

## XV SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA – MEDELLÍN 2002

### USOS DEL SUELO EN LA ZONA INUNDABLE DEL RIO SAN CARLOS, COLOMBIA

Ana Cecilia Arbeláez A.<sup>1</sup>, Lilian Posada G.<sup>2</sup> y María Victoria Vélez O.<sup>3</sup>

*Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

#### RESUMEN

Se analizó la aptitud de usos del suelo desde el punto de vista geomorfológico y analizaron los niveles de inundación para diferentes períodos de retorno y, aplicando los conceptos de riesgo y vulnerabilidad hidrogeomorfológica, se determinó el uso más apropiado de la planicie de inundación del río San Carlos al nororiente del departamento de Antioquia (Colombia). Las zonas más atractivas para un desarrollo urbanístico se encuentran en el tramo aluvial (de unos 7 kilómetros de longitud y 200 m de ancho, aproximadamente) ubicado en la zona media de la cuenca; en la longitud restante, el valle es estrecho y el canal está controlado por roca. Los procesos erosivos se observan en todo el canal; sin embargo, el río está encajonado en el tramo inferior y presenta incisión en el tramo anterior a la zona aluvial.

#### ABSTRACT

The most appropriate use of San Carlos's river floodplain, located at the north eastern region of Antioquia state (Colombia), was determined by analyzing the potential aptitude of the land from the geomorphologic point of view, the flood stages for different return periods, and by applying the concepts of hydrologic risk and geomorphologic vulnerability. An alluvial reach of approximately 7 km long and 200 m wide, located in the middle zone of the drainage area is the most attractive zone for urban development; for the remaining length of the river, the valley is narrow and the channel is controlled by rock. Erosion processes are present in the whole length of the river but entrenchment processes were observed in the lower reach while incision is observed in the upper reach of the alluvial zone.

---

<sup>1</sup> Profesora, Universidad del Cauca; email: acarbela@ucauca.edu.co

<sup>2</sup> Profesora Asociada; email: lposada@perseus.unalmed.edu.co

<sup>3</sup> Profesora Asociada; email: mvvelez@perseus.unalmed.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Las zonas inundables o adyacentes a los cauces fluviales son muy atractivas para los desarrollos urbanísticos. La utilización de dichas zonas, sin considerar los límites naturales necesarios para evacuar las crecientes, ha contribuido a amplificar el efecto negativo de las inundaciones, que en algunos casos dejan consecuencias trágicas.

En este trabajo se aplica al río San Carlos (Colombia) una metodología para determinar los retiros mínimos a los cauces naturales basada en el criterio de vulnerabilidad hidrogeomorfológica, asociada con la geomorfología, hidrología e hidráulica y se sugiere el uso más apropiado de la planicie inundable.

## INFORMACIÓN BÁSICA

La cuenca del río San Carlos, localizada al oriente del departamento de Antioquia, aproximadamente a 120 km de Medellín tiene un área de 134 km<sup>2</sup>, una pendiente promedio de 27% y una altitud promedio de 1000 m sobre el nivel del mar; la zona tiene un clima templado, con una precipitación promedio multianual de 4000 mm.

Los principales usos del suelo son de tipo agrícola, caracterizados por pequeños cultivos en laderas, pastos para ganadería y algunas zonas cubiertas con bosque secundarios. La cuenca de estudio comprende la cuenca que drena al embalse Punchiná del proyecto hidroeléctrico de San Carlos, el cual ocupa el primer lugar en capacidad instalada (1240 Mw) de generación eléctrica en Colombia.

En la Figura 1 se presenta la localización de la cuenca del río San Carlos; la cabecera municipal está ubicada a orillas del río, a 10 km del nacimiento. El caudal medio del río San Carlos es 14 m<sup>3</sup>/s y su longitud es 27 km. El río corre por un canal encañonado controlado por roca en la parte alta y en la parte final antes de entregar sus aguas al embalse de Punchiná. Sólo en la zona media, en una longitud de 7 km, se presentan depósitos aluviales del cuaternario y es allí donde el río logra ampliar un poco su valle.

En la última década las condiciones hidráulicas del río han sido modificadas por eventos naturales excepcionales como es el caso de la avalancha de las quebradas La Arenosa y Betulia, ocurrida el 20 de septiembre de 1990 y por acciones antrópicas como el trasvase de caudal (6.7 m<sup>3</sup>/s) desde la cuenca del río Calderas desde 1992. *Mejía y Velásquez* [4] indican que la avalancha fue producida por una lluvia muy intensa (231 mm en 3 horas) concentrada en la parte alta de la cuenca (11 km<sup>2</sup>), arrasó gran parte del bosque natural, destruyó parcialmente puentes, obras civiles y la casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico de Calderas, causó la incisión del cauce (hasta 20 m en la quebrada Betulia) en la zona aluvial, mientras que en la zona controlada por roca permitió la depositación de grandes bloques de roca provenientes de las laderas sujetas a erosión. El cauce en la quebrada Betulia se amplió de 5 m x 3 m a 30 m x 20 m. Durante el evento se removieron aproximadamente 350000m<sup>3</sup> de material producto de la erosión en la parte alta de la cuenca; se movilizaron bloques hasta de 8 m de diámetro.

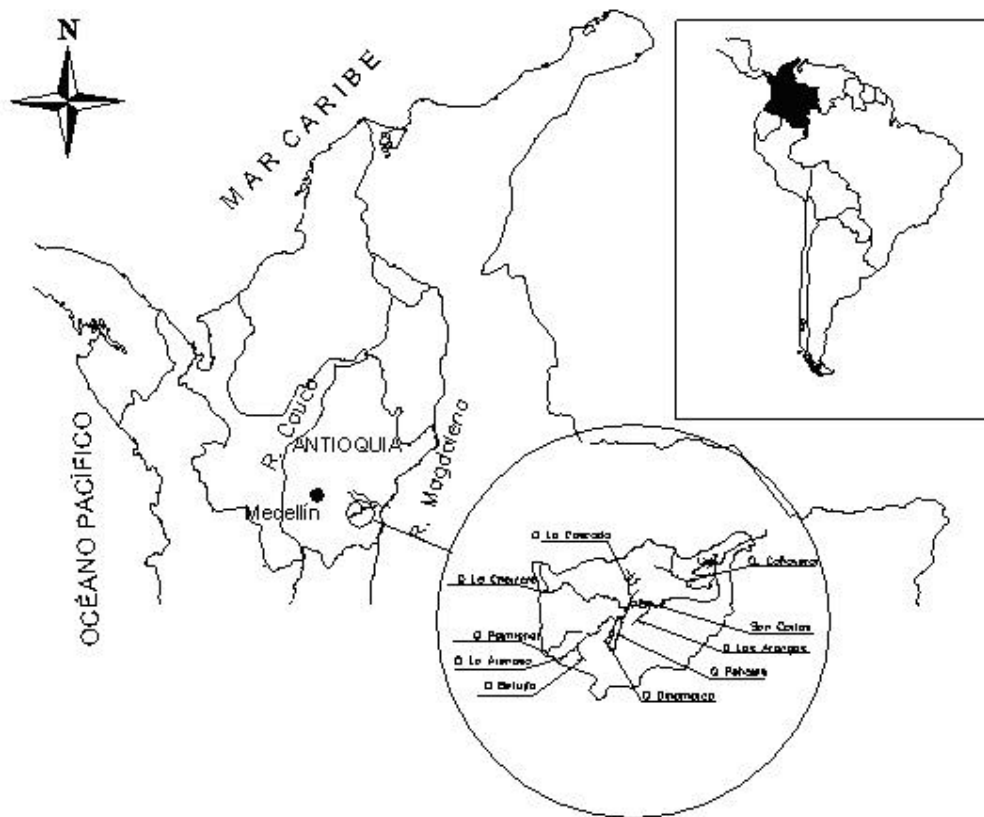


Figura 1. Localización de la zona de estudio

## ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El relieve de la cuenca (Figura 2) se construyó a partir de la cartografía disponible escala 1:25000, con detalle de las curvas de nivel cada 50 m; se puede observar que las vertientes más altas y con mayores pendientes del relieve se encuentran localizadas en la ladera nor-occidental, donde nacen las quebradas La Chorrera y La Cascada. Las quebradas Arenosa y Betulia nacen en la vertiente sur-occidental de la cuenca, con pendientes y alturas menores que las quebradas antes mencionadas. Se aprecia el control estructural al alineamiento del río, que obliga un giro de 90°, ejercido, por las laderas orientales. El río discurre encañonado en un tramo de 3.8 km aproximadamente, desde su nacimiento hasta la confluencia de la quebrada La Palmichala; en la zona media se aprecia un valle amplio en una longitud aproximada de 7 km, que se encañona nuevamente hasta el final de la cuenca, [2]. En las partes encañonadas las rocas de las vertientes y lecho son cuarzodioritas rocas características del Batolito Antioqueño, mientras que el tramo medio los materiales del lecho y planicie están constituidos por conglomerado típico del depósito aluvial.

Debido a la creciente de La Arenosa gran parte del cauce del río San Carlos presenta incisión del lecho; se determinó que el 80% de las secciones analizadas presentaban valores de la relación de encajonamiento<sup>4</sup> menores de 1.4 [5], indicando un grado de incisión alto; en algunas zonas puntuales (K7+500, K12+360, K15+350, K20+670, K23+970) la relación de encajonamiento supera 1.4. La forma de la sección transversal es prácticamente rectangular y su ancho varía según los sectores analizados.

<sup>4</sup> Cociente entre los anchos para crecientes con recurrencias de 100 y 2.33 años

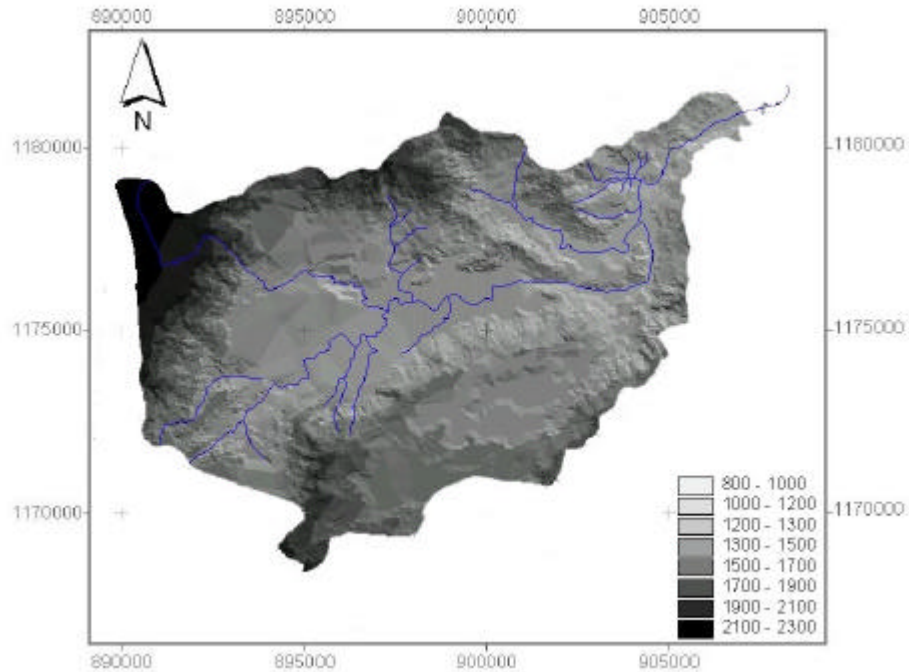


Figura 2. Relieve de la cuenca río San Carlos.

El perfil del río San Carlos se muestra en la Figura 3; se pueden apreciar cambios fuertes en la pendiente longitudinal que coinciden con variaciones en la forma del valle (Figura 2), en la litología y en la composición del material del lecho y se detectan también en el alineamiento horizontal (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Estos cambios permiten separar cuatro sectores con características similares, que facilitan la delimitación y reglamentación de la zona inundable.

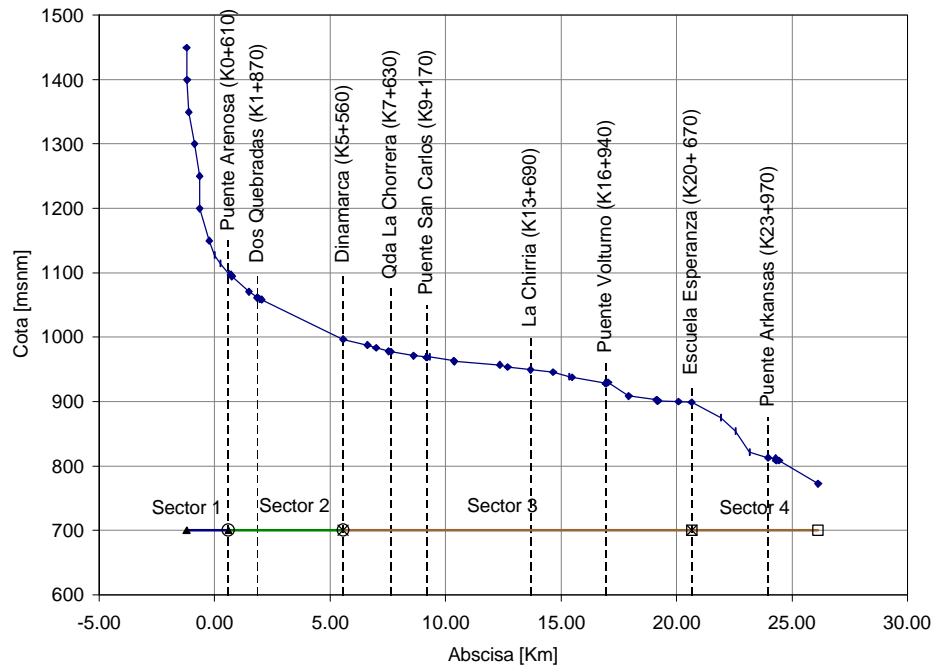


Figura 3. Perfil longitudinal del río San Carlos.

Entre el nacimiento y la Escuela Arenosa (K0+610) el cauce se caracteriza por tener pendientes muy altas (19%), alineamiento recto, valle encañonado; entre la Escuela Arenosa y el sector denominado Dinamarca (K5+560) la pendiente disminuye considerablemente (2%) pero el alineamiento sigue siendo predominantemente recto con una sinuosidad de 1.1. Posteriormente, entre Dinamarca y la Escuela La Esperanza (K20+670) se encuentra un tramo aluvial, donde la pendiente disminuye a un valor promedio de 0.65%, el alineamiento es sinuoso ( $S = 1.5$ ) y el valle es muy amplio. Finalmente, desde la Escuela La Esperanza hasta la cola del embalse Punchiná (K26+140) la pendiente del canal aumenta nuevamente hasta un valor de 2.6%, el río drena por un valle altamente encañonado con un alineamiento recto controlado por una falla.

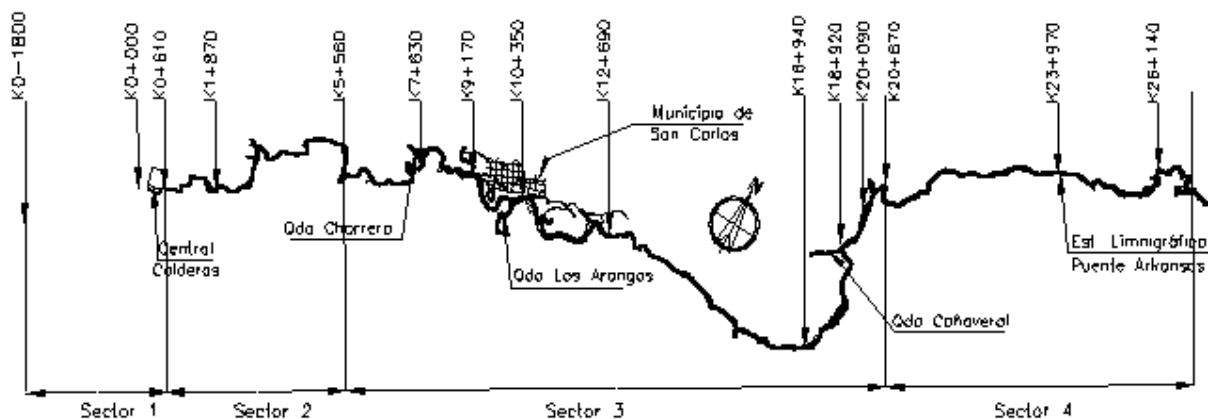


Figura 4. Vista en planta del río San Carlos

## ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para el análisis hidrológico se dispone de 16 años de registros limnigráficos en la estación Puente Arkansas, localizada un kilómetro aguas arriba del embalse Punchiná. Adicionalmente, se cuenta con registros pluviográficos en 6 estaciones localizadas al interior de la cuenca y en sus alrededores. Se verificó la calidad de la información hidrológica antes de aplicar diferentes metodologías para la determinación de eventos extremos de baja frecuencia.

Con datos simultáneos en el tiempo de las 6 estaciones pluviográficas cercanas y de la estación limnigráfica de Puente Arkansas, se calibró en la cuenca una hidrógrafa unitaria con el método de mínimos cuadrados [6]

En la Tabla 1 se presentan los caudales obtenidos en la estación Puente Arkansas, para los periodos de retorno seleccionados, después de aplicar diferentes metodologías: análisis de frecuencia (distribuciones Gumbel y Log Normal de dos parámetros [3]; hidrógrafas unitarias sintéticas, HUS, (SSC, Snyder, Williams y Hann, [6]); hidrógrafa unitaria propia de la cuenca (mínimos cuadrados); método racional probabilístico y métodos de regionalización de parámetros estadísticos media y desviación estándar [7] y Grádex [1].

En el caso particular del río San Carlos los caudales obtenidos por las diferentes metodologías presentan resultados dispersos entre sí. Para la modelación hidráulica se seleccionó el caudal obtenido por análisis de frecuencia, bajo esta consideración, las hidrógrafas unitarias sobrestiman los caudales y las metodologías de Regionalización (Parámetros estadísticos, Índice de creciente y Grádex) subestiman los caudales.

Tabla 1. Caudales (m<sup>3</sup>/s) estimados para el río San Carlos, estación Puente Arkansas.

MÉTODO	Período de retorno (años)		
	25	50	100
Análisis de frecuencia (Log Normal)	690.7	785.3	881.3
Análisis de frecuencia (Gumbel)	699.3	790.5	881.1
HUS – CS	1026.3	1187.5	1369.1
HUS – Snyder	902.8	1044.8	1204.8
HUS – Williams & Hann	1098.5	1272.4	1468.3
Mínimos cuadrados	806.8	944.8	1101.3
Racional probabilístico	369.7	409.1	452.9
Regionalización	513.5	562.9	612.0
Índice de crecientes	596.7	611.9	619.6
Grádex	594.8	608.8	622.9
Promedio	729.9	821.8	921.3

## ANÁLISIS HIDRÁULICO

La respuesta hidráulica del río San Carlos fue consistente con la caracterización geomorfológica realizada previamente; en los tramos con pendiente fuerte y controlados por roca, el flujo fue principalmente supercrítico, mientras que en el tramo aluvial el flujo resultó subcrítico. Los resultados de la evaluación hidráulica permiten identificar las zonas susceptibles a las inundaciones y cuantificar la magnitud de la velocidad y profundidad del flujo en las zonas inundables.

En los tramos de flujo supercrítico, para el caudal con un período de retorno de 100 años, las velocidades en el canal varían entre 3.5 m/s y 16.2 m/s, con un valor promedio de 7.7 m/s; en los tramos subcríticos, la variación es entre 0.9 m/s y 6.9 m/s, con un promedio de 3.5 m/s, para la misma frecuencia del caudal. La capacidad hidráulica para evacuar las crecientes con períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, es excedida según se describe a continuación.

- K0+700, desbordamiento del flujo hacia la margen izquierda, alcanzando una máxima extensión inundada de 20 m con una profundidad aproximada de 2 m; el flujo es subcrítico.
- K1+870, puente Dos Quebradas no tiene capacidad hidráulica.

- K7+540, sector de Alcatraz, desbordamiento hacia la margen derecha en una longitud máxima de 60 m para unas profundidades aproximadas de un metro.
- K12+360, sector El Popo, se encuentra el área inundada de mayor extensión, alcanzado una anchura de 200 m y profundidades de flujo en la zona inundada alcanzan valores de 2.5 m; el régimen de flujo es subcrítico.
- K20+670, Aguas abajo de la escuela La Esperanza y K23+970, Puente Arkansas, se presentan inundaciones que ocupan una extensión de 45 m.

## VULNERABILIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA Y PROPUESTA DE USOS DEL SUELO.

Ante la presión por el uso que sufren las zonas aledañas a los cauces, se debe analizar cual puede ser su vocación más adecuada dependiendo de la magnitud y frecuencia de la inundación, clasificación geomorfológica de la corriente y magnitud de la velocidad y profundidad de flujo en la zona inundada. La Tabla 2 presenta unas categorías de vulnerabilidad de la planicie ante la inundación del río obtenida con criterios hidrogeomorfológico como el patrón de alineamiento, tipo de valle, pendiente (P), sinuosidad (S), relación de encajonamiento (r.e.) y propagación de la creciente [2].

Tabla 2. Vulnerabilidad a las inundaciones según el tipo de corriente

TC	Patrón de Alineamiento	Tipo de Valle	S	Gradiente P	r.e.	Creciente C	Vulnerabilidad
0	Recto	Encañonado	<1.2	0.04-0.1	<1.4	rápida	baja
1	Recto	Amplio	>1.2	<0.04	<1.4	lenta	baja
2	Sinuoso	Amplio	>1.4	<0.02	<1.4	lenta	baja
3	Recto	Encañonado Amplio	>1.2	0.02-0.04	1.4-2.2	rápida	media
4	Trenzado	Amplio	---	---	---	lenta	alta
5	Sinuoso	Amplio	>1.5	<0.02	>2.2	lenta	alta
6	Recto	Amplio	>1.2	<0.02	>2.2	lenta	alta
7	Trenzado	Abanico aluvial	----	----	----	rápida	alta

A partir de la Tabla 2, se clasificaron los diferentes tramos del canal del río San Carlos, según los criterios geomorfológicos y se obtuvo la correspondiente vulnerabilidad a la inundación en cada tramo, según se indica en la Tabla 3, donde C se refiere a la velocidad de propagación de la creciente,  $V_{max}$  y  $H_{max}$  son respectivamente la máxima velocidad y profundidad que alcanza el flujo cuando se presenta la creciente de los 100 años.

Los usos más aptos para las zonas ribereñas se determinan usando la clasificación obtenida en la Tabla 3, las velocidades y profundidades de flujo alcanzadas en la zona inundada, según la propuesta de [2]. A continuación se describen los usos recomendados para la planicie a lo largo del río.

Tabla 3. Clasificación de los tramos del río San Carlos, según características geomorfológicas e hidráulicas.

Abscisa	C	Vulnerabilidad	S	Valle	P (%)	r.e	TC	V <sub>max</sub> (m/s)	H <sub>max</sub> (m)
K0+000 - K1+500	Rápida	Baja	1.1	encañonado	3.8	1.2	0	N/A	N/A
K1+500-K1+870	Rápida	Media	1.2	encañonado	2.5	1.5	3	0.5	0.6
K1+870-K3+000	Lenta	Baja	1.3	amplio	1.75	1.2	1	N/A	N/A
K3+000-K5+560	Rápida	Baja	1.2	encañonado	1.75	1.2	0	N/A	N/A
K5+560-K12+690	Lenta	Baja	1.5	amplio	0.60	1.1	2	N/A	N/A
K6+630	Rápida	Media	1.5	amplio	0.65	1.8	3	1.3	0.2
K7+754.	Lenta	Media	1.5	amplio	0.65	1.8	3	0.5	1.0
K12+360 (El Popo)	Lenta	Alta	1.5	amplio	0.65	3.1	6	0.5	2.5
K12+690-K20+090	Rápida	Baja	1.2	encañonado	0.70	1.1	0	N/A	N/A
K20+090-K20+670	Rápida	Media	1.2	amplio	0.25	1.85	3	N/A	N/A
K20+670-K26+140	Rápida	Baja	1.1	encañonado	2.6	1.2	0	N/A	N/A

N/A: No aplica puesto que no se presenta inundación

- Las zonas aledañas a los tramos de corriente tipo TC = 0, altamente encajonados y encañonados (desde el nacimiento hasta K1+500; K3+000-K5+560; K12+690-K20+090; K20+670-K26+140) son poco atractivos para desarrollos urbanísticos, por lo que pueden ser utilizados para construcción de galpones, establos, vías carretables.
- Aguas arriba del Puente Dos Quebradas (K1+500-K1+850), el río San Carlos tiene un cauce moderadamente encajonado, indicando una corriente tipo TC = 3; se presentan desbordamientos hacia la margen derecha con profundidades de 0.6 m y velocidades del orden de 0.5 m/s. La corriente en este tramo es muy inestable y el paisaje se encuentra aún alterado a consecuencia de la creciente La Arenosa (septiembre de 1990), por lo que no se recomiendan construcciones en esta zona; en cambio, sería conveniente recuperar el paisaje adecuando la zona para parques recreativos y de ornamentación.
- Aguas abajo del Puente Dos Quebradas (K1+850-K3+000) la corriente está altamente encajonada, presenta un alineamiento recto y el valle es amplio, características típicas de las corrientes tipo TC = 1. No se presentan inundaciones de las márgenes, por lo que esta zona puede ser apta para cualquier tipo de construcciones. El retiro hasta la corriente estará condicionado a la estabilidad lateral de las orillas.
- La zona con mayor aptitud ambiental para futuros desarrollos urbanísticos está comprendida entre K5+560 (sector Dinamarca) y K12+690 (Puente La Cabaña), que incluye el actual casco urbano del municipio de San Carlos, puesto que en la mayor parte de su recorrido es tipo TC=2, con relaciones de encajonamiento muy cercanas a uno, indicando que la creciente de 100 años es contenida por el cauce actual. Para este tipo de corriente el retiro mínimo debe estar condicionado por la estabilidad lateral de las bancas ante deslizamientos.



Restricciones adicionales se deben tener en cuenta en:

- K6+630 (sector Peñoles) donde el cauce se encuentra medianamente encajonado (corriente tipo TC = 3), presentándose una leve inundación por la margen izquierda, que alcanza una longitud de 25 m, con velocidades de 1.3 m/s y profundidades cercanas a 0.20 m; el único uso que podría admitirse sería para parqueaderos pavimentados [2].
- En la zona de aproximación al puente Alcatraz (K7+754), la corriente es de tipo TC = 3 y presenta una situación similar a la descrita en el párrafo anterior. La inundación se presenta en la margen derecha, alcanzando una extensión máxima de 60 m (caudal con recurrencia de 100 años) unas profundidades y velocidades aproximadas de un metro y 0.5 m/s respectivamente. Así, el uso más adecuado para esta zona es para parques lineales de recreación y ornamentación con sistemas de alarma o cierto tipo de cultivos.
- La mayor área inundada bajo las crecientes de 25, 50 y 100 años se presenta en el sector El Popo (K12+360), donde la mancha de inundación puede alcanzar un ancho de 200 m, profundidades de flujo entre 2.5 m y 1.5 m y velocidades cercanas a 0.5 m/s. Para estas condiciones de inundación, la restricción de uso es total, puesto que la zona ni siquiera es apta para cultivos debido a las grandes profundidades del flujo durante las crecientes.
- En el sector cercano a la escuela La Esperanza (K20+090-K20+670), aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Cañaveral, la corriente se clasifica TC = 3; se presentan desbordamientos al comienzo y al final del tramo. Sin embargo, la planicie de inundación por la margen derecha está por debajo de la cota de desborde del canal (que está justo en el nivel de la creciente de los 100 años) y, en caso que el flujo sobrepasara el canal, inundaría una extensión aproximada de 230 m con profundidades cercanas a un metro. Por las razones expuestas anteriormente es recomendable que esta zona se destine para cultivos (que soporten dichas profundidades) y ganadería.

Finalmente, en aquellos sectores en los cuales no se presenta desbordamiento del canal, para la creciente con período de retorno de 100 años, y en los cuales la estabilidad lateral de las orillas indiquen retiros menores a 15 m, se debe considerar un retiro mínimo de 15 m para conservar el entorno paisajístico.

## **CONCLUSIONES**

Ante la presión existente por el uso de las zonas ribereñas, se debe determinar cuales usos son más adecuados según la magnitud y frecuencia de la inundación. Para ello se debe definir un riesgo admisible o aceptable, es decir una cierta frecuencia para la que se acepta se presente la inundación. El riesgo aceptable debe concertarse con los planificadores y los habitantes de la zona de interés. Adicionalmente, los usos estarán condicionados por la clasificación geomorfológica de la corriente y la magnitud de la velocidad y profundidad de inundación

El análisis geomorfológico permitió identificar los controles al flujo, procesos activos y pasivos en la cuenca y cauce; permite además, caracterizar la respuesta hidráulica a cambios impuestos en las corrientes. En el caso particular de la cuenca del río San

Carlos, el estudio geomorfológico realizado permitió detectar cuatro tramos con características geomorfológicas diferentes (pendiente, del lecho, alineamiento horizontal, forma del cauce, tipo de valle), coincidentes con variaciones en la geología de la cuenca, y por consiguiente con respuesta hidráulica diversa. Esta clasificación permitió determinar los diferentes tipos de corrientes presentes en el río San Carlos, y a partir de ésta y los resultados de la evaluación hidráulica, determinar el uso más adecuado para las zonas adyacentes al río.

El estudio de la hidrología permitió cuantificar la magnitud y frecuencia de las crecientes, a partir de la información histórica de caudales en la estación Puente Arkansas y utilizando metodologías regionales. La carencia de información hidrológica adecuada es un problema en la mayoría de las regiones colombianas. Inclusive cuando existen ciertos registros de precipitación y caudal, las series disponibles son cortas o se han procesado de forma inadecuada. La cuenca del río San Carlos no es la excepción, ya que los registros disponibles son de corta longitud (16 años) y se detectaron inconsistencias debidas probablemente al procesamiento inadecuado (deficiencia en la curva de calibración, registros faltantes tanto en la serie de caudal como en la de precipitación). Es necesario resaltar la importancia que representa la disponibilidad de información hidrológica en cantidad y calidad; es imperioso iniciar campañas de recolección de información y además mejorar las técnicas de procesamiento de los datos de campo, para que en el futuro no haya tanta incertidumbre con los estimativos de caudales utilizados para la delimitación de zonas inundables, diseño de obras hidráulicas, etc.

Los resultados del análisis hidráulico permitieron verificar un grado de incisión muy alto en el canal del río San Carlos en el tramo inicial, como consecuencia del evento de La Arenosa ocurrido en septiembre de 1990. Igualmente, se identificaron las zonas más susceptibles a las inundaciones.

Se presenta una propuesta de usos más adecuados en los diferentes tramos de corriente según la clasificación geomorfológica de la corriente y la magnitud de la velocidad y profundidad de la inundación (100 años de periodo de retorno) . Se destaca que los tramos altamente encañonados (desde el nacimiento hasta K1+500; K3+000-K5+560; K12+690-K20+090; K20+670-K26+140) no son atractivos para desarrollos urbanísticos, mientras que el sector comprendido entre K5+560 (sector Dinamarca) y K12+690 (Puente La Cabaña) es el más atractivo para desarrollos futuros, puesto que los valles son amplios, las laderas tienen pendientes suaves y el canal se encuentra altamente incisado, indicando que, en la mayor parte del tramo, el río tiene la capacidad para evacuar la creciente de 100 años.

## REFERENCIAS

1. Acosta, Z., Ruiz, D. 1997. "Adaptación del método Grádex en cuencas antioqueñas". Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín: [s.n], 157 p.
2. Arbeláez, A. 2001. "Delimitación y reglamentación de zonas Inundables. Aplicación Al Río San Carlos". Tesis de Magíster, Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
3. Kite, G W. 1988. "Frequency and Risk Analyses in Hydrology". Water Resources Publication, 257 p

4. Mejía, O y Velásquez, E. 1991. "Procesos y depósitos asociados al aguacero de septiembre 21 de 1990 en el área de San Carlos (Antioquia)". Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín: [s.n], 245 p.
5. Rosgen, D. 1996. "Applied River Morphology". Wildland Hydrology, Colorado.
6. Smith, R. 1997. "Modelos lineales del sistema cuenca: El Hidrograma Unitario". Universidad Nacional de Colombia, Medellín: [s.n]
7. Smith, R. y Vélez, M. V. 1997. "Hidrología de Antioquia", Gobernación de Antioquia, Medellín: [s.n], 300 p