

MODELACIÓN HIDROLÓGICA CONTÍNUA PARA VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN EL PROYECTO LA PICASA- A. PAVON

Ricardo Giacosa- Carlos Paoli y Jorge Collins

Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Litoral

Patricio Cullen 6161 (3000) Santa Fe – Argentina

Tel : (54) 342-4605910 Fax: (54) 342-4604540 Email: rgiacosa@arnet.com.ar

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto de derivación de agua por bombeo desde la Laguna La Picasa hacia el río Paraná a través del Arroyo Pavón.

El objetivo específico del análisis hidrológico es evaluar las interferencias generadas por la traza del canal a las áreas de aportes, y verificar los parámetros de diseño y operativos del canal en sus diversos tramos y para distintos escenarios hídricos.

El área modelada en forma continua corresponde al primer tramo denominado La Picasa- Los Patos. En todo este tramo el conjunto de lagunas están interconectadas (Lag la larga, Tuerto Venado, La Infinita Martín García y Los Patos), lo que le otorga al sistema hídrico una gran capacidad de almacenamiento y amortiguación de los excedentes hídricos. Esto hace que si bien los caudales picos sean laminados, los volúmenes de escurrimiento sean prolongados en el tiempo.

En la actualidad y dado que existe un canal construido, se produce una conducción de agua, es decir que a pesar de que no existe bombeo desde La Picasa, el canal está parcialmente ocupado por escurrimiento de las áreas de aporte locales.

Para cuantificar dichos aportes, se utilizó el modelo de simulación hidrológica continua (HEC-HMS) para una duración de 365 días en cada uno de los tramos del canal.

Se determinaron volúmenes de aportes y tiempos que el canal estaría drenando los aportes interceptados y en situaciones en que los mismos son significativos se cuantificó el grado de restricción que presenta la incorporación de los volúmenes de bombeo de caudales desde la Picasa.

INTRODUCCIÓN

Los estudios hidrológicos realizados en el marco del proyecto de descarga de la laguna La Picasa al río Paraná, presenta particularidades por lo cual fueron desarrollados por ramos.

En el tramo que corresponde al arroyo Pavón, se realizó una evaluación hidrológica e hidráulica de la cuenca y curso principal ya que es el receptor y conductor de los aportes derivados por bombeo desde la laguna La Picasa y los interceptados por el canal en todo su recorrido.

A los efectos de no generar incrementos de los picos de crecidas en el arroyo Pavón, se establece como pauta de operación del sistema, que no se volcará agua de La Picasa al Arroyo Pavón durante las crecidas propias de su cuenca de aportes, sino que solo se hará cuando la capacidad de conducción de este último lo permita. El análisis del régimen de crecidas de este arroyo, sus capacidades de conducción en distintos tramos y principales restricciones que condicionan los volúmenes de agua a importar y tiempos de bombeo fueron evaluadas en forma detallada previamente , presentándose solamente los resultados más relevantes.

Los excedentes pluviales en el primer tramo La Picasa-Los Patos, son captados en su totalidad y son conducidos hacia los distintos cuerpos de agua y finalmente hacia la laguna Los Patos. En la actualidad y dado que existe un canal construido, se produce una conducción de agua, es decir que a pesar de que no existe bombeo desde La Picasa, el canal está ocupado parcialmente por escurrimiento de las áreas de aporte locales.

A efectos de evaluar el tiempo que el canal estaría drenando dichos aportes y si estos introducen una restricción a los volúmenes de bombeo de La Picasa, se cuantificaron los aportes al tramo La Picasa-Los Patos en forma continua, para dos escenarios diferenciados de un año de duración.

Para el tramo de canal Los Patos-Quirno-empalme Juncal/El Pelao se determinaron los parámetros de diseño, discriminándose las áreas cuyos aportes son incorporados al canal de los que no lo son y si la descarga es de tipo puntual o distribuida. Para las áreas cuyos aportes no son incorporados por el canal, se determinaron además los emplazamientos de las obras hidráulicas de paso (sifón o alcantarillas).

Los parámetros hidrológicos fueron determinados para tormentas de diseño de duraciones comprendidas entre 12 y 24 hs y recurrencias de diseño (Tr: 10 años) y de verificación (50 años).

AREA DE ESTUDIO. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El relieve del área es levemente ondulado, presentando zonas altas o lomadas que separan depresiones o “bajos”, definiéndose áreas o cuencas más o menos redondeadas y aisladas (arreicas). Muchas de ellas presentan algún grado de vinculación hidráulica: en forma natural para estados de grandes excesos hídricos, ó en forma artificial.

Las áreas así definidas se analizaron sobre dos imágenes pancromáticas, que previamente habían sido geo-referenciadas al sistema WGS 84 de la provincia de Santa Fe superpuestas con la información altimétrica (curvas de nivel) de las cartas topográficas del IGM. Figura N° 1

Mediante la utilización de cartas topográficas y su contraste con escenas de imágenes de satélite, de períodos secos y más recientes del actual período húmedo, se definieron las formas superficiales que condicionan la dinámica hídrica superficial del sistema: divisorias de agua, líneas eje de escurrimiento, canalizaciones, etc.

De las verificaciones de campo y del análisis de las imágenes satelitales pancromáticas pudo constatarse la existencia de vinculaciones de dos tipos:

Una de carácter temporario o efímero, que se produce en forma “natural” debido a los elevados excesos hídricos, interconectándose a través de las zonas más bajas o de la red vial las diferentes sub-áreas adyacentes. Este tipo de vinculación se constituye, por lo tanto, en una vía de avenamiento únicamente para períodos hiperhúmedos, y la denominamos trasvasamiento transitorio.

El segundo tipo es generado por la acción del hombre. Son canalizaciones o cuneteos, generalmente precarios y sin proyecto, realizados para “salvar” en forma rápida una situación de inundación excepcional, adquiriendo el carácter de trasvasamiento semipermanentes, que es cuando la canalización permite una vinculación entre dos subcuencas arreicas por un mínimo lapso de tiempo y sólo a partir de una determinada altura del nivel del cuerpo de agua. Estos trasvasamientos semipermanentes presentan un perfil más permanente con obras de arte de construcción adecuada que merecen un análisis particular porque probablemente modifiquen en forma definitiva la conformación del sistema hídrico actual.

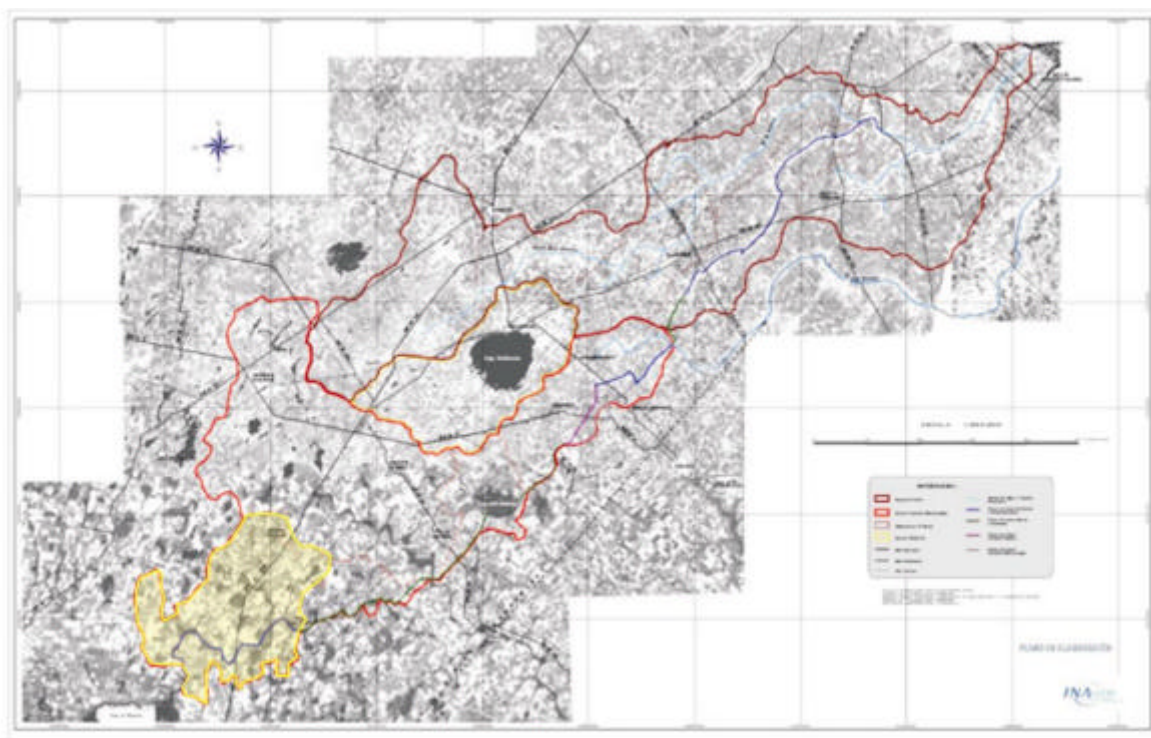


Figura 1. Área de aportes canal de descarga la Picasa-A. Pavón

La traza del canal tiene una dirección suroeste – noreste. En el tramo La Picasa – Los Patos colecta el escurrimiento superficial de las áreas de aporte directo (figura 1 –área sombreada), en tanto en el tramo Los Patos – Quirno -canal Juncal es normal al escurrimiento superficial de la región, que drena naturalmente hacia provincia de Buenos Aires mediante sistemas de cañadas,

lagunas interconectadas mediante canales y bajos naturales. La interferencia al escurrimiento que genera dicho canal en este último tramo debe ser salvada mediante obras de arte o bien incorporadas al mismo.

El área modelada en forma continua corresponde al tramo: La Picasa-Los Patos, en el cual se encuentra materializado el primer tramo del canal denominado Alternativa Norte. Figura N°2.

En todo el tramo, el conjunto de lagunas interconectadas entre sí (Lag la larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos), le otorga al sistema hídrico una gran capacidad de almacenamiento y amortiguación de los excedentes hídricos. Esto hace que si bien los caudales picos sean laminados, los volúmenes de escurrimiento sean prolongados en el tiempo.

La traza del canal en este tramo tiene una longitud de 42.2 km vinculando una serie de bajos y lagunas y el área total de aportes es de 681.4 km². En los 14 km finales del tramo se producen los aportes del 60% del área total.

Las subcuencas de aporte directo a la laguna Martín García (Subcuencas Sales, Reynoso y Maria Teresa) constituyen el 40% del área total de aportes y las de aporte a la Lag Los Patos el 18% con tiempos de permanencia superiores a los 20 días.

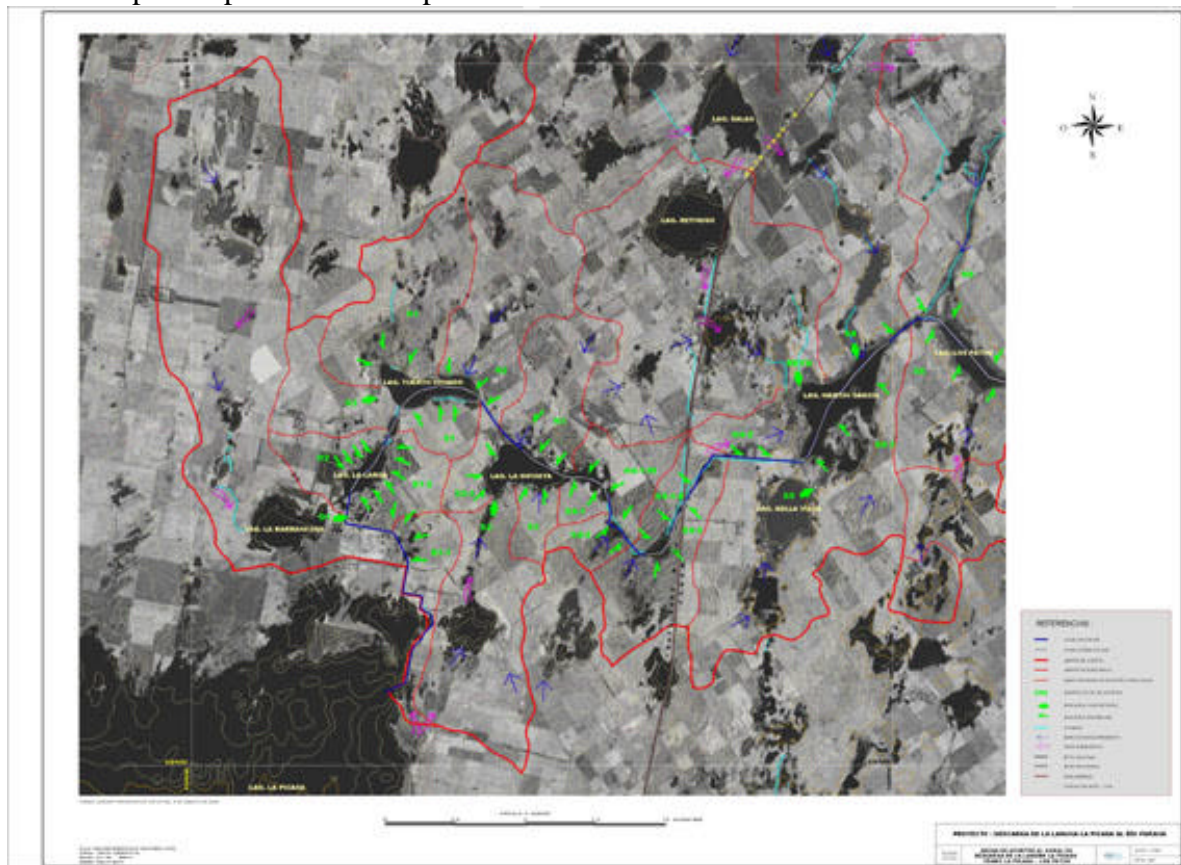


Figura 2. Detalles áreas de aportes canal de descarga tramo La Picasa- Los Patos

METODOLOGÍA UTILIZADA

Tramo La Picasa –Los Patos

En el tramo La Picasa-Los Patos, todos los aportes son captados por el canal, por lo que dada las características y restricciones físicas que tiene la región, el análisis de crecidas a partir de eventos aislados resulta insuficiente para simular y evaluar el funcionamiento y la operación del sistema. Se requiere un periodo de tiempo mas prolongado en el cual la ocurrencia en forma aislada de un evento pueda no resultar critica, pero la superposición de varios de ellos aún de menor magnitud, pueda generar mayores anegamientos.

Para ello se implementó el modelo de simulación hidrológica continua (HEC-HMS) cuyo objeto es evaluar la situación actual y los aspectos operativos del canal en sus diversos tramos y para distintos escenarios hídricos.

De esta forma se determinaron volúmenes de aportes y tiempos que el canal estaría drenando los aportes interceptados y en caso de que los mismos sean significativos evaluar si introducen una restricción a los volúmenes de bombeo de caudales desde La Picasa.

El modelo simula el movimiento y almacenamiento del agua en la vegetación, superficie de suelo, en el perfil de suelo y acuíferos. Para una precipitación y evapotranspiración dada el modelo computa la escorrentía superficial, el flujo subterráneo, perdidas debido a evapotranspiración y percolación profunda sobre la cuenca total.

Las curvas alturas-superficie-volumen en cada uno de los reservorios se obtuvieron a partir de información cartográfica digitalizada en escala 1:50.000.

El área de aportes en el tramo La Picasa-Los Patos fue subdividida en 44 subcuencas con áreas promedios de 15 km². El esquema simplificado de vinculación entre áreas de aportes, reservorios y transito de crecidas se presenta en el Figura N° 3.

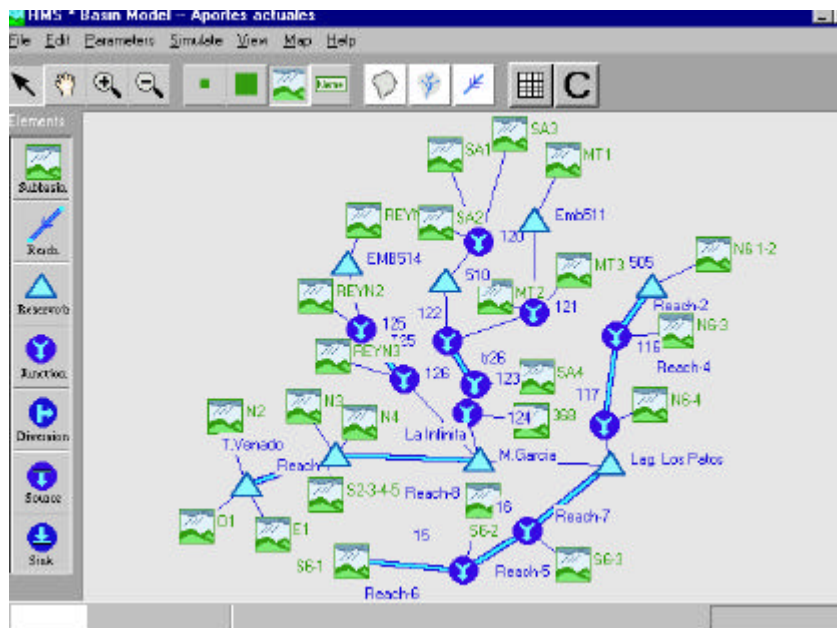


Figura 3. Esquema modelación hidrológica tramo La Picasa – Los Patos

Escenarios

Se consideraron dos periodos de 365 días con escenarios hidrometeorológicos bien diferenciados correspondientes a los años 1999 y año 2001.

En el primero, se registraron precipitaciones de 950 mm en tanto el segundo fueron de 1412 mm, es decir un 48% superior que la primera y en un estado de alta saturación.

El paso de tiempo de la modelación es de un día para una duración total de 365 días. Los valores de precipitaciones y evaporación mensuales se presentan en las tablas N° 1 y 2.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales Estación Villa Cañas

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
1999	86	111	327	85	15	0	0	67	15	100	33	110	949
2001	191	20	390	80	42	28	0	81	225	251	53.8	49.7	1412

Tabla 2 Evaporación desde superficie de agua libre en Estación Pergamino

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
Ev	158	122	100	65	57	34	38	68	104	121	146	141	1154

Calibración

No se cuenta con niveles hidrométricos y caudales medidos que permitan calibrar los resultados obtenidos de la modelación.

Para contrastar y ajustar los resultados obtenidos con el modelo hidrológico continuo HEC-HMS, se efectuó un análisis de imágenes satelitales multitemporales, a partir del cual se determinó la cobertura superficial de áreas con agua en cada una de las subáreas.

Para el análisis se escogió el año 2001 en donde se registraron aproximadamente 1400 mm en un estado de alta saturación antecedente. Las fechas en que fue cuantificada la evolución temporal y distribución espacial de las áreas anegadas, corresponden a los siguientes escenarios:

1. 12 febrero 2001: situación antecedente a las precipitaciones de marzo.
2. 01 –24 abril 2001: situación inmediatamente posterior a las ppt de marzo.
3. 20 junio 2001: situación sin precipitaciones de importancia (a 90 días de la pp de marzo).
4. 8 septiembre 2001: situación a 180 días de las precipitaciones de marzo.
5. 11 noviembre 2001: situación inmediatamente posterior a las precipitaciones de Octubre.

El análisis fue realizado para cada una de las subcuencas de aportes en el tramo La Picasa - Los Patos (Figura N° 4) y en las cinco fechas representativas de los distintos estados.

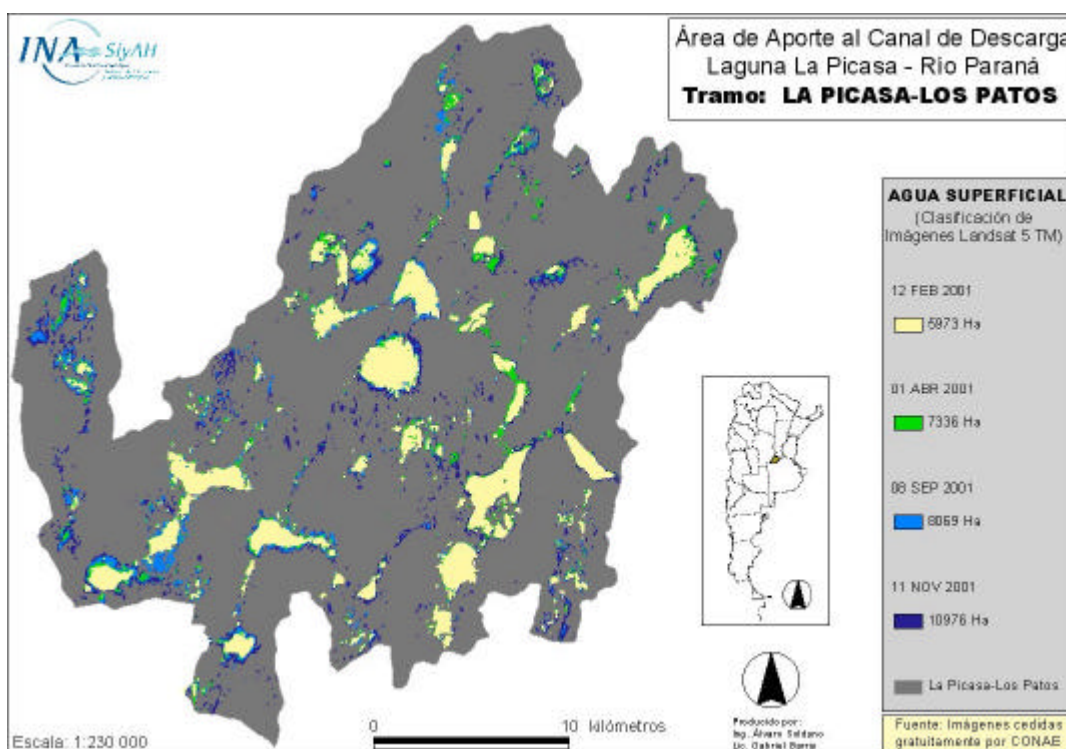


Figura 4. Evolución cobertura superficial de agua. Fuente INA-SIyAH

En la figura N° 5 a modo ilustrativo se presenta la evolución temporal de la superficie de la subcuenca N° 1. Año 2001.

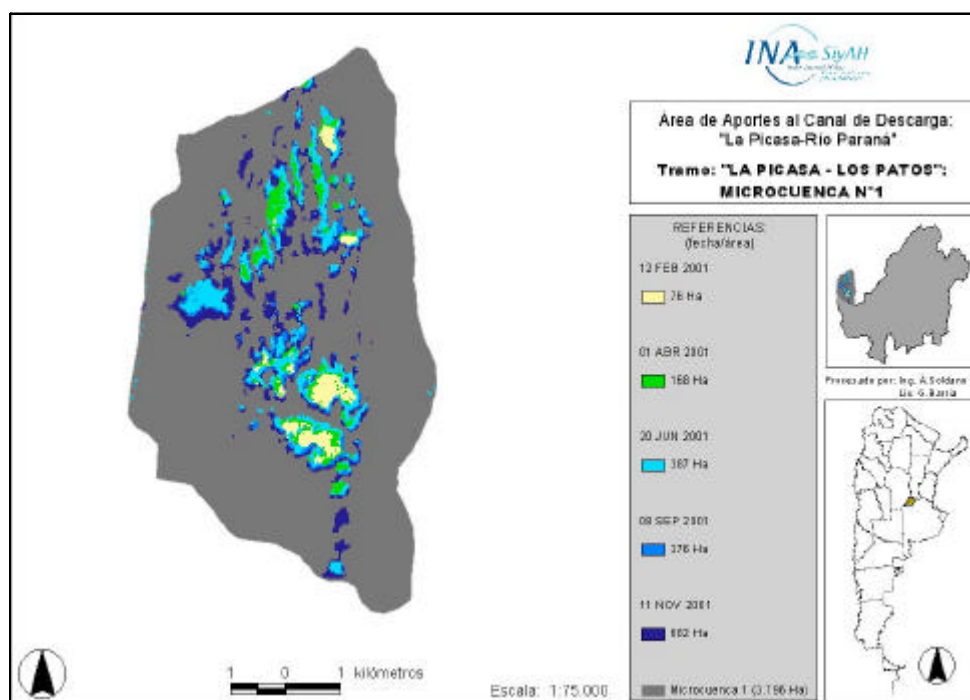


Fig N° 5 Evolución temporal subcuenca N° 1. Año 2001. Fuente INA-SIyAH

Tramo Los Patos –Los Patos- Quirno-empalme Juncal El Pelao

Para evaluar las interferencias que genera el canal hasta su conexión con el arroyo Pavón, se determinaron los parámetros de diseño, discriminándose las áreas cuyos aportes son incorporados al canal de los que no lo son y si la descarga es de tipo puntual o distribuida.

En este tramo la traza del canal de derivación de excedentes de laguna La Picasa hacia el río Paraná, genera interferencias del flujo en subcuencas que tienen un escurrimiento en sentido normal a dicha traza, por lo que las de mayor magnitud serán salvadas y las menores incorporadas al canal.

Para las áreas cuyos aportes no son incorporados por el canal, se determinaron además los emplazamientos de las obras hidráulicas de paso (sifón o alcantarillas).

Los caudales de diseño fueron determinados utilizando el modelo ARHYMO, para tormentas de diseño de duraciones comprendidas entre 12 y 24 hs y recurrencias de diseño (Tr: 10 años) y de verificación (50 años).

Tramo canal Alcorta- Arroyo Pavón

Los aportes correspondientes al tramo nacientes canal Alcorta-A. Pavón se determinaron a partir de la serie de caudales medidos en Coronel Bogado, próximo a la desembocadura del A. Pavón. Para ello se asume que la contribución porcentual en términos de volumen de cada una de las áreas es simétrica en relación a las superficie de las mismas.

El tramo comprendido entre nacientes del canal Alcorta – A. Pavón en las condiciones actuales no tiene capacidad alguna para incorporar volúmenes adicionales de agua por lo que se considera como hipótesis, que deberá ser redimensionado casi en su totalidad, para dotarlo de una capacidad de conducción del orden de los 20 m³/seg.

Siguiendo igual criterio que en los tramos anteriores se analizaron los escenarios correspondientes a los años 1999 y 2001.

RESULTADOS

Tramo La Picasa –Los Patos

En el cuadro adjunto se presenta una síntesis comparativa de las variables hidrológicas utilizadas en la modelación y sus resultados, correspondientes a ambos escenarios.

	Año 1999	Año 2001
Precipitación (mm)	949	1412
Pérdidas	793	1023
Esc. Directo	155	388
Flujo base(mm)	127	220
Esc. Total(mm)	283	609

El modelo SMA (soil moisture accounting) calcula con paso de tiempo diario, los valores almacenamiento en cada uno de los cinco reservorios, y las respectivas variables de transporte. Una salida gráfica de una de las subáreas calculadas se observa en la figura N° 6.

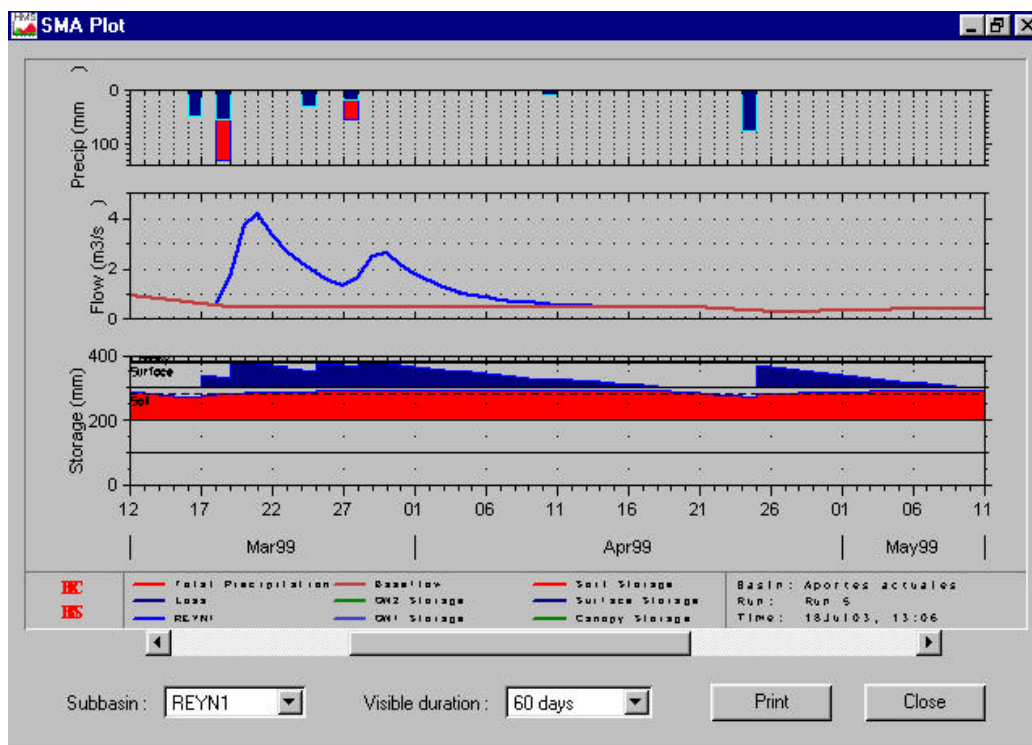


Figura 6. Salida gráfica modelo SMA subcuenca Reynoso 1.

El conjunto de lagunas interconectadas entre sí por la traza del canal, tienen una gran capacidad de regulación y atenuación de los caudales picos. Los caudales picos de ingresos son atenuados entre un 70 y 200%.

Reservorio	Escenario Año 2001		Escenario Año 1999	
	Qpico ingreso (m ³ /seg)	Qpico salida (m ³ /seg)	Qpico ingreso (m ³ /seg)	Qpico salida (m ³ /seg)
T. Venado	23.1	6.3	15.8	5.7
La Infinita	27.5	8.8	18.3	6.2
M. Garcia	26.8	13.1	17.5	10
Los Patos	19.1	14	13.4	10.7

En las figuras N° 7 y 8 se presentan los respectivos hidrogramas de ingreso y salidas en laguna Los Patos para los escenarios de los años 1999 y 2001.

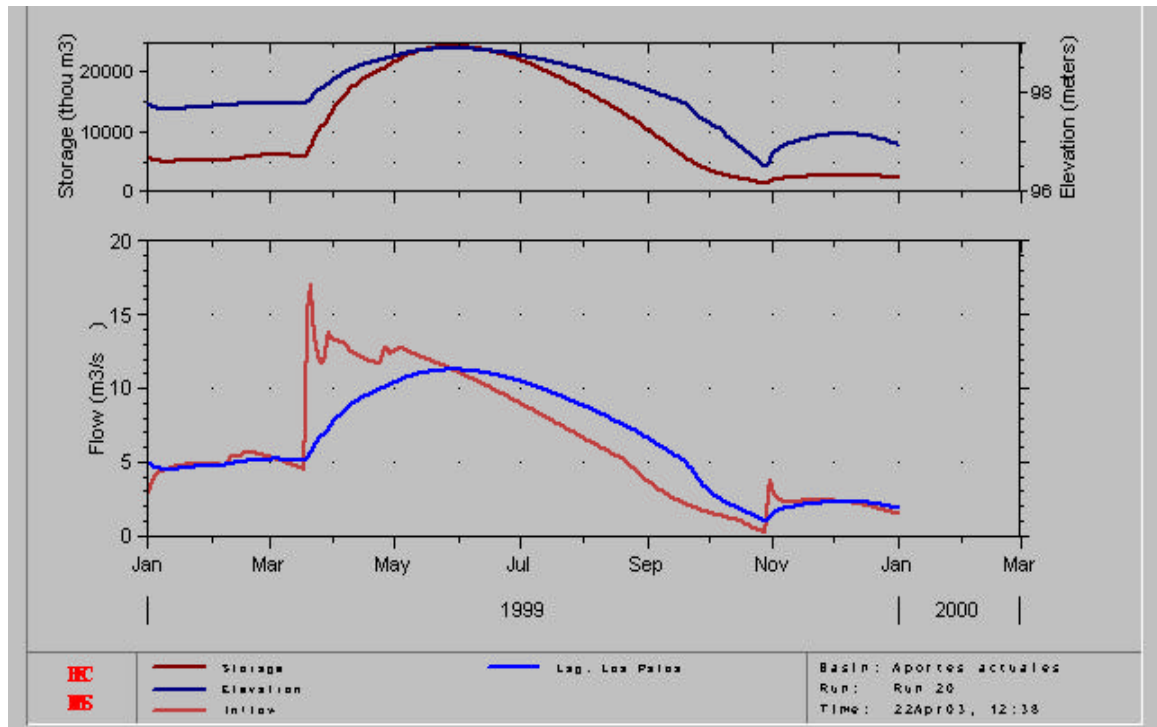


Figura 7. Relación altura -volumen laguna Los Patos. Hidrogramas de ingreso y salida. Escenario año 1999.

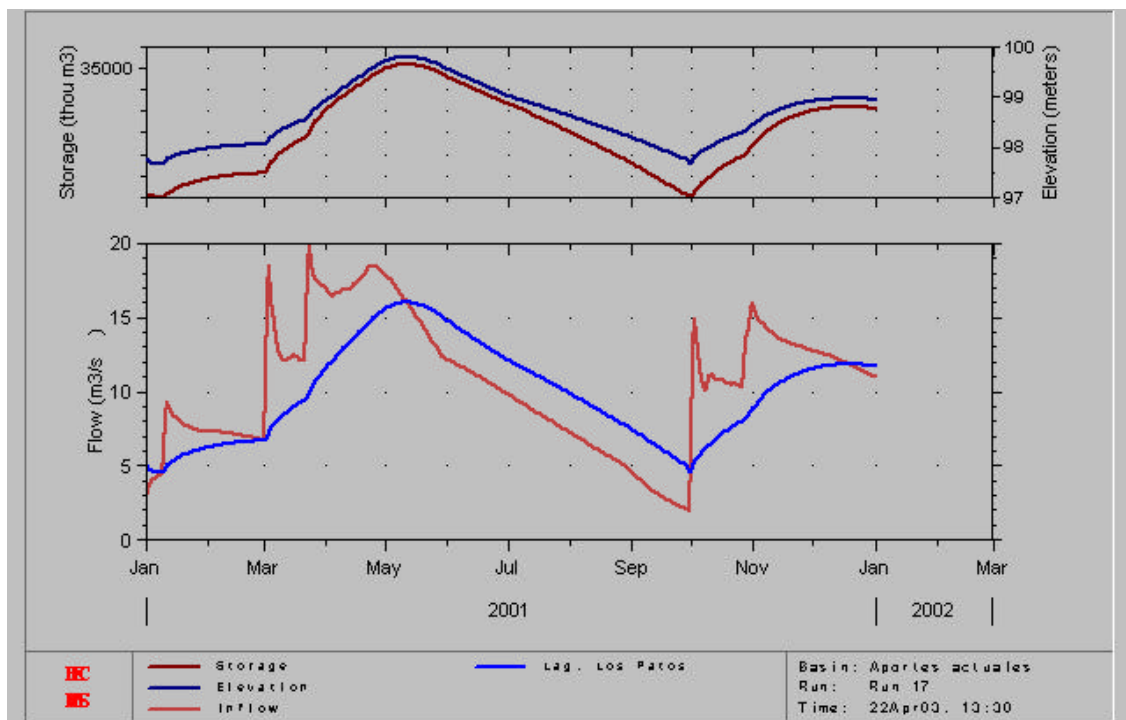


Figura 8. Relación altura - volumen laguna Los Patos. Hidrogramas de ingreso y salida. Escenario año 2001

En el cuadro adjunto se presenta un cuadro comparativo sobre las restricciones que presenta la incorporación de caudales de bombeo desde lag La Picasa, para los dos escenarios escogidos.

Situación	Año 1999	Año 2001
$Q > 5 \text{ m}^3/\text{s}$	El 50% de los 365 días del año, los caudales superan los $5 \text{ m}^3/\text{s}$	El 100% de los 365 días del año, los caudales superan los $5 \text{ m}^3/\text{s}$.
$Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$	Durante 2 meses los caudales son superiores a los $10 \text{ m}^3/\text{s}$	Durante 6 meses los caudales son superiores a los $10 \text{ m}^3/\text{s}$
$5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$	4 meses	6 meses
Volumen de bombeo	En el periodo en que los Q son inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, se podrían incorporar $116 \text{ Hm}^3/\text{año}$ desde La Picasa por bombeo.	En el periodo en que los Q son inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, se podrían incorporar $40 \text{ Hm}^3/\text{año}$ desde La Picasa por bombeo.
	Para una ppt = 950 mm escurren 283 mm (30% lo que equivale a $192 \text{ hm}^3/\text{año}$)	Para una ppt = 1412 mm escurren 609 mm (56% lo que equivale a $400 \text{ hm}^3/\text{año}$)
Volumen de escurrimiento	Escorrentía media: 283.6 mm equivale a $6 \text{ m}^3/\text{s}$; $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ es esc. Directo y $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$ flujo base.	Escorrentía media: 609 mm equivale a $13 \text{ m}^3/\text{s}$; $8.3 \text{ m}^3/\text{s}$ es esc. Directo y $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$ flujo base.

Tramo Los Patos –Los Patos- Quirno-empalme Juncal El Pelado

A partir de las tormentas de diseño se determinaron los hidrogramas de crecidas de diseño, para cada uno de los subtramos.

En cada una de las áreas de aportes interceptadas por el canal se diferenciaron aquellas de que descargan en forma puntual de las que lo hacen en forma distribuida a lo largo el canal.

A modo ilustrativo en el cuadro adjunto se presenta una síntesis de los resultados obtenidos para el subtramo Los Patos- Quirno.

CAUDALES INCORPORADOS Y NO INCORPORADOS AL CANAL

TRAMO: LOS PATOS - QUIRNO

CAUDALES INCORPORADOS AL CANAL

Denominación	Areas aporte (km^2)	Tipo de descarga	Aporte	TR: 10 años	TR: 50 años	
				Caudal pico (m^3/s)	Caudal pico (m^3/s)	Volumen (Hm^3)
M1	2	Distribuida	Cañada de Morgan	2.2	4.7	0.21
P2-(c+d)	11.5	Distribuida	El Porvenir	5.9	12.4	1.22
Z1	4.5	Distribuida	Cañada de Zallio	2.9	6.2	0.5
Z3	4.6	Distribuida	Cañada de Zallio	2.9	6	0.5
subtotal área	22.6					2.43
Q	137.3	Distribuida	Aportes directo laguna	----		14.6

CAUDALES NO INCORPORADOS AL CANAL

M1	34.5	Puntual	Cañada de Morgan	12.4	28.4	3.87
P1-a	18.5	Distribuida	El Porvenir	7.1	17.1	1.6
P1-(b+c)	55.8	Distribuida	El Porvenir	7.6	22.9	3.9
P2-a	9	Distribuida	El Porvenir	6.3	13.2	0.95
P2-b	6.1	Distribuida	El Porvenir	5.1	10.7	0.65
M2	20	Puntual-dist	Cañada de Morgan	12.2	25.4	2.17
Z2	9.8	Distribuida	Cañada de Zallio	5	10.5	1.04
Z1	19.3	Puntual	Cañada de Zallio	8.3	17.4	2
subtotal área	173					

Cruce traza canal	1406	puntual	Las emcademadas	21	37.5	
-------------------	------	---------	-----------------	----	------	--

Tramo canal Alcorta- Arroyo Pavón

A partir de una readecuación de la sección del cauce, se podría incorporar un volumen anual de 420 Hm³ para años característicos como el 2001 y 1999 respectivamente.

Contrastando los escenarios de 1999 y 2001 los caudales máximos de este último año, superan ampliamente los de 1999. No obstante, dada las características físicas de la cuenca que producen una rápida respuesta y buen drenaje de esta subcuenca, la cantidad de días con caudales de estiajes es muy similar para ambos escenarios. Esto hace que el volumen admisible de importar sea similar para ambas situaciones: 440 hm³ en 1999 y 420 hm³ en el 2001.

CONCLUSIONES

- El canal en el tramo La Picasa -Los Patos, si bien permite el desagüe de una superficie de 681 km², la operación de los volúmenes de bombeo desde La Picasa está condicionada a los aportes propios que recibe en el tramo y a la capacidad de recepción del sistema aguas abajo.
- En situaciones de excesos hídricos extraordinarios similares a los del año 2001, durante los 365 días del año (100%), un 50% de la capacidad de conducción del canal estaría afectada al drenaje de los aportes colectados. En tanto para situaciones de años normales (escenario año 1999), el 50% de la capacidad de conducción del canal estaría afectada 180 días del año (50%) con aportes locales.
- Para una situación similar al escenario del año 2001, durante 6 meses se producirían excesos hídricos que generarían caudales superiores a los 10 m³/seg. La incorporación de un volumen adicional por bombeo desde La Picasa, superaría la capacidad de conducción del canal que es de 10 m³/seg.
- Para una situación ideal en que el canal mantenga un flujo continuo de 10 m³/seg, en años normales, el 40% correspondería a volúmenes de bombeo desde La Picasa y el 60% a volúmenes incorporados de las áreas de aportes.

- En el tramo Los Patos- Quirno-empalme Juncal El Pelao, la mayor parte de los aportes son salvados con alcantarillas y sifones. De un área total de aportes de 2240 km², solo 148 km² son interceptados e incorporados por el canal.
- Las características físicas de la cuenca del A. Pavón, que es receptor de los caudales bombeados desde La Picasa, da lugar a una rápida respuesta y buen drenaje de esta subcuenca. Por tal razón, la cantidad de días con caudales de estiajes es muy similar para escenarios como el de 1999 y 2001; lo que hace que el volumen admisible de importar sea similar para ambas situaciones: 440 hm³ en 1999 y 420 hm³ en el 2001.
- La mayores restricciones en cuanto a volúmenes y tiempos de bombeo se presenta en el tramo La Picasa- Los Patos. La magnitud de los aportes que colecta el canal en este tramo si bien permite el drenaje de éstas áreas condiciona los volúmenes de bombeo desde La Picasa extendiendo los tiempos de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

Giacosa, R; Lenzi, L.; Paoli, C. (2004). *“Capitulo IV Estudios hidrológicos Proyecto Descarga de la laguna La Picasa al río Paraná.”*

Giacosa, R. (2002) *“Evaluación hidrológica e hidráulica del Arroyo del Medio”*. INA-CRL .

Goniadzki, D.; Horlent, N.; Soldano, A.; Barria, G. (2004) *“Procesamiento de imágenes Landsat 5 TM para la evaluación de coberturas de agua superficial en lagunas de la subcuenca La Picasa-Los Patos”*. Proyecto Descarga laguna La Picasa al río Paraná.

Paoli, C., Cacik P. ,Morresi, M. (1998) *“Consistencia en la determinación de crecidas de diseño por transformacion lluvia-caudal y analisis de frecuencia”*. XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Méjico

Subsecretaría de Recursos Hídricos . Estadísticas hidrológicas.

US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. (2002) *Hydrologic Modeling System. HEC-HMS*