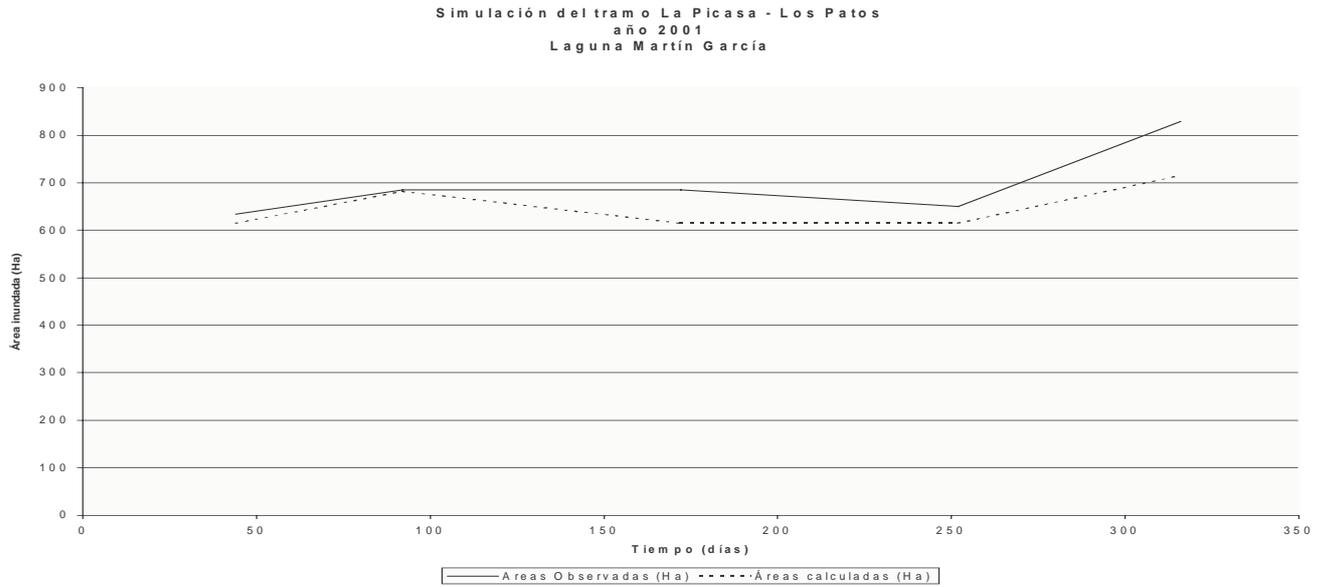


Figura N° 4: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Martín García calculadas y observadas en Ha

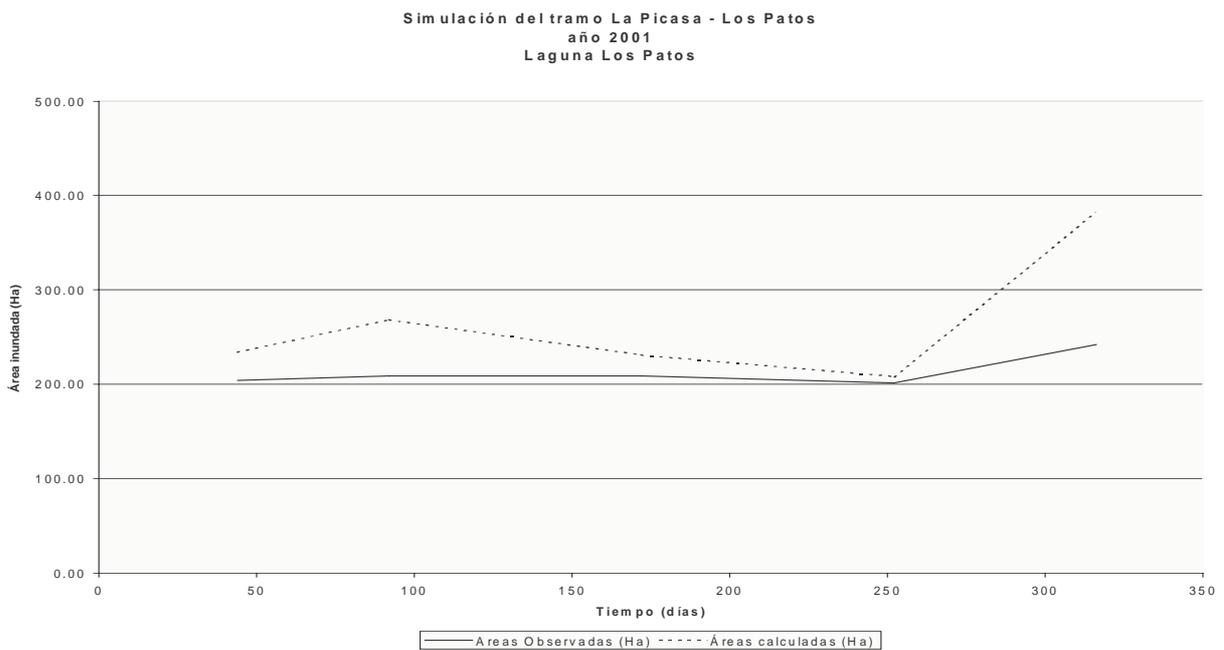


Figura N° 4: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Los Patos calculadas y observadas en Ha

Puede observarse en las figuras N° 6 y 7 el comportamiento de los diferentes cuerpos lagunares obtenidos de la modelación hidrodinámica del tramo:

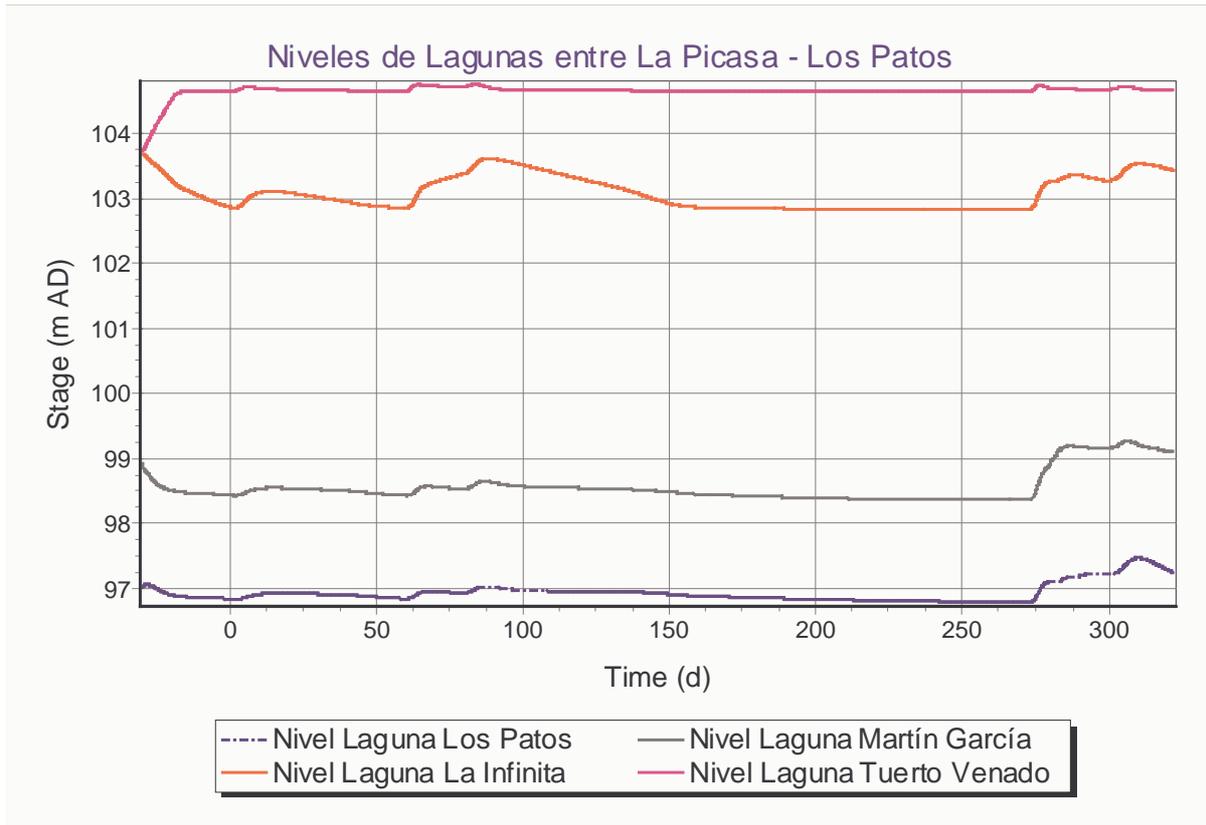


Figura N° 6: Variación temporal de los niveles en las lagunas intermedias

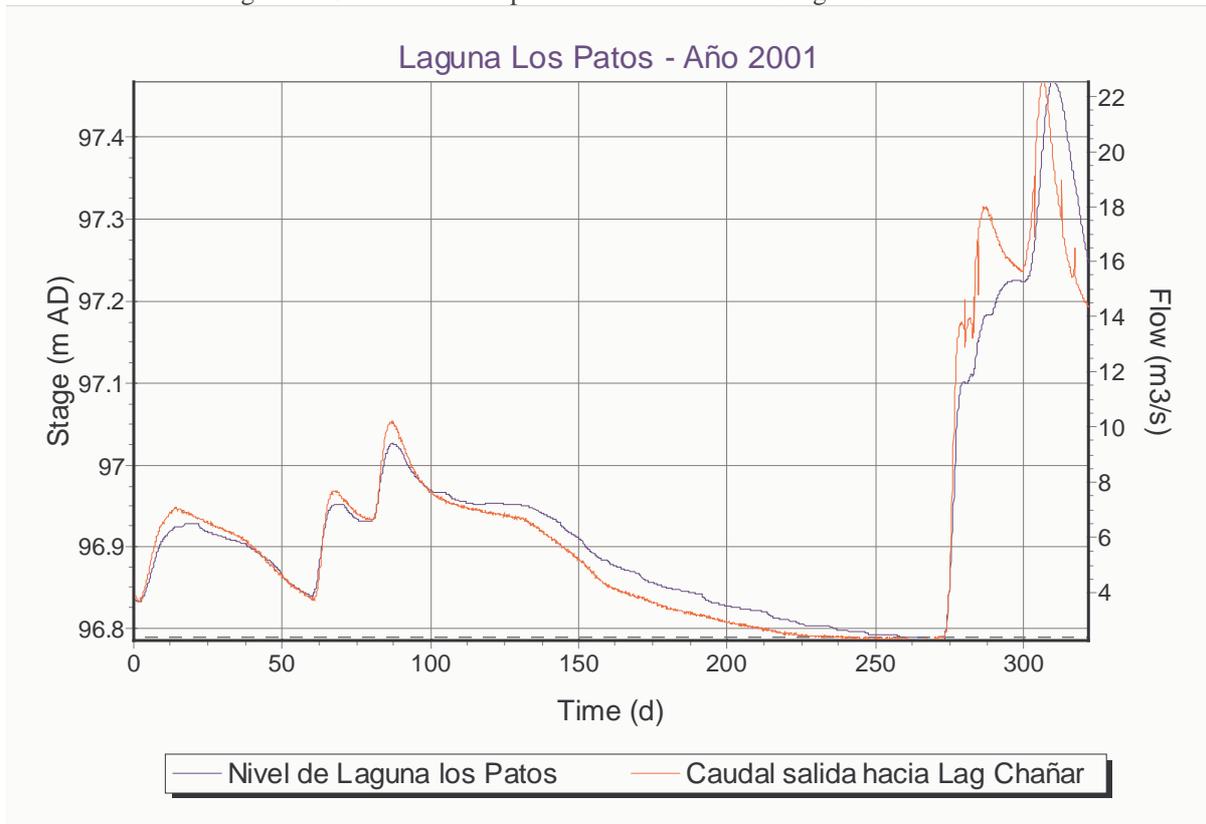


Figura N° 7: Variación temporal de los niveles y caudales en la laguna Los Patos

CONCLUSIONES

La falta de información hidrométrica en la calibración del modelo y en la validación de los mismos, puede desechar los resultados obtenidos de cualquiera modelación matemática.

La calibración de parámetros y validación de resultados obtenidos en forma indirecta a partir de la comparación de áreas inundadas calculadas por el modelo y de áreas inundadas observadas de imágenes satelitales, resultó aceptable y resulta una alternativa o recurso conveniente de usar. Este desarrollo se está actualmente validando en el río Salado (provincia de Santa Fe) en el tramo ruta provincial N° 70 – desembocadura, cuyos resultados están en proceso de análisis.

Permite también validar los resultados obtenidos de una modelación en tramos intermedios, donde en general no se tiene información hidrométrica y ajustar las condiciones de borde internas relacionadas con el tránsito de la onda de crecida.

***Agradecimiento:** A Álvaro Soldano del Instituto Nacional del Agua por su participación en la estimación de las áreas inundadas a partir de las imágenes satelitales.*

LISTA DE SÍMBOLOS

H = nivel de agua

β = coeficiente de corrección del momentum

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

α = ángulo de incidencia del flujo

K = conducción del canal

n = coeficiente de Manning

R = radio hidráulico (A/P)

P = perímetro mojado

Q = Caudal (m^3/s)

A = sección transversal

q = Caudal específico ($m^3/s/m$)

x = distancia longitudinal del canal (m)

t = tiempo (s)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Nacional del Agua. Proyecto de descarga de la laguna La Picasa al río Paraná. Informe Final. 2004.

Halcrow/HR Wallingford. ISIS Flow. Manual de Usuario. 1999.