

APLICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO CON LA AYUDA DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES

**Jorge Collins, Álvaro Soldano, Carlos Paoli,
Ricardo Giacosa, Carlos Scioli**
Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Litoral
Patricio Cullen 6161 – 0342 4604540 – jorgecollins@arnet.com.ar

RESUMEN

Cuando se realiza la representación de un sistema hidrológico a través de un modelo matemático se necesita de información hidrológica adecuada para calibrar sus parámetros y validar los resultados. Resulta frecuente encontrar que dicha información no es la adecuada o no existe, lo que produce dificultades en dicho proceso. Se realiza la aplicación de un modelo hidrodinámico al tramo de canal La Picasa – Los Patos, para representar el comportamiento hidrológico-hidráulico del canal en el año 2001, donde la información hidrométrica es insuficiente.

Se realiza la implementación del modelo con la información topográfica existente, se introduce los hidrogramas que aportan al sistema (obtenidos de un estudio hidrológico) y se valida y recalibra el mismo a partir de la información hidrológica y de un análisis de imágenes satelitales secuenciales.

Este tipo de 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.

Palabras clave: Hidrología Superficial – Hidráulica – Modelación Matemática.

INTRODUCCIÓN

Cuando se desea representar el funcionamiento de un sistema hidrológico a través de un modelo matemático, se necesita contar con información topográfica e hidrológica que permita implementar, calibrar y validar los resultados obtenidos. Si se aplica un modelo hidrodinámico será necesario contar con información topográfica compuesta por perfiles transversales e información hidrométrica del tramo implementado a los efectos de representar y calibrar el sistema.

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 medir cuando se produjo la crecida a representar.

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

Para evaluar la situación hidrológica de este tramo vivida en el año hidrológico 2001, se realizó una recalibración y validación del modelo hidrodinámica con la ayuda del análisis multitemporal de imágenes sobre la zona de estudio, dado que la información hidrométrica era escasa.

Ubicación

La ubicación del tramo modelado corresponde a la alternativa norte del canal de descarga de la laguna La Picasa hacia la laguna El Chañar. El tramo presentado en este informe corresponde al tramo Laguna La Picasa – Laguna Los Patos.

Se ubica la zona de estudio, en la siguiente figura N° 1.

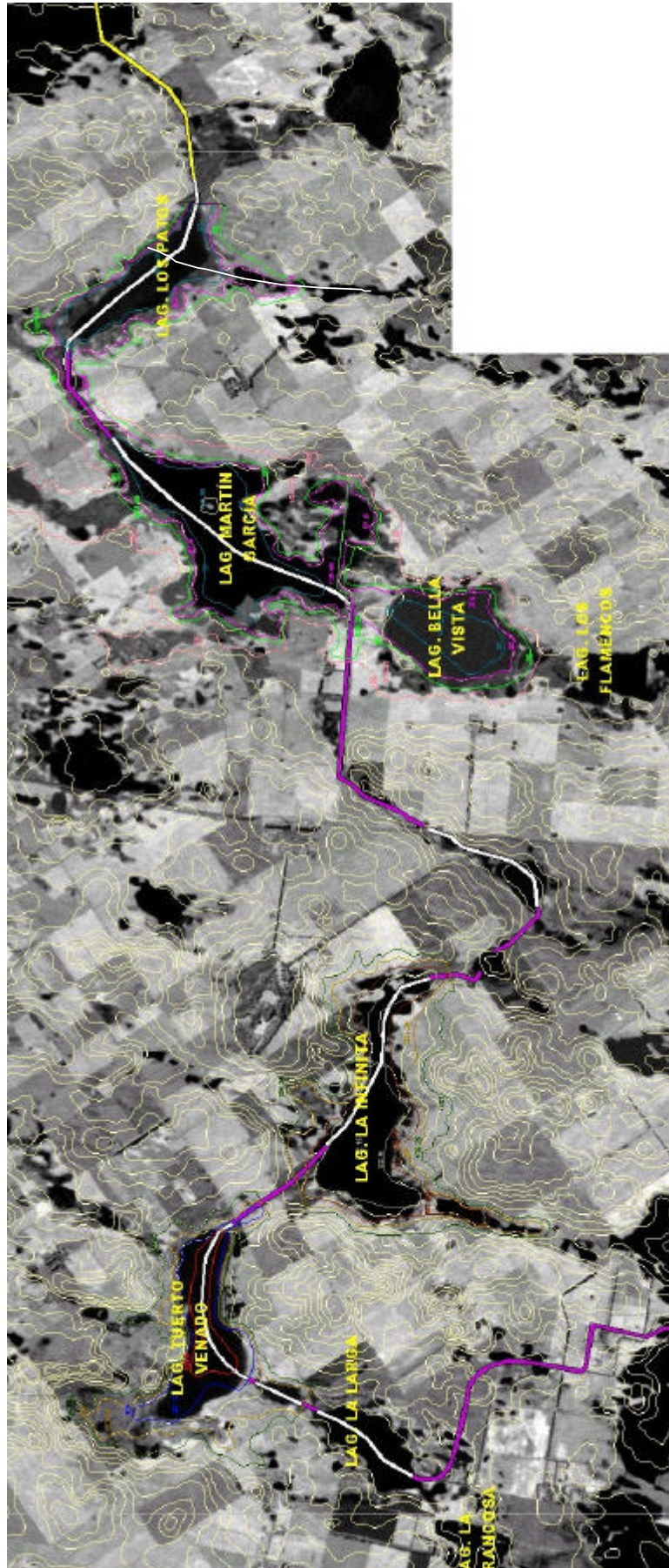


Figura N° 1 Ubicación de la zona modelada

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 del 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

El modelo hidrodinámico ISIS Flow es un programa computacional usado para modelar 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 permanentes e impermanentes y utiliza el esquema de diferencias finitas de cuatro puntos de Preissmann para resolver el sistema de ecuaciones.

Los resultados del modelo pueden ser usados 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:

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

Q = Caudal (m³/s)

A = sección transversal

q = Caudal específico (m³/s/m)

x = distancia longitudinal del canal (m)

t = tiempo (s)

Ecuación de Momentum o Dinámica:

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

H = nivel de agua

= coeficiente de corrección del momentum

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

α = ángulo de incidencia del flujo

K = conducción del canal

n = coeficiente de Manning

R = radio hidráulico (A/P)

P = perímetro mojado

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

A modo de reproducir el comportamiento hidrológico - hidráulico del tramo laguna La Picasa - laguna Los Patos en el año hidrológico extremo 2001, se simuló el comportamiento hidrológico del canal y se compararon los resultados obtenidos con 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 menores a 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 $22 \text{ m}^3/\text{s}$
Caudal aforado $28 \text{ m}^3/\text{s}$

Se contrastó también, los resultados obtenidos del sistema modelado con las áreas cubiertas por inundación en cada laguna a partir de la información procesada de imágenes satelitales tomadas los días 12/02, 01/04, 20/06, 08/09, 11/11 del año 2001.

En la figura 2 se encuentra la variación temporal de las áreas de cada laguna obtenidas de las imágenes satelitales procesadas. Se observa en general, que para la segunda tormenta ocurrida en el segundo semestre del año, se han incrementado las áreas inundadas en mayor proporción que para la primer tormenta. Este efecto se ha generado posiblemente, 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.

De la aplicación del modelo hidrodinámico a dicho año hidrológico extremo, se determinaron los niveles alcanzados en las fechas indicadas en las imágenes. A partir de dichos niveles se calcularon las áreas de cada laguna, asociadas a los niveles y se compararon con los resultados obtenidos de las imágenes. Las áreas asociadas a los niveles de las diferentes lagunas fueron calculadas a partir de las curvas de nivel de las planchetas IGM que tienen una equidistancia de 2.50 m y de los perfiles medidos de los relevamientos topográficos mencionados anteriormente. Estos perfiles, corresponden aproximadamente a tres por laguna y su ubicación planimétrica fueron ajustadas en forma aproximada, dado que sus coordenadas planimétricas planas se encuentran en Campo Inchauspe en otra faja a la usada por el proyecto.

A partir de esta calibración aproximada y comparando los resultados obtenidos de las imágenes satelitales, puede observarse en la tabla N° 1 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.

Tabla N° 1: Áreas inundadas calculadas y observadas

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

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.

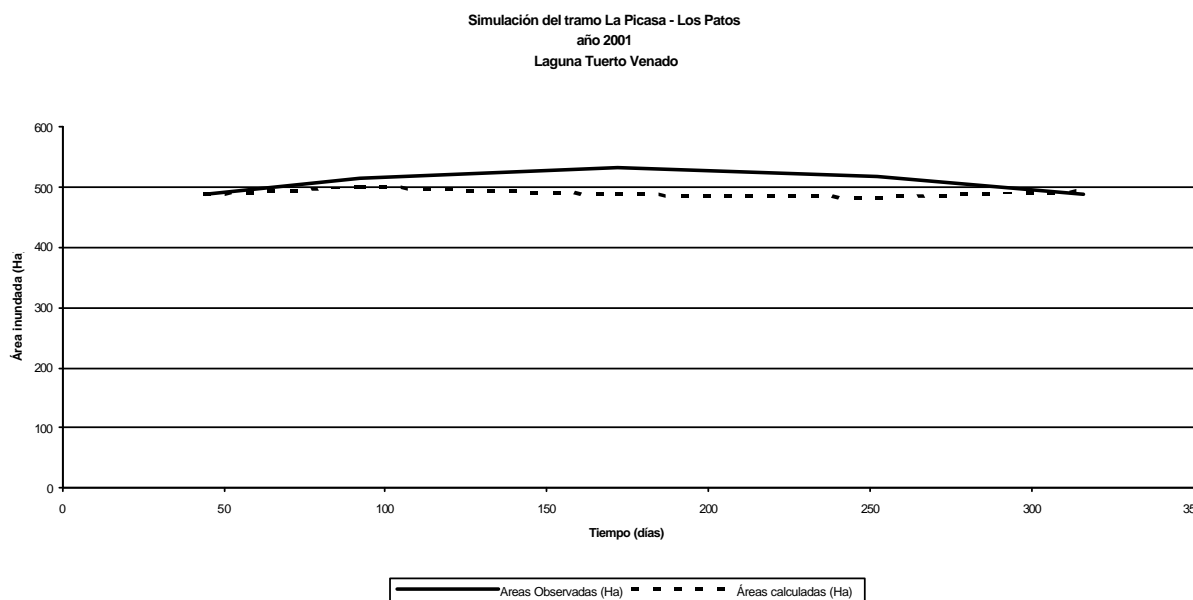


Figura N° 2: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Tuerto Venado calculadas y observadas en Ha

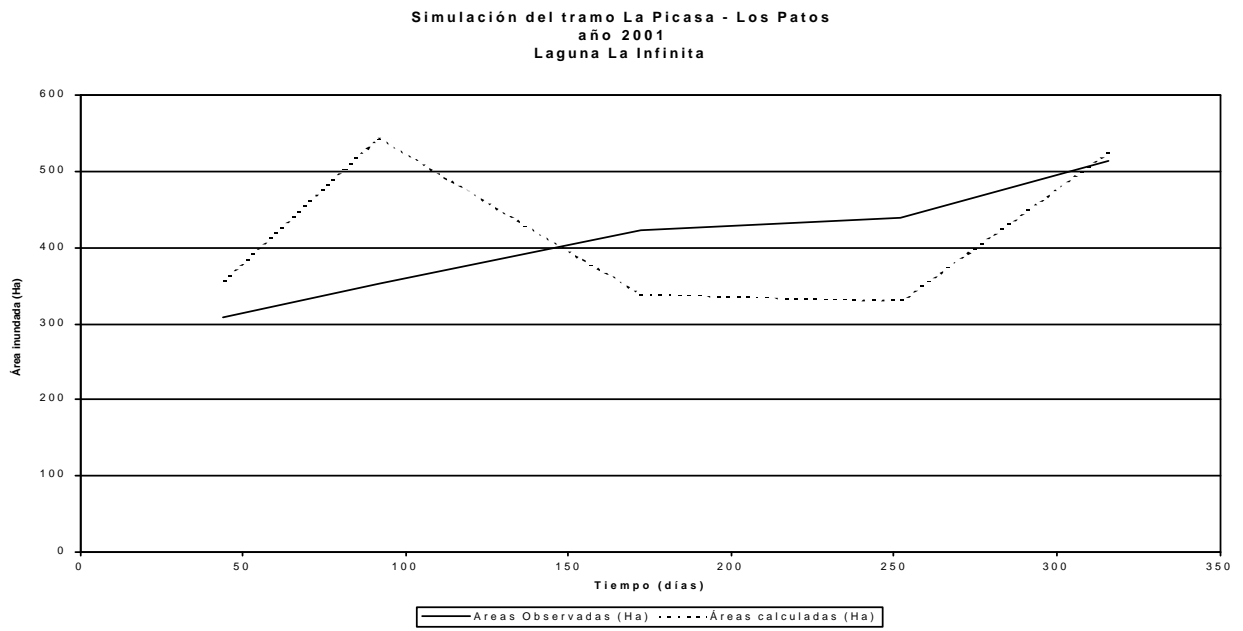


Figura N° 3: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna La Infinita calculadas y observadas en Ha

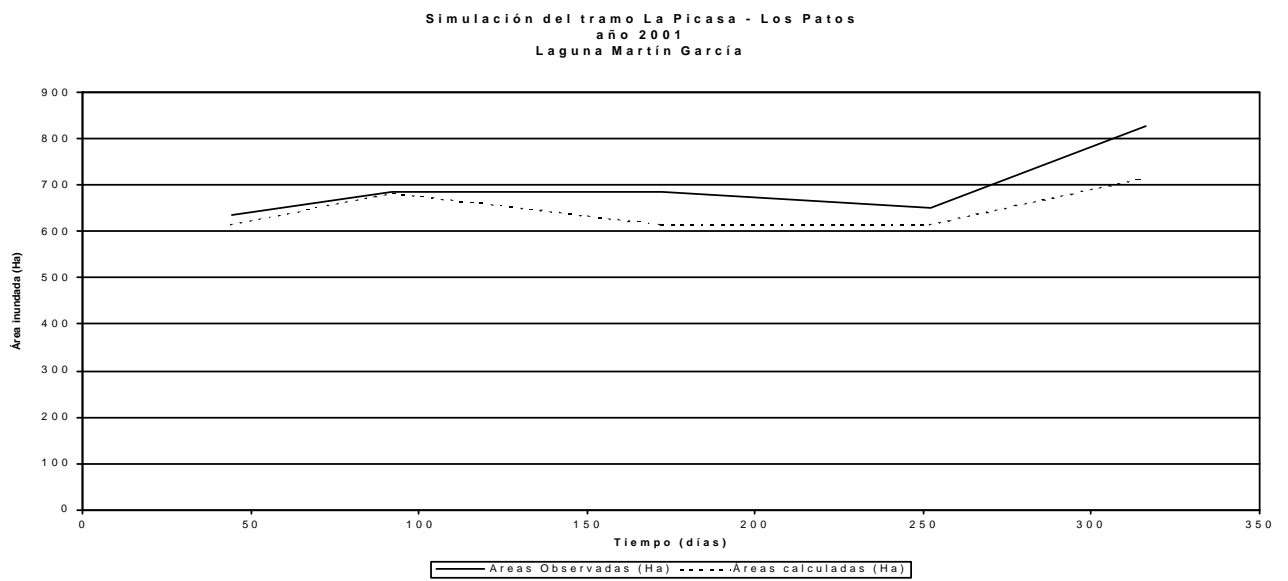


Figura N° 4: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Martín García calculadas y observadas en Ha

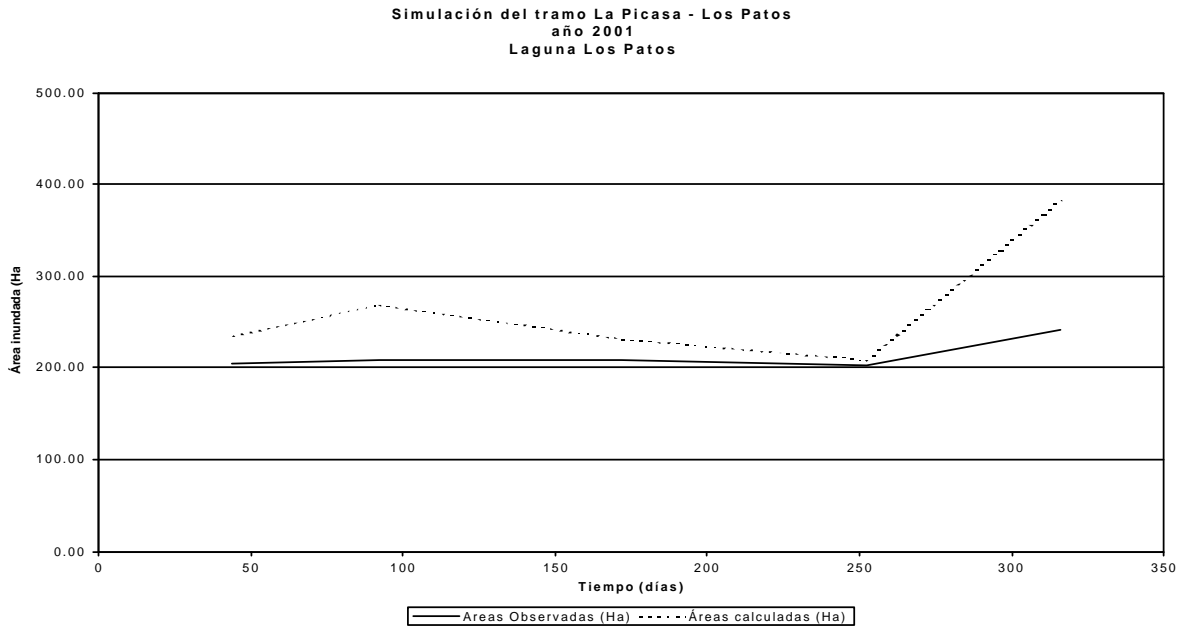


Figura N° 4: Variación temporal de las áreas inundadas de la laguna Los Patos calculadas y observadas en Ha

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

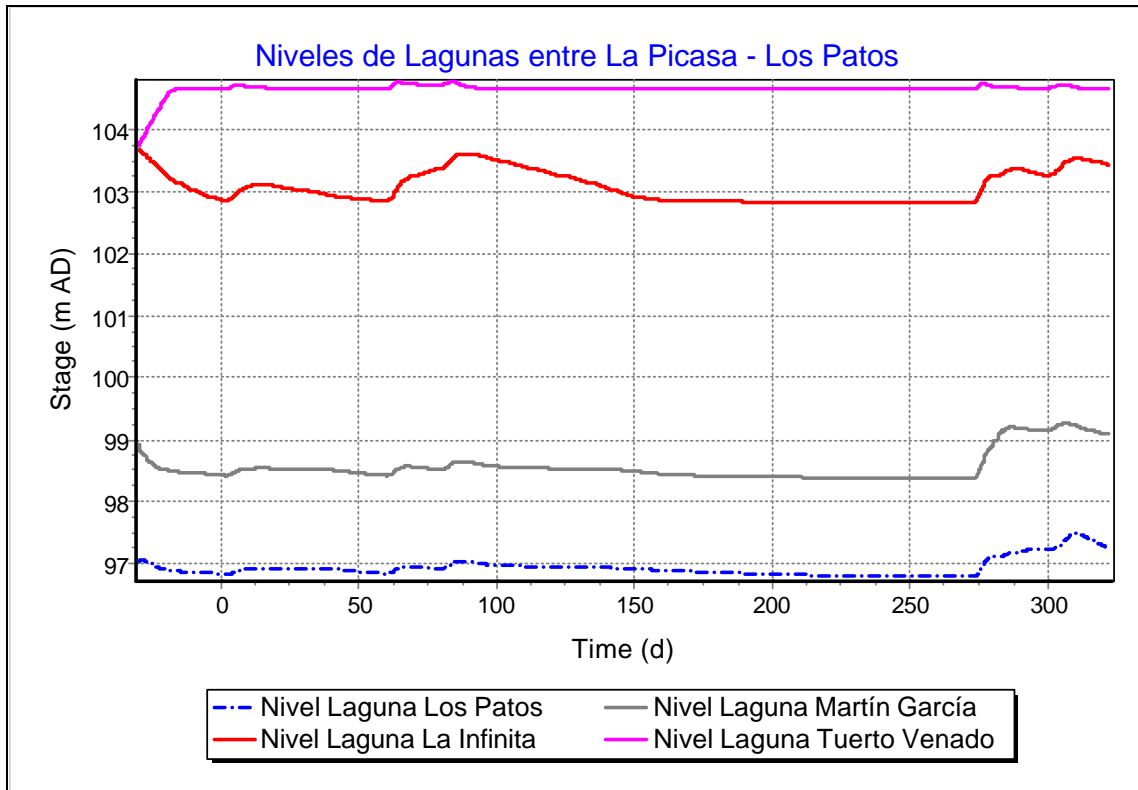


Figura N° 6: Variación temporal de los niveles en las lagunas intermedias

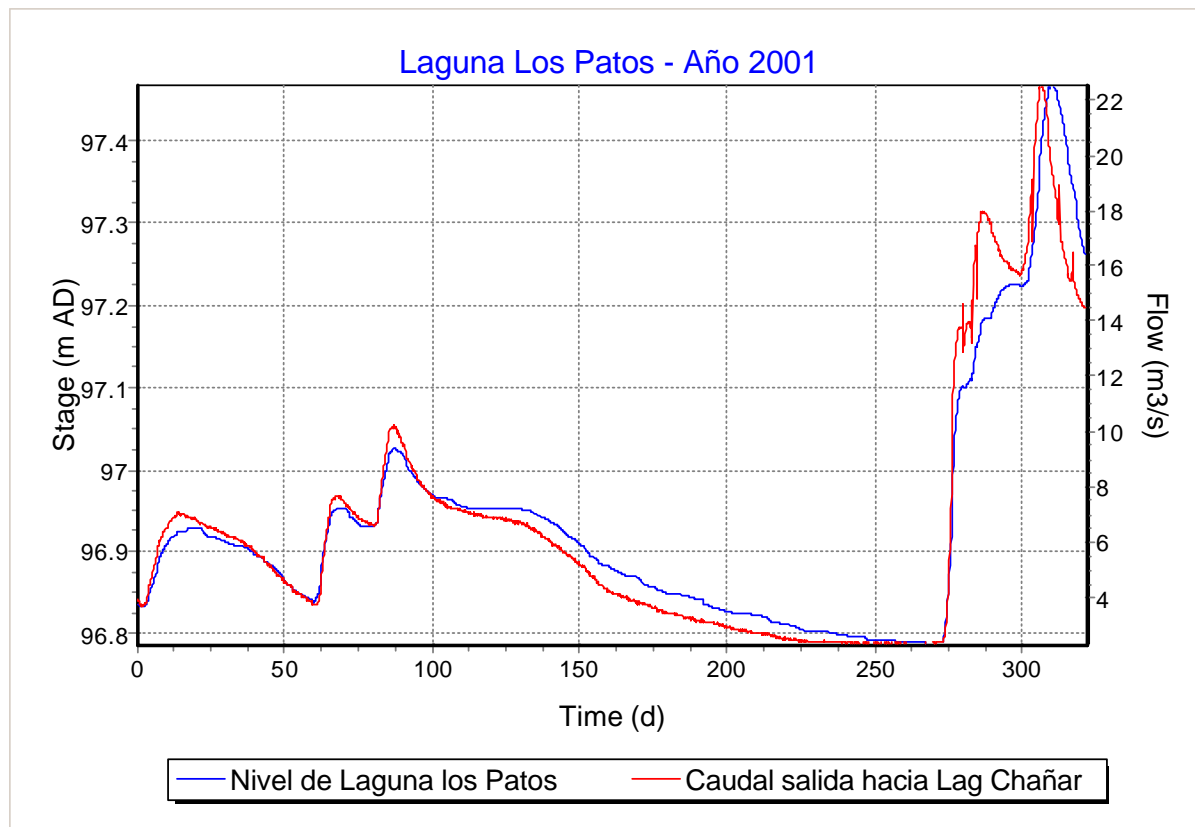


Figura N° 7: Variación temporal de los niveles y caudales en la laguna Los Patos

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.

También resulta conveniente analizar los niveles de inundación que alcanza en un perfil transversal de un tramo de río o canal, utilizando secuencias de imágenes satelitales como herramienta de ayuda en la etapa de calibración y validación.

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.

BIBLIOGRAFÍA

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.