

---

# **INCIDENCIA DEL EMBALSE DE SALVAJINA SOBRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES DEL RÍO CAUCA EN SU VALLE ALTO**



**Carlos Ramírez Callejas, M.Sc.**

Profesor Titular

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales  
y del Ambiente

Grupo de investigación Hidromar, Universidad del Valle  
[caramir@univalle.edu.co](mailto:caramir@univalle.edu.co)

**Santiago Santacruz, Ing.**

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales  
y del Ambiente

Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Ricardo Andrés Bocanegra, Ing.**

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales  
y del Ambiente

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

**María Clemencia Sandoval, M. Sc.**

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -  
CVC

## **RESUMEN**

El embalse de Salvajina se localiza sobre el río Cauca, en el departamento del Cauca, al sur de Colombia. En el presente estudio, realizado conjuntamente por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Universidad del Valle, se analizan los efectos de la operación del embalse sobre el régimen de caudales en el valle alto del río Cauca. Inicialmente se realizó un análisis comparativo de los caudales mínimos y máximos antes y después de la entrada en operación del embalse. Se confirma el régimen pulsátil en los flujos del río impuesto por la operación del embalse, principalmente en las estaciones más próximas a la represa. Luego, mediante la aplicación de un modelo matemático hidrodinámico, se simuló los caudales e inundaciones que se habrían presentado en el tramo de estudio si no existiese la represa y para las condiciones actuales. El contraste de estos escenarios evidencia el efecto regulador del embalse al reducir durante el invierno los caudales, la frecuencia de los desbordamientos y la

*\*Recibido: Agosto 10 2010 \*septiembre 8 2010*

---

extensión de las áreas inundadas, al igual que el incremento de los caudales diarios durante el verano con lo cual se produce un alivio en la contaminación del río y una mayor disponibilidad de agua para los distintos usos. Finalmente se analiza el efecto de la regulación sobre la relación Nivel-Caudal, especialmente en las estaciones más próximas al embalse, tornando la anterior relación de tipo simple a otra de tipo compleja.

## PALABRAS CLAVE

Salvajina, Río Cauca, Modelación matemática, Regulación de caudales

## ABSTRACT

*Salvajina reservoir is located on Cauca River, Cauca department, at southern Colombia. In this study, performed together by Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca and the Universidad del Valle, the effects by the reservoir operation over the flow rates at the Cauca River High Valley are analyzed. At front, a comparative analysis of maximum and minimum flow rates, before and after the reservoir operation starting was made. It confirms the pulse regime of flow rates at the river, which is have been imposed by the reservoir operation, mainly at the closest gauge stations to the reservoir. Next, using a hydrodynamic numerical model, the flow rates and flooding events that had occurred without the dam, and those who actually occurred on current conditions were simulated. The contrast from these two conditions makes evident the ruling effect by the reservoir as it reduce the flow rate peaks, the frequency, and the flooding extent on the rainy season; also increase the lowest flow rates on the dry season, decreasing, this way, the pollutant concentration downstream. At last, the effect of flow rates ruling over the rating curve atage-discharge turns a simple relation to a complex one, mainly at the upper gauge stations.*

## KEYWORDS

Salvajina, Cauca River, Numerical modeling, flow rates ruling

## 2. INTRODUCCIÓN

El embalse de Salvajina, primer embalse multipropósito en Colombia, está ubicado al norte del departamento del Cauca y forma parte del Proyecto de Regulación del Río Cauca, diseñado y construido por la CVC con el propósito de mitigar los desbordamientos del río en su valle alto, incrementar los caudales bajos durante el verano para la dilución de la carga contaminante vertida y generar energía hidroeléctrica. Dada su importancia para el desarrollo económico de la región, tras 25 años de operaciones y de registros hidrométricos en el río Cauca, la CVC consideró pertinente analizar su incidencia sobre el régimen de caudales del río y la efectividad de su operación para reducir las inundaciones y aliviar la contaminación del río (CVC-UV, 2007a,b; EPSA, 2006).

El proyecto de Regulación del río Cauca consideró de manera integral, además de la construcción del embalse de Salvajina por parte de la CVC, la construcción de diques, estaciones de bombeo y canales de drenaje por parte de los propietarios de los predios ribereños del río Cauca ubicados aguas abajo del embalse.

En aquellos sitios donde los propietarios no han construido las obras de la planicie pueden presentarse desbordamientos. Por tanto, la CVC siempre ha recomendado a los agricultores realizar la protección correspondiente a las obras en la planicie requeridas en el diseño inicial del Proyecto de Regulación del río Cauca.

Las crecientes posteriores a la entrada en operación del embalse de Salvajina han permitido evaluar la mitigación de los eventos sobre el valle geográfico gracias a la regulación desde la presa, pero también han evidenciado que la falta de obras en la planicie de inundación no ha podido garantizar la protección de diseño (período de retorno de 30 años) del Proyecto de Regulación.

En periodos de estiaje la operación del embalse busca en lo posible mantener un caudal mínimo en el río Cauca para la dilución de contaminantes, mientras que en invierno la necesidad de reducir el riesgo de inundación de áreas ocupadas obliga a realizar una cuidadosa regulación de las crecientes desde Salvajina [CVC-UV, 2007b]. La Figura 1 ilustra la zona de estudio y la localización del embalse y las estaciones hidrométricas consideradas.

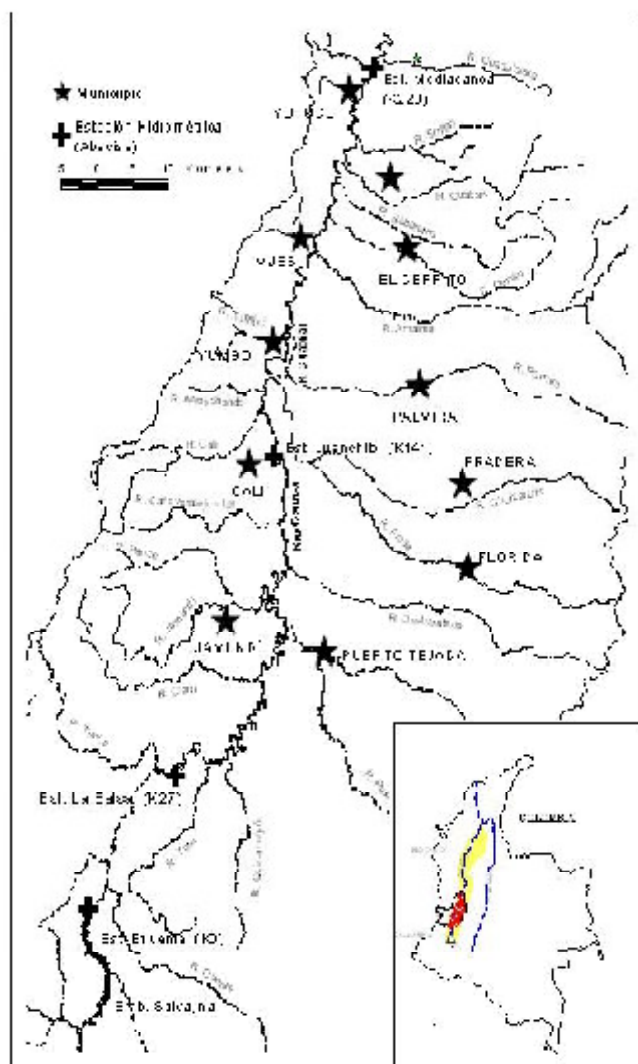


Figura 1 Mapa de la zona de estudio Tramo: Salvajina - Mediacanoa

donde recibe el aporte de ríos tributarios y flujos subterráneos que incrementan considerablemente su caudal. Estas condiciones confieren al río Cauca características de cauce trezado o intermedio en el sector de Salvajina – La Balsa (27 km) y meándrico entre La Balsa y Mediacanoa (193 km).

En este estudio se realizó un análisis de los cambios en los caudales característicos (máximos y mínimos diarios, curvas de duración, etc.) en el río Cauca tras el inicio de operaciones del embalse y del nuevo régimen horario de caudales a lo largo del tramo evaluado. Posteriormente se definió un índice de incidencia que relaciona el

caudal aportado (o retenido) efectivamente por el embalse y aquel que habría transitado por el río sin regulación. Este último fue determinado con un modelo hidrodinámico 1D (MIKE 11) calibrado y validado para el río Cauca. Luego, se presentan las diferencias entre las áreas inundadas calculadas con el modelo considerando los caudales regulados y no regulados de una creciente histórica del río, y finalmente se analizan los efectos del nuevo régimen en las curvas de calibración Nivel – Caudal para el río Cauca.

### 3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS PRE-SALVAJINA Y POST-SALVAJINA

El primer análisis se basa en los registros históricos de caudal en las estaciones hidrométricas Juanchito (K141+151) y Mediacanoa (K223+320), diferenciando los periodos previo y posterior al año 1985, cuando se inician las operaciones del embalse (en adelante referidos como periodos *Pre-Salvajina* y *Post-Salvajina*, respectivamente). La comparación de los caudales diarios máximos y mínimos y sus valores medios mensuales, las curvas de frecuencias acumuladas de los dos periodos y el análisis del nuevo régimen pulsátil de caudales instantáneos muestran las diferencias más relevantes en el régimen de caudales del río Cauca en su valle alto tras el inicio de operaciones del embalse.

Los resultados de este análisis comparativo evidencian cambios sistemáticos de los caudales mínimos y máximos registrados aguas abajo y una menor frecuencia de caudales extremos durante el periodo post-Salvajina. No obstante, dichas tendencias de cambio no se pueden atribuir exclusivamente a la operación del embalse puesto que existen otros factores naturales y antrópicos (e.g. variabilidad y cambio climático, procesos morfológicos del río, construcción de diques marginales, extracciones de materiales del lecho, cambios en los usos del suelo de la cuenca, etc.) que también afectan los regímenes de caudales y de niveles del agua, y cuya cuantificación es prácticamente imposible.

#### Caudales mínimos

Los caudales mínimos diarios y sus respectivos promedios mensuales en los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina para las estaciones hidrométricas de Juanchito

### CAUDALES MÍNIMOS

### CAUDALES MÁXIMOS

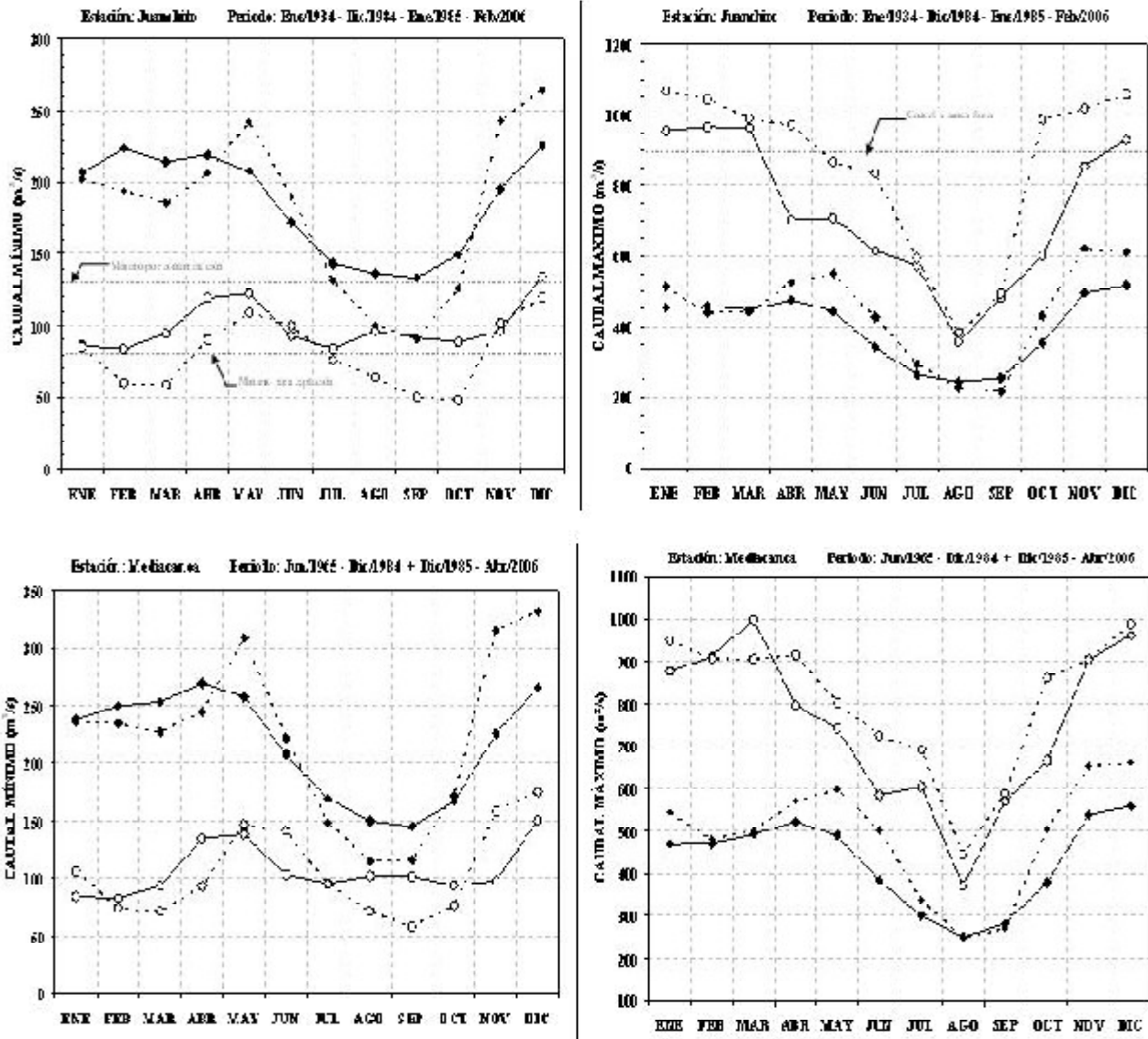


Figura 2 Caudales mínimos y máximos mensuales multianuales

y Mediacaño se presentan en la Figura 2. Para el periodo Post-Salvajina es notable el incremento con respecto al periodo Pre-Salvajina, tanto de los caudales mínimos mensuales multianuales como de sus valores medios durante los periodos de verano (febrero – marzo

y julio - septiembre) y la reducción de su rango de variación. En el periodo Pre-Salvajina los promedios de los caudales mínimos mensuales multianuales en Juanchito variaron entre 91 y 265 m<sup>3</sup>/s (rango de 174 m<sup>3</sup>/s) y en Mediacaño entre 115 y 331 m<sup>3</sup>/s (216 m<sup>3</sup>/s),

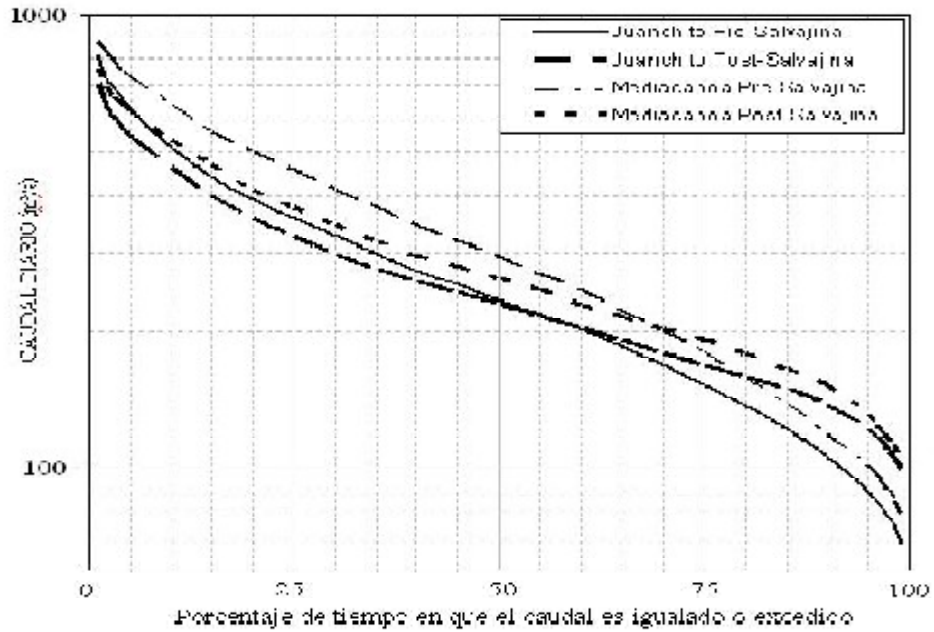


Figura 3 Curvas de duración de caudales diarios Estaciones Juanchito y Mediacanoa Periodos: Pre-Salvajina y Post-Salvajina

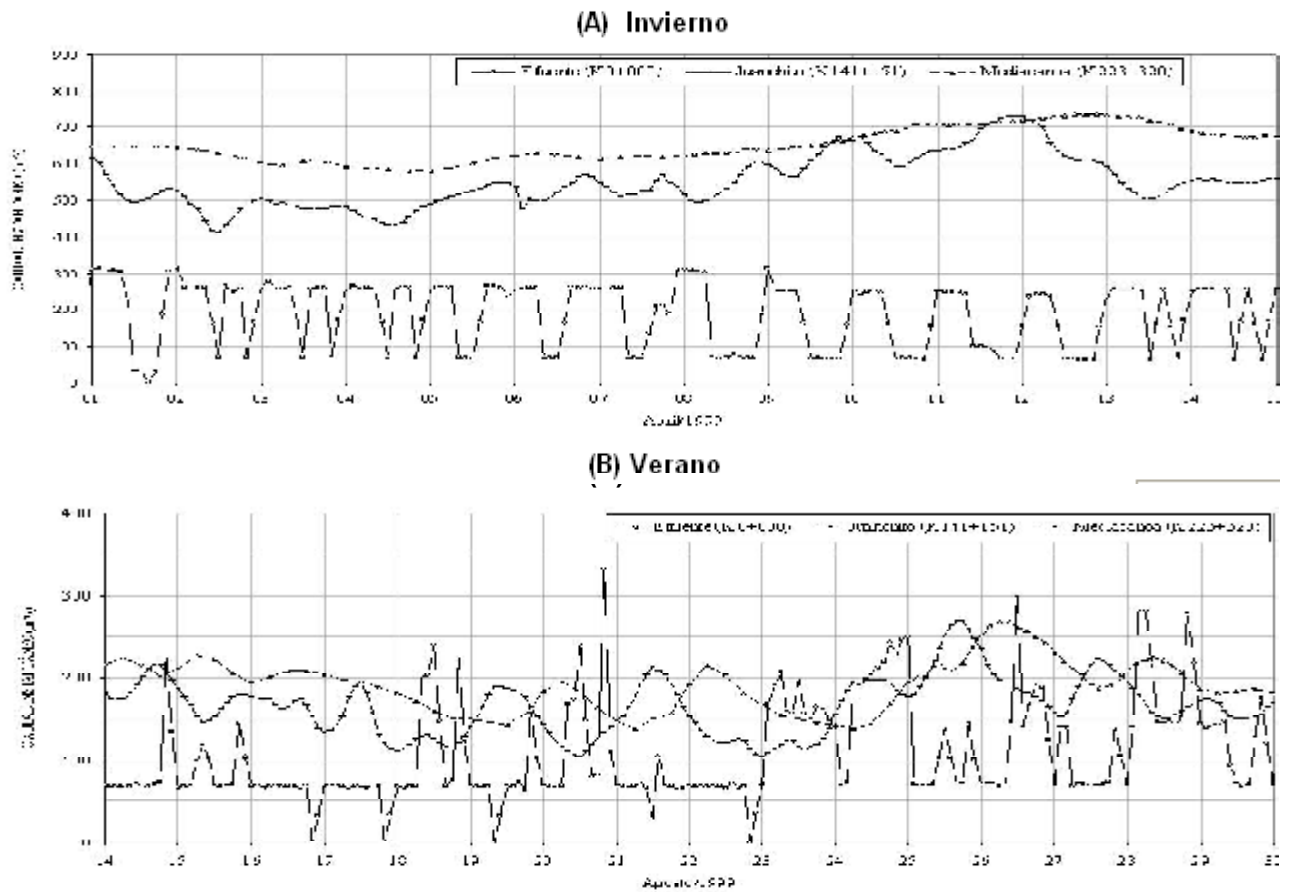


Figura 4 Régimen pulsátil del río Cauca (Año 1999)

respectivamente, mientras que tras el inicio de operaciones del embalse los mismos variaron entre 134 y 225 m<sup>3</sup>/s en Juanchito (rango de 91 m<sup>3</sup>/s) y entre 145 y 269 m<sup>3</sup>/s en Mediacanoa (rango de 124 m<sup>3</sup>/s).

También se destaca que en el periodo Post-Salvajina todos los promedios mensuales de los caudales diarios mínimos superan el caudal más bajo recomendado para el control de la contaminación por dilución a la altura de Juanchito (130 m<sup>3</sup>/s) y que los caudales diarios mínimos garantizaron suficiente caudal para la captación de agua del acueducto de Cali (80 m<sup>3</sup>/s en Juanchito). El cumplimiento de estas restricciones en los meses más secos del año no se garantizaba en el periodo Pre-Salvajina, lo cual constituye un importante logro de la operación del embalse.

El aumento de los caudales mínimos en el río Cauca en el tramo de estudio y su homogenización a lo largo del año desde el inicio de operaciones del embalse de Salvajina constituyen una clara muestra de su incidencia en la regulación de caudales en cumplimiento de uno de sus objetivos fundamentales como es incrementar los caudales más bajos del río Cauca, durante los meses de verano, para garantizar un caudal mínimo para la captación de agua para consumo humano en Juanchito y aumentar la capacidad de dilución de la carga contaminante en el río.

### **Caudales máximos**

Respecto a los caudales máximos mensuales de los periodos de registros (Figura 2) se destaca la disminución significativa durante el periodo Post-Salvajina en invierno (abril - junio y octubre - diciembre) en ambas estaciones hidrométricas. En el mes de noviembre se encuentra la mayor diferencia entre los promedios de los caudales máximos mensuales multianuales, los cuales se redujeron de 621 a 495 m<sup>3</sup>/s (DQ = 126 m<sup>3</sup>/s) en Juanchito y de 654 a 539 m<sup>3</sup>/s (DQ = 115 m<sup>3</sup>/s) en Mediacanoa.

También se observa que con la operación del embalse en promedio se redujeron de siete (enero - abril y octubre - diciembre) a cuatro (enero - marzo y diciembre) los meses con caudales diarios superiores al de banca llena en la estación Juanchito (900 m<sup>3</sup>/s). Estos cambios del régimen hidrológico implican una menor frecuencia y magnitud de los desbordamientos del río Cauca, como estaba previsto. No obstante este efecto regulador se

reduce gradualmente hacia aguas abajo en la medida en que los aportes de los ríos tributarios incrementan los caudales y niveles de agua en el río Cauca (CVC-UV, 2007a).

Estaciones Hidrométricas: Juanchito (K141+151) y Mediacanoa (K223+352)

### **Curvas de duración de caudales diarios**

El incremento sistemático de los caudales más bajos y la reducción general de los caudales más altos en el río Cauca en su valle alto durante el periodo Post-Salvajina también se refleja en las curvas de duración de caudales diarios (Figura 3). La curva Post-Salvajina presenta una menor pendiente entre los percentiles 10 y 90, lo cual implica una mayor homogeneidad de los caudales diarios así como una menor frecuencia y magnitud de los caudales extremos.

### **Régimen pulsátil de caudales horarios**

Por ser el río Cauca en el tramo de estudio un cauce aluvial los regímenes naturales de caudales y niveles tendrían una respuesta lenta ante los cambios hidrológicos en su cuenca y afluentes. De este modo, cada una de las crecientes y sequías del río Cauca podrían tener una duración de días o incluso semanas en condiciones normales. Esta condición necesariamente cambia con el inicio de la generación hidroeléctrica, dado que en respuesta a la demanda diaria de energía se producen, en periodos de horas, variaciones significativas en las descargas del embalse y, en consecuencia, en los caudales y niveles de agua, especialmente en las zonas más próximas al embalse. En la Figura 4 se ilustra esta situación con los registros de dos periodos diferentes de invierno y verano del año 1999.

La estación Efluente, donde se registra el caudal que sale del embalse (Figura 4A), presenta una hidrógrafa con pulsos claramente marcados con periodicidad de hasta 12 horas. Sin embargo, en el invierno en la estación Mediacanoa este efecto es casi imperceptible debido a la amortiguación de la onda por el tránsito a lo largo del río y los aportes de los afluentes. En el verano (Figura 4b), cuando los caudales de los tributarios del río Cauca son bajos, el régimen pulsátil se refleja incluso en dicha estación, distanciada 223 km del embalse, aunque con alguna atenuación de los caudales máximos por



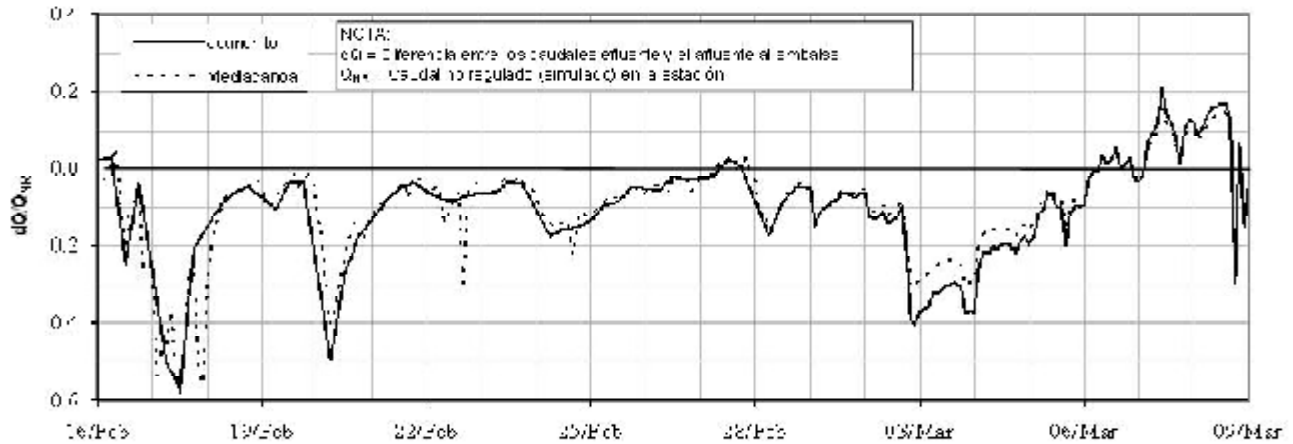


Figura 5 Índice de incidencia del embalse Salvajina y caudales diarios regulados y no regulados en el río Cauca Periodo: Febrero – marzo de 1999 (Invierno)

el tránsito de la onda.

La variación de caudales y niveles en el río, asociados al régimen pulsátil descrito, puede incidir en los procesos sedimentológicos, morfológicos, de calidad del agua y ambientales y, por lo tanto, deben ser cuidadosamente monitoreados e investigados. Es de aclarar que a partir del año 2004 se impuso una nueva restricción a la operación del embalse que limita a dos el número de turbinas que pueden entrar o salir de operación en menos de 24 horas, con lo cual se atenúan las variaciones máximas de caudal aguas abajo del embalse.

#### 4. INCIDENCIA DEL EMBALSE DURANTE EVENTOS EXTRAORDINARIOS DE INVIERNO Y VERANO

Si bien los análisis anteriores evidencian tendencias de

cambio en el régimen de caudales en el río, no permiten determinar en qué medida estos cambios se deben a la operación del embalse de Salvajina o a variaciones en otros factores determinantes de los caudales como el régimen de lluvias, la cobertura vegetal en la cuenca o el aporte de los tributarios.

Con el fin de cuantificar el efecto del embalse se compararon los caudales en diferentes estaciones para las condiciones regulada (registros históricos posteriores a 1985) y no regulada (i.e. sin el embalse). Ésta última se obtuvo mediante simulación numérica, considerando como condición de frontera superior los caudales en el río Cauca afluentes al embalse de Salvajina, utilizando para ello un modelo hidrodinámico 1D calibrado y validado para el río Cauca (CVC-UV, 2007d). El análisis que se presenta se efectuó para un periodo de invierno (año 1988) y otro de verano (año 1998) durante los cuales se registraron caudales extraordinarios en las estaciones Juanchito y Mediacanoa.

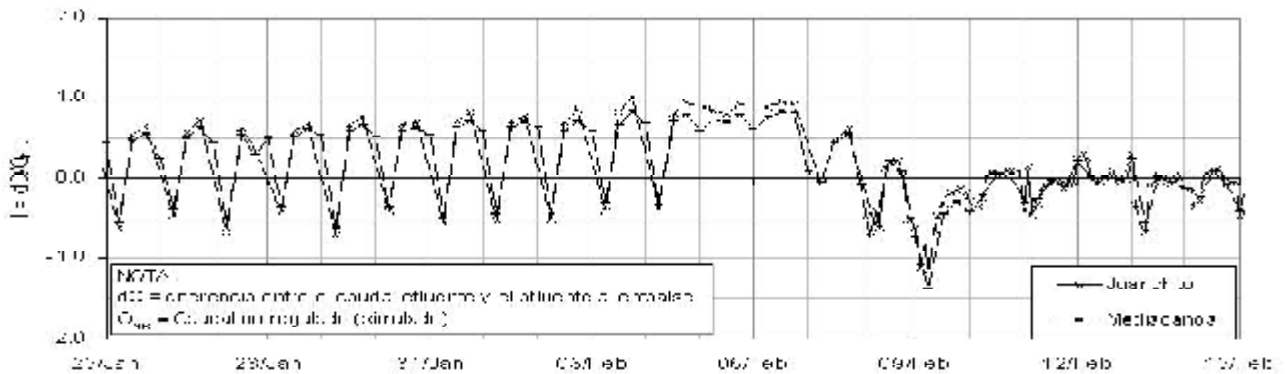


Figura 6 Índice de incidencia del embalse Salvajina y caudales diarios regulados y no regulados en el río Cauca Periodo: enero – febrero de 1998 (Verano)

Para estimar el efecto del embalse sobre el régimen natural de caudales se empleó el *Índice de Incidencia (I)*, definido como la relación entre la diferencia de los caudales efluente y afluente del embalse y el caudal no regulado que se habría presentado si no existiese el embalse. Éste representa en qué medida el embalse contribuye a aumentar o reducir el caudal (natural o no regulado) en el río. Matemáticamente esta relación se expresa como:

$$I = \frac{Q_e - Q_a}{Q_{NR}}$$

donde  $Q_e$  es el caudal efluente del embalse ( $m^3/s$ ),  $Q_a$  es el caudal afluente al embalse ( $m^3/s$ ) y  $Q_{NR}$  es el caudal no regulado en una estación hidrométrica ( $m^3/s$ ). Por tanto,  $I < 0$  indica que hubo un almacenamiento de agua en el embalse puesto que el caudal afluente es mayor que el efluente, mientras que  $I > 0$  representa un incremento en el caudal en el río por la mayor descarga desde el embalse de Salvajina. Asimismo, el grado de incidencia del embalse sobre el caudal natural o no regulado es proporcional al valor absoluto de  $I$ .

### Incidencia del embalse en invierno

El periodo de invierno seleccionado comprende los meses de febrero y marzo de 1999, cuando se registraron caudales extremos ( $\sim 1000 m^3/s$ ) en el tramo de interés. La comparación de las series de tiempo de los caudales registrados (regulados) y simulados (no regulados o naturales) muestra cambios apreciables en las estaciones evaluadas. Así, en la estación Juanchito (K141+151) el día 18 de febrero la operación del embalse redujo el caudal máximo de  $905 m^3/s$  a  $748 m^3/s$  ( $I =$

$17\%$ ); mientras que en la estación Mediacanoa (K223+320) el día 19 de febrero lo disminuyó de  $990 m^3/s$  a  $716 m^3/s$  ( $I = -27\%$ ) (Figura 5).

Los valores negativos del índice de incidencia  $I$  (i.e.  $Q_a > Q_e$ ) en Juanchito y Mediacanoa indican que hubo un almacenamiento considerable de agua en el embalse, especialmente durante los primeros días del periodo evaluado, cuando los valores medios de  $I$  alcanzaron mínimos de  $-0.54$  y  $-0.58$ , respectivamente. Esto significa que el embalse almacenó durante algunas horas casi el  $60\%$  del caudal que se habría presentado (sin regulación) en Juanchito y Mediacanoa. Sólo al final del periodo evaluado se observan valores del índice mayores a cero, lo cual corresponde a una operación de liberación de volumen de exceso que el embalse ha almacenado durante los anteriores eventos de crecientes.

### Condición de verano

Durante el periodo de verano evaluado (Figura 6), la mayor parte del tiempo el embalse realizó aportes significativos, como se deduce del incremento progresivo (y pulsátil) del índice de incidencia ( $I$ ) desde  $0.5$  a  $1.0$  entre los días 25 de enero y 08 de febrero de 1998 en las estaciones Juanchito y Mediacanoa, respectivamente. De esta forma, el embalse permitió casi duplicar en algunos momentos el caudal natural del río. Sólo cuando los caudales en el río se recuperaron por encima de los  $100 m^3/s$  (08 – 11 de febrero) los valores de  $I$  cayeron por debajo de cero, esto es, se almacenó agua en el embalse para recuperar los volúmenes liberados días antes. Luego, cuando el caudal del río Cauca se estabilizó en cerca de  $150 m^3/s$  (11 – 15/febrero) el valor de  $I$  se aproximó a cero, por tanto durante estos días el embalse no afectó drásticamente el régimen natural de caudales. Un importante beneficio del embalse durante este perio-

Tabla 1. Áreas inundadas por la creciente de febrero – marzo de 1999 bajo condiciones reguladas y no reguladas del caudal del río Cauca. Tramo: Yumbo – Toro (CVC-UV, 2007a)

Condición del Río Cauca	Área Inundada (ha)								
	Tramo								
	K147 K181	K181 K207	K207 K259	K259 K289	K289 K305	K305 K336	K336 K366	K366 K407	Total
Regulado	1746	1353	3512	854	1365	2489	713	2421	14454
No Regulado	2888	1773	4512	905	1609	2725	715	3282	18410
Reducción área (ha)	1142	419	1000	51	244	236	2	861	3956
Diferencia relativa (%)	40	24	22	6	15	9	0	26	21



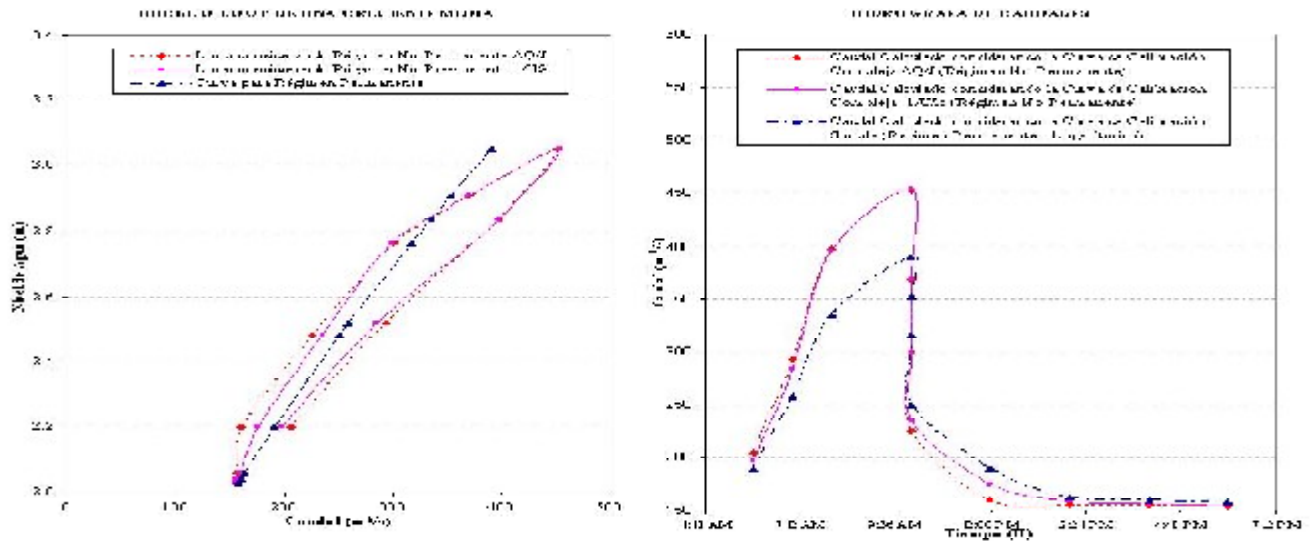


Figura 7 Caudales en el río Cauca a partir de curvas de calibración simples y complejas Estación La Balsa Fecha: 1 de enero de 1999 (CVC-UV, 2002)

do crítico de verano fue la descarga adicional suministrada por el embalse que permitió incrementar los caudales naturales en el río Cauca, para atender la demanda de agua para el abastecimiento de Cali durante todo el periodo analizado. Gracias a este aporte entre los días 25 de enero y 08 de febrero de 1998 el caudal medio en Juanchito fue de 93.4 m<sup>3</sup>/s y no de 76.7 m<sup>3</sup>/s, garantizando así el mínimo necesario para la operación de la bocatoma del acueducto de la ciudad de Cali aún durante las pocas horas en que se restringió la generación de energía y en consecuencia las descargas de agua desde Salvajina. Sin ese aporte, el caudal medio en Juanchito habría sido menor al mínimo operativo (80 m<sup>3</sup>/s) durante 16 días consecutivos, con consecuencias muy graves de desabastecimiento de agua para cerca de 2 millones de personas e importantes industrias de la región.

### 5. REDUCCIÓN DE ÁREAS INUNDADAS

La diferencia entre las áreas que podrían inundarse durante el invierno para las condiciones reguladas y no reguladas constituye otro indicador importante de la incidencia del embalse sobre el río Cauca y su efectividad para la protección de las zonas más bajas contra inundaciones. Con base en los resultados de la modelación hidrodinámica de la creciente de febrero – marzo de 1999 y el modelo digital de elevaciones del terreno obtenidos en desarrollo de la Fase III del proyecto

PMC, se implementó el modelo MIKE 11GIS para generar los mapas de inundaciones. Estos mapas indican las áreas que se habrían inundado en el tramo Yumbo – Toro (aprox. 230 km) durante la creciente de febrero – marzo de 1999 si no se hubiese construido la represa de Salvajina y se compararon con los mapas de inundación correspondientes a la situación con caudales regulados (CVC-UV, 2007d).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 1), el área inundada en el tramo Yumbo - Toro por la creciente de febrero – marzo de 1999 es 14.454 ha en la condición de caudales regulados (i.e. con embalse) y de 18.410 ha para la condición de caudales no regulados (i.e. sin embalse), lo cual evidencia, una vez más, un efecto positivo al lograrse la reducción mediante la operación del embalse de las áreas afectadas por los desbordamientos del río en este sector en cerca de un 21%.

Adicionalmente se consideraron los niveles de agua y los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (10, 25 y 100 años) tanto para la condición regulada como no regulada del río (CVC-UV, 2007a). Los resultados mostraron una fuerte reducción en los niveles de agua máximos y en los caudales máximos debido a la operación del embalse de Salvajina.

### 6. EFECTOS SOBRE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

La programación diaria de las descargas de agua de la

represa de Salvajina para los propósitos de regulación de caudales en el río Cauca y generación hidroeléctrica impone la mayor parte del tiempo un régimen de caudales muy dinámico en el río, originando caudales mayores a los del régimen permanente cuando el nivel de agua asciende y menores durante los descensos.

De esta forma, se produce un almacenamiento en el tramo que se refleja en un bucle o "loop" en la relación gráfica Nivel-Caudal, fenómeno conocido como histéresis. Por esta razón, durante una creciente en un mismo nivel de agua se presentan dos caudales diferentes (un caudal mayor cuando el nivel de agua asciende y un caudal menor cuando el nivel de agua desciende). Tal relación se puede representar por medio de una curva de calibración H-Q y una curva auxiliar que considere los diferentes aspectos que la puedan afectar, como la que se presenta en la Figura 7 para la estación La Balsa (CVC-UV, 2002).

## 7. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los caudales mínimos y máximos registrados en el río Cauca en el tramo comprendido entre el embalse de Salvajina y la estación hidrométrica de Mediacanoa (K223+320) evidencia cambios sistemáticos importantes en el régimen de caudales del río Cauca tras el inicio de operaciones del embalse, como son: (i) la reducción de los caudales máximos en invierno; (ii) el incremento sensible de los caudales mínimos durante los meses de verano a lo largo del tramo de estudio, lo cual ha permitido garantizar el caudal mínimo necesario para la captación de agua de la ciudad de Cali; y, (iii) una menor frecuencia de caudales extremos durante el periodo Post-Salvajina.

No obstante dichas tendencias de cambio no se pueden atribuir exclusivamente a la operación del embalse ya que existen otros factores en la cuenca que pueden afectar los regímenes de caudales y de niveles del agua en el río, cuya cuantificación es prácticamente imposible.

Como consecuencia de la operación del embalse, el régimen natural, de carácter aluvial, que presentaba el río Cauca hasta el año 1985, ha sido transformado en uno de tipo pulsátil en escala horaria, con variaciones significativas del caudal en el río. Estos pulsos de agua son muy marcados en la proximidad del embalse y se atenúan gradualmente hacia aguas abajo debido al aporte de los afluentes del río Cauca y al tránsito de la

onda, especialmente durante el invierno. En los periodos de verano los pulsos generados en Salvajina se propagan mayores distancias debido a la reducción de los caudales de sus afluentes. Los cambios horarios de caudales y niveles en el río asociados al régimen pulsátil pueden incidir en los procesos sedimentológicos, morfológicos, de calidad del agua y ambientales, y por lo tanto deben ser cuidadosamente monitoreados e investigados

El efecto de la operación del embalse de Salvajina sobre el régimen de caudales del río Cauca se establece mediante el Índice de incidencia ( $I$ ), cuya evaluación en un periodo crítico de verano muestra el incremento significativo de los caudales en las estaciones Juanchito y Mediacanoa debido a la liberación de agua almacenada en el embalse, duplicando por algunas horas el caudal que habría transitado naturalmente por el río Cauca, garantizando así el caudal mínimo requerido para la captación de agua de la ciudad de Cali. A su vez, durante el invierno el almacenamiento de agua en el embalse redujo significativamente los caudales más altos en el río, los cuales habrían superado los 1000 m<sup>3</sup>/s en las estaciones Juanchito y Mediacanoa.

El índice de incidencia ( $I$ ) en este caso muestra que el caudal máximo retenido por el embalse representó el 51% y 48% de los caudales que habrían transitado sin regulación por el río Cauca en estas estaciones, respectivamente (aprox. 497 m<sup>3</sup>/s). De otra parte, las simulaciones del tránsito de la creciente de febrero – marzo de 1999 para caudales no regulados y regulados mostraron una reducción del 21% del área inundada en el tramo de 230 km entre los municipios de Yumbo y Toro, Valle del Cauca.

La operación del embalse de Salvajina originó una dinámica de variación de los niveles de agua, las profundidades, los gradientes, los caudales y demás parámetros, la cual se refleja con mayor intensidad en las estaciones hidrométricas más próximas al embalse.

Esta dinámica generó una relación compleja entre los niveles de agua y los caudales (fenómeno de histéresis), por lo cual la relación presenta un bucle (o "loop") que indica que un nivel dado corresponde a un cierto caudal durante el ascenso de la onda de la creciente y a otro caudal cuando la onda desciende. Por esta razón, las curvas de calibración Nivel – Caudal en las estaciones más próximas al embalse (La Balsa, Tablanca, La Bolsa, Hormiguero) deben ser del tipo complejas, compuestas por una relación simple H-Q y una curva auxiliar que considere la dinámica de los flujos en el río.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2002). Determinación y análisis comparativo de curvas de calibración Nivel – Caudal aplicando diferentes metodologías en las estaciones hidrométricas del río Cauca. Tramo Salvajina – Mediacanoa. Proyecto de Modelación del Río Cauca – PMC, Fase II, Volumen XVI. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2007a). Análisis de la incidencia de la operación del embalse de Salvajina sobre el río Cauca. Tramo Salvajina – Mediacanoa. Proyecto de Modelación del Río Cauca PMC, Fase III, Volumen XV. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2007b). El río Cauca en su valle alto: Un aporte al conocimiento de uno de los ríos más importantes de Colombia. 400 p. il. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2007c). Estudio de los caudales afluentes y efluentes del embalse de Salvajina. Proyecto de Modelación del Río Cauca – PMC, Fase III, Volumen V. Santiago de Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca , Universidad del Valle (2007d). Optimización del modelo hidrodinámico y generación de mapas de inundación. Tramo Yumbo - Toro. Proyecto de Modelación del Río Cauca – PMC, Fase III, Volumen XV. Santiago de Cali, Colombia.

Empresa de Energía del Pacífico - EPSA (2006). Carta enviada a CVC. Código GG-057-2006 de Febrero 06 del 2006. Santiago de Cali, Colombia.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.