

ESTIMACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA LA YAGUARA EN EL SECTOR LA YAGUARA-LOS JARDINES. SAN CARLOS, ESTADO COJEDES

ESTIMATED FLOOD SPOT OF THE YAGUARA GARDENS SECTOR STREAM. SAN CARLOS, STATE OF COJEDES

Franklin Paredes¹, Ivis Quiroz¹, Mauricio Cortez¹, Luis Rumbo¹ y Freddy La Cruz¹

⁽¹⁾Grupo para investigaciones sobre cuencas hidrográficas y recursos hidráulicos del programa Ingeniería. UNELLEZ-San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. e-mail: franklinparedes75@gmail.com

Recibido: 03-03-2011 Aceptado: 15-05-2011

RESUMEN

En San Carlos, Cojedes, ha aumentado la severidad de las crecientes de la quebrada La Yaguara, principalmente en el sector La Yaguara–Los Jardines. En esta investigación se analiza la respuesta hidráulica de esta quebrada en el referido sector, ante la ocurrencia de avenidas con períodos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años. Se emplea el modelo HEC-RAS 4.0 para recrear las avenidas. Los resultados muestran que las manchas de inundación alcanzan una elevación entre 156.6 y 156.7 msnm, cubriendo entre 26 y 28 hectáreas; la Urbanización Los Jardines y algunas zonas del sector La Yaguara se inundan totalmente; todas las estructuras de drenaje de la Troncal 5 colapsan y los daños materiales superan los 4.58 MM\$. Se recomienda zonificar por riesgo de inundación el sector La Yaguara–Los Jardines y detener la ampliación urbana en la microcuenca La Yaguara.

Palabras clave: quebrada La Yaguara, simulación hidráulica, HEC-RAS, análisis de crecientes

SUMMARY

In San Carlos, Cojedes, has increased the severity of the flood of the stream Yaguara, mainly in the sector La Yaguara-Los Jardines. In this research analyzes the hydraulic response of the stream Yaguara in the sector La Yaguara-Los Jardines during the occurrence of floods with return periods equal to 10, 25 and 50 years. We used the HEC-RAS 4.0 model to recreate the floodplain. The results show that the flood-marks had elevation between 156.6 and 156.7 msnm; covering between 26 and 28 hectares; the Urbanization Los Jardines and parts of the sector's Yaguara were completely flooded; all drainage structures of T005 collapse and the damage exceeded \$ 4.58 MM. We recommend flood risk zoning sector La Yaguara-Los Jardines and stop urban expansion in the microbasin's Yaguara.

Key words: stream La Yaguara, hydraulics simulation, HEC-RAS, analysis of floodplain

INTRODUCCIÓN

La planicie de inundación de un río o quebrada es el valle adyacente al cauce que regularmente es inundado durante el período de aguas alta (Garde, 2006). La respuesta hidráulica de un cauce aluvial durante la ocurrencia de una tormenta con un período de retorno definido, puede estimarse con uno de diversos modelos matemáticos, tales como Watershed Modeling System (WMS), HEC-RAS, FLO 2D, MIKE 11, entre otros. De estos modelos, el HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) es el de mayor uso, debido a su versatilidad y uso no comercial. El HEC-RAS, requiere como insumo lo siguiente: 1) el hidrograma de creciente o el gasto pico en un punto situado aguas arriba de la planicie de inundación que se evalúa; 2) un modelo digital del terreno que ocupan la planicie y el cauce principal; 3) diversos parámetros hidráulicos del canal principal, las planicies de desborde y las estructuras hidráulicas emplazadas (si existen). El HEC-RAS genera, entre otras, las siguientes salidas: 1) los perfiles transversales y longitudinal del flujo; 2) la velocidad media del flujo en las secciones transversales al canal principal y; 3) la capacidad total de transporte de sedimento (Villón, 2009). El procedimiento computacional se basa en la solución iterativa de la ecuación de energía y la ecuación de momentum (Dyhouse *et al.*, 2003).

El HEC-RAS se utiliza en conjunto con otras herramientas computacionales del Cuerpo de Ingenieros Hidráulicos de Estados Unidos como el HEC-HMS y el HEC-GeoRAS; el primero calcula el hidrograma de creciente, y el segundo, extrae las secciones transversales del modelo digital del terreno (Benavides *et al.*, 2001). El HEC-RAS, permite evaluar fallas estructurales ocurridas en diques transversales (Yochum *et al.*, 2008) y modelar el

comportamiento de estructuras hidráulicas de drenaje sometidas a grandes crecientes (Lee *et al.*, 2006). En Venezuela, su uso es aún incipiente. En general, se utiliza como una herramienta para trazar las manchas de inundación asociadas a una tormenta con un período de retorno específico, en áreas susceptibles a este tipo de eventos (Márquez y Guevara, 2006).

La Yaguara es una microcuenca tributaria del río Tinaco. Tiene una serie de colinas altas al Norte, que pierden altura en dirección Norte-Sur. Cubre gran parte del flanco noreste de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos. A la altura de la Avenida Rómulo Betancourt, se distinguen siete unidades hidrológicas aportantes, que drenan unos 30 km². La presión social por soluciones habitacionales obliga a los entes gubernamentales a desarrollar proyectos urbanísticos en la cuenca alta, incrementando así, la frecuencia de las inundaciones aguas abajo (Paredes *et al.*, 2007).

Durante la temporada de lluvias, el sector La Yaguara-Los Jardines es el más vulnerable, debido a que está a menos de 300 m de la planicie de desborde izquierda. En 2004, alrededor de 250 personas quedaron damnificadas como consecuencia de las inundaciones en la quebrada La Yaguara, en 2005 y 2008, cerca de 600 personas. El Gobierno Regional, en los últimos años, ha ampliado reiteradas veces la sección transversal del cauce principal, sin embargo los taludes se erosionan por la fuerza tractiva de corte, colmatando el cauce principal y reduciendo así, la capacidad hidráulica de conducción. Ante esta situación, surgió la necesidad de: 1) caracterizar la morfometría y los patrones de drenaje en la planicie de inundación de la quebrada La Yaguara en el sector La Yaguara-Los Jardines, 2) trazar las manchas de inundación para tres eventos de tormentas extremos y; 3) estimar de los daños materiales asociados a estas crecientes en el sector en cuestión.

METODOLOGÍA

Características generales de la unidad de estudio

La Unidad de Estudio (UE) se localiza a 1.4 km al Este de la redoma del Mango de la ciudad San Carlos en el municipio homónimo del Estado Cojedes. La UE, forma un polígono irregular de unas 44.68 hectáreas e incluye la Urbanización Los Jardines, el sector

La Yaguara y un tramo de pocos más de 800 m de la Troncal N° 5 en sentido San Carlos-Valencia. Al Norte limita con el sector La Mapora, al Sur con la Mansión de Los Llanos, al Oeste con La Fundación La Salle (FLASA) y al Este con el Colegio de Médicos y Pollos Brasilandia (Fig. 1). Esta investigación se realizó en el año 2008.

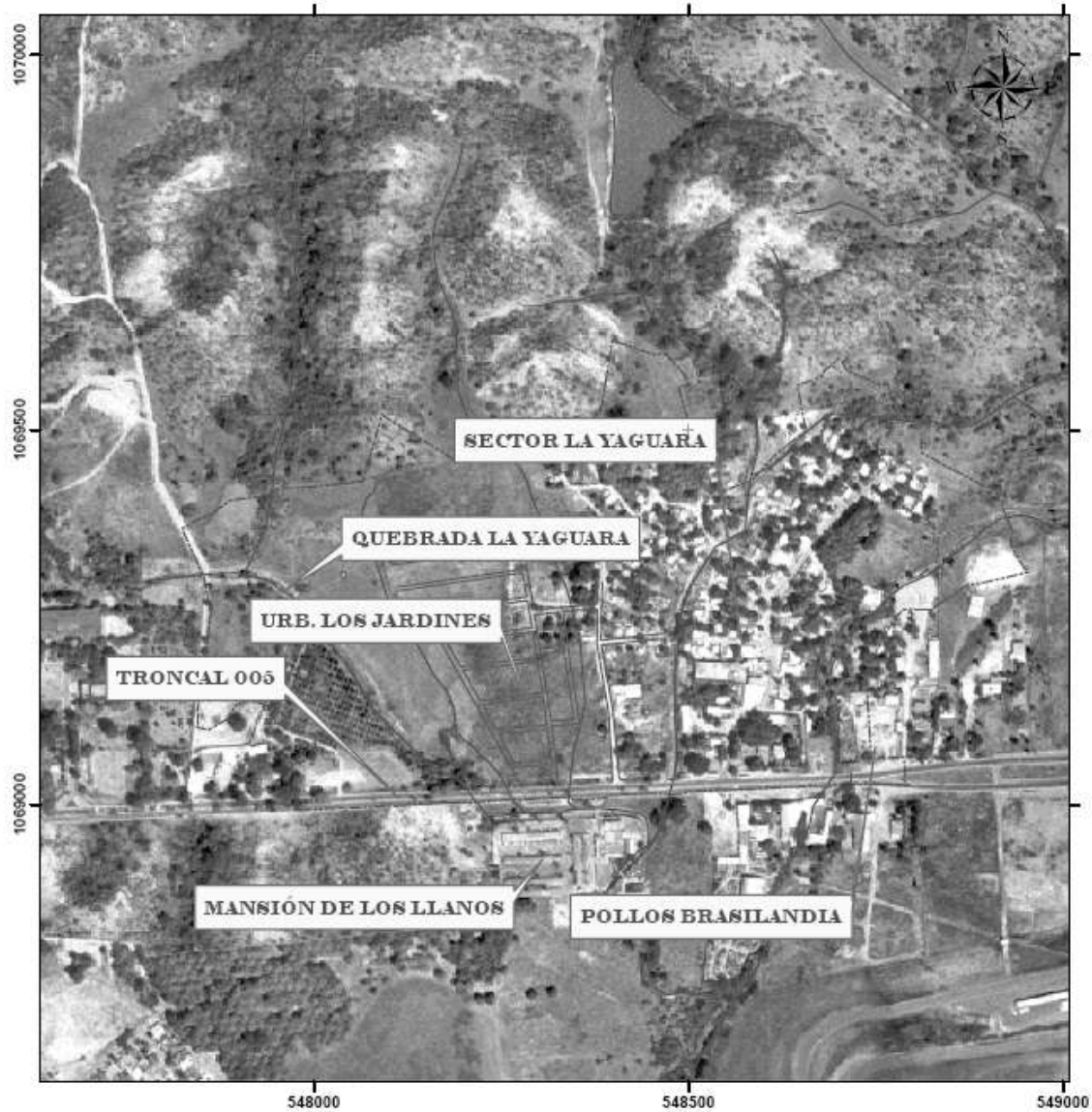


Fig. 1.- Ubicación espacial de la unidad de estudio

Fases de la investigación

Fase 1. Caracterización morfológica e hidrológica de la planicie de desborde

Se realizó un levantamiento planialtimétrico de la quebrada La Yaguara en el sector La Yaguara-Los Jardines con una Estación Total LEICA TC407. Para la georeferenciación de las poligonales, puntos de interés y demás topónimos se empleó un GPS Geodésico TRIMBLE 4600 (datum tomado del Elipsoide WGS84). Seguidamente, se creó un mapa vectorial tomando como patrón las hojas 6444-I-NE y 6444-II-SE del Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Se generó un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir del levantamiento planialtimétrico. Se caracterizó la UE según el área, la hipsometría y la pendiente. Los ejes de corriente de las quebradas (stream centerline), bancada izquierda y derecha del cauce (stream banks), líneas de curso (flow path lines) y secciones transversales (cross sections) se obtuvieron de una red de puntos de triangulación irregular (Triangulated Irregular Network: TIN) derivada del MDT.

Fase 2. Generación de las manchas de inundación en la Unidad de Estudio.

Se consideró tres drenes de interés en la UE, que en lo sucesivo se denominan UH1, UH2 y UH3 (Fig. 2). Los gastos picos Q_{10} , Q_{25} y Q_{50} en UH1, UH2 y UH3 se tomaron de Paredes *et al.*, (2007). En base a las visitas de campo realizadas en la UE se seleccionó los coeficientes de fricción de Manning en la planicie y los canales principales así como los coeficientes de contracción y expansión en las secciones transversales y las zonas de flujo inefectivas. Se midieron las estructuras de paso en los drenes UH1, UH2 y UH3. Los parámetros hidráulicos asumidos fueron: 1) coeficiente de sumergencia máxima de ambos pontones es igual a 0.95; coeficiente de vertedero es igual a 1.44; 2) relación de talud, Horizontal : Vertical, de la Troncal N° 5 es igual a 1.25 aguas arriba y aguas abajo; 3) en las alcantarillas, las pérdidas de entrada son iguales a 0.7 y a la salida, 1.0; la altura de las obstrucciones es igual a 0.15 m (recrea la acumulación de sedimento y basura); el coeficiente de Manning a la entrada y salida es igual a 0.015 (su usó a la salida de la alcantarilla y comienza cuando el tirante es mayor o igual a una altura de 0.45 m dentro el barril); todas las alcantarillas se simularon con muros-aletas (difusores) a la salida y entrada.

Valiéndose de la información precedente, se modeló el Q_{10} , Q_{25} y Q_{50} en UH1, UH2 y UH3, empleando el HEC-RAS 4.0. Las manchas de inundación para cada escenario y las

velocidades medias del flujo se superpusieron sobre un ortofotomapa de la UE; así se identificó las zonas afectadas durante cada evento evaluado.

Fase 3. Estimación de los daños materiales asociados a las avenidas en la Unidad de Estudio.

Se realizó un avalúo a una casa referencial en la Urbanización Los Jardines y otra en el sector La Yaguara. Se estimó un costo unitario en la primera zona igual a 93.02 \$/m² (paridad cambiaria 2.15 Bs/\$; incluye terreno y bienhechuría), en el sector La Yaguara tal indicador es igual a 81.52 \$/m². Debido a que las inundaciones registradas no deterioran totalmente las viviendas, se afectó los indicadores por un factor de aminoramiento igual a 0.40. Para recuperar una vivienda afectada por una inundación se asume un coste igual al 40% de valor real del inmueble. Bajo esta suposición, los nuevos indicadores de perdida son 37.21 y 32.61 \$/m², respectivamente. Conocida el área afectada en cada evento se estimó, de forma aproximada, el coste debido a las pérdidas materiales en cada evento.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Caracterización de la morfometría e hidrografía de la planicie de inundación de la quebrada La Yaguara en el sector La Yaguara-Los Jardines

La UE cubre una superficie de 44.68 hectáreas. Las unidades hidrológicas UH1, UH2 y UH3 drenan 17.477, 1.916 y 0.741 km², respectivamente. La UE engloba la Urbanización Los Jardines, el sector La Yaguara y una pequeña porción del sector La Mapora. En líneas generales, la UE tiene terrenos moderadamente elevados en el flanco Norte-Noreste, con elevaciones que van de 156 a 158 msnm. La zona más alta coincide con un cerro en el Noroeste, cuya cota máxima es de 170 msnm. La topografía en la UE muestra que La Urbanización Los Jardines se emplaza en una depresión natural, con elevaciones que varían de 154 a 156 msnm. Gran parte del sector La Yaguara se encuentra en terrenos que van de 156 a 158 msnm. Esta particularidad del relieve favorece el tránsito de la escorrentía hacia

La Urbanización Los Jardines, donde gradualmente se concentra en la UH1 y dos quebradas intermitentes ubicadas en la rivera izquierda.

A juzgar por la topografía, la Urbanización Los Jardines se construyó en la planicie de desborde de la quebrada La Yaguara, en contravención a lo indicado en el Artículo 54 de la Ley de Aguas. La hipsometría sugiere que las crecientes se amortiguaban en esta zona. Desde el punto de vista hidráulico, el escurrimiento presenta cuatro vías de desagüe: 2 pontones, 2 alcantarillas dobles y una simple (Fig. 2).

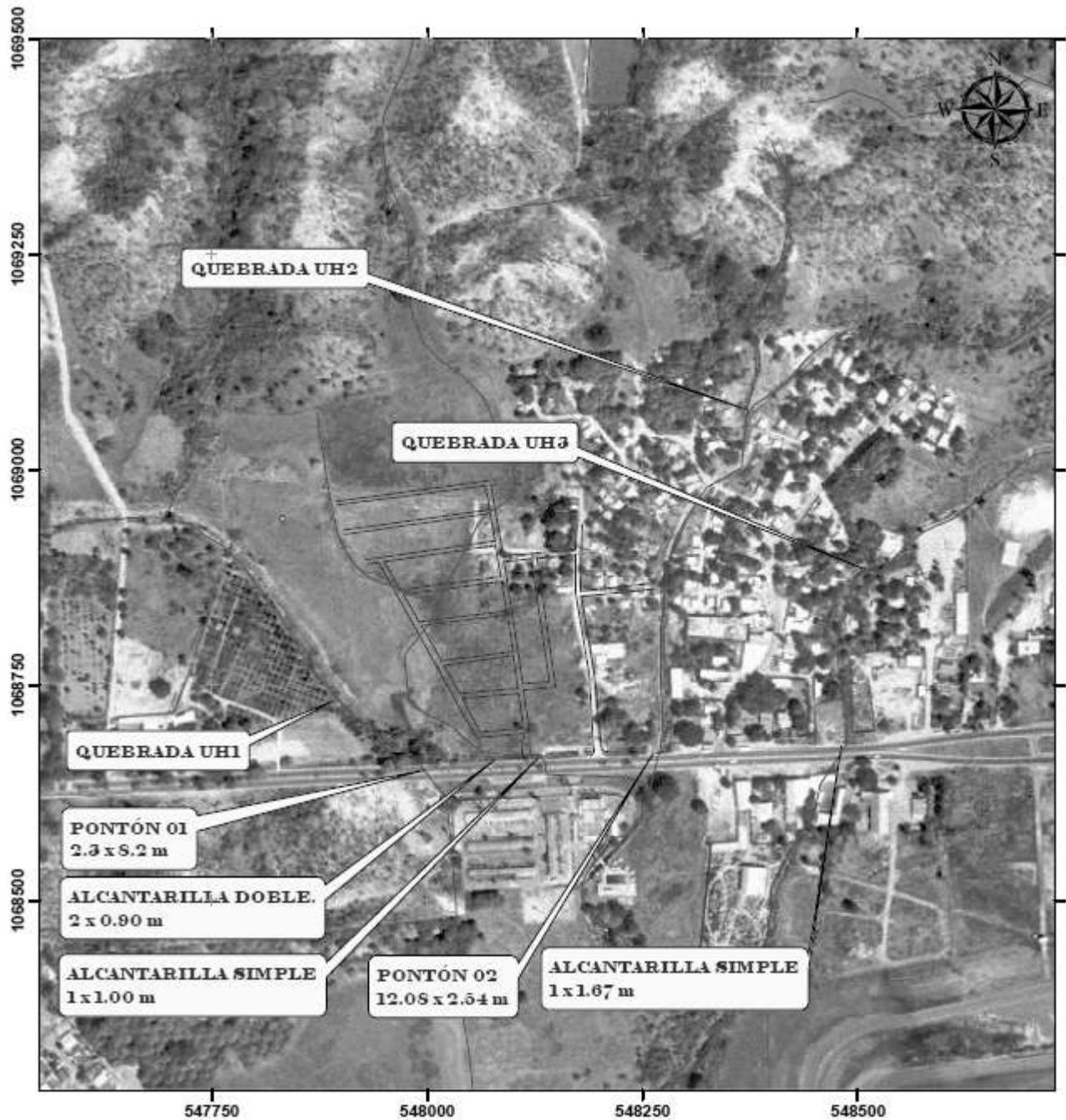


Fig. 2.- Estructuras de drenaje en la unidad de estudio
Respuesta hidráulica de UH1, UH2 y UH3 en la UE

Los gastos picos durante la ocurrencia de tormentas con 10, 25 y 50 años de período de retorno, en las unidades hidrológicas UH1, UH2 y UH3 son los indicados en la Tabla 1. Los resultados de la simulación muestran que durante los tres eventos ($Tr = 10, 25$ y 50

años), la Urbanización Los Jardines y algunas zonas del sector La Yaguara quedan sumergidos por las aguas de la quebrada La Yaguara. Durante la ocurrencia del Q_{10} cerca de 26.6 hectáreas son inundadas. En la Urbanización Los Jardines, el agua alcanza una elevación media de 156.57 msnm. Las manzanas cercanas a la Troncal N° 5 son las más afectadas. En las tres primeras estructuras de drenaje, en sentido Oeste-Este, e indicadas en la Fig. 2, el agua supera la calzada de la Troncal N° 5 en más de 35 cm (Fig. 3). El pontón N° 2 drena sin problema el gasto pico en la UH2. La alcantarilla emplazada en la UH3 falla; aquí, el agua supera la calzada en más de 10 cm.

Tabla 1.- Gasto pico en las unidades hidrológicas presentes en la unidad de estudio

Unidad Hidrológica	Caudal pico estimado (m^3/s)
UH1	$Q_{10} = 207.32$
	$Q_{25} = 277.85$
	$Q_{50} = 339.13$
UH2	$Q_{10} = 31.39$
	$Q_{25} = 39.95$
	$Q_{50} = 47.03$
UH3	$Q_{10} = 19.99$
	$Q_{25} = 23.97$
	$Q_{50} = 27.16$

Fuente: Paredes *et al.* 2007

Al darse el Q_{25} unas 27.21 hectáreas son inundadas. En la Urbanización Los Jardines el agua logra una elevación media de 156.68 msnm. En el primer tramo de la Troncal N° 5, el agua supera la calzada en más de 20 cm (Fig. 3). El pontón N° 2 drena sin problema el gasto pico en la UH2. La alcantarilla situada en la UH3 es rebasada por una columna de agua que alcanza 14 cm sobre la calzada.

El Q_{50} genera una mancha de inundación que se extiende 28.03 hectáreas. En la Urbanización Los Jardines el agua alcanza una elevación media de 156.73 msnm. Frente a la Urbanización Los Jardines alcanza más de 60 cm sobre la calzada de la Troncal N° 5 (Fig.3). El pontón N° 2 drena sin problema el gasto pico en la UH2. En la intersección de la UH3 con la Troncal N° 5, el agua alcanza unos 25 cm sobre la calzada.

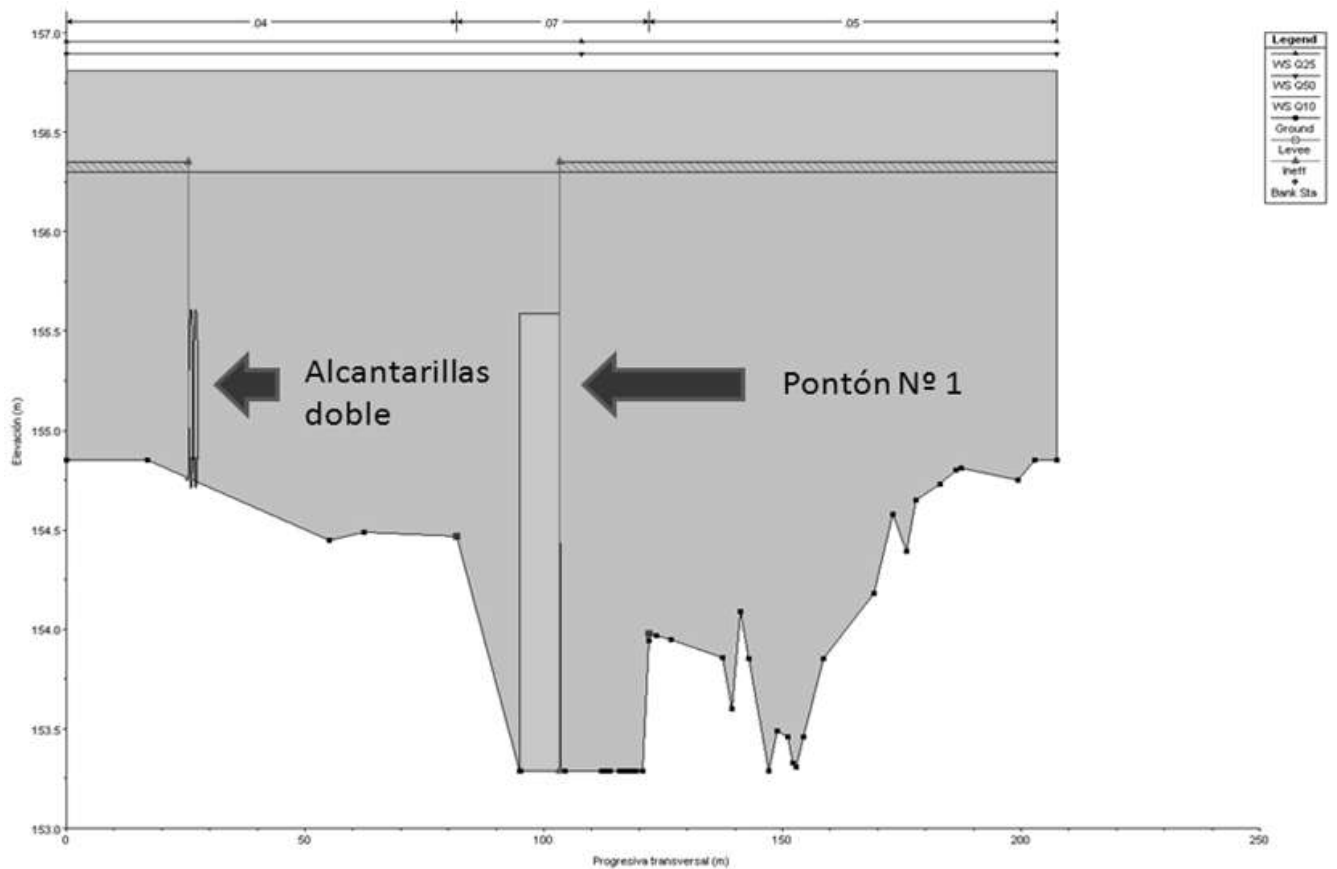


Fig. 3.- Perfiles hidráulicos en una sección transversal que pasa por la Troncal N° 5 en el dren UH1

Las frecuentes inundaciones en el sector La Yaguara-Los Jardines son, en parte, consecuencia de la deforestación progresiva de la cuenca alta. La capacidad de infiltración se ha reducido, haciendo que el escurrimiento superficial, aumente. La solución a esta problemática no es fácil. Puede construirse un canal colector a lo largo de la quebrada La Yaguara (UNELLEZ-Sector La Culebra), cuya sección transversal permita transitar, por lo menos, el Q_{25} . De ser así, debe implementarse un programa de mantenimiento para remover la carga de sedimento proveniente de la cuenca alta. Otra solución, puede contemplar la reubicación de la Urbanización Los Jardines y acondicionar esta zona, a fin de que funcione como una piscina de atenuación de crecientes. Esta alternativa, minimizaría el riesgo de inundación aguas abajo. Un programa de reforestación de la cuenca alta, es necesario, pues cualquier obra hidráulica fallará en el corto plazo, como consecuencia de la deposición sedimentaria.

Estimación de costo en pérdidas materiales en función del área afectada en el sector La Yaguara-Los Jardines

El área habitada en la Urbanización Los Jardines e inundada durante los eventos recreados abarca unas 5.7 hectáreas; en el sector La Yaguara, alcanza cerca de 7.4 hectáreas. En los tres escenarios, la Urbanización Los Jardines resulta totalmente afectada, por consiguiente se estima unos 2.156.651,41 \$ en pérdidas materiales. El sector La Yaguara presenta ligeros cambios en cuanto a superficie impactada entre un escenario y otro, no obstante los daños ascienden a los 2.424.690,36 \$. En resumen, la inundación del sector La Yaguara-Los Jardines ante una tormenta extrema, como las mostradas en las secciones anteriores, probablemente genere pérdidas materiales superiores a las 4.58 MM\$.

CONCLUSIONES

El sector La Yaguara-Los Jardines está emplazado en una depresión natural, lo que hace suponer que en el pasado, constituyó una zona donde naturalmente las crecientes se amortiguaban.

Entre 35 y 36.5 hectáreas del sector La Yaguara-Los Jardines son susceptibles de ser inundadas ante la ocurrencia de crecientes con 10 a 50 años de período de retorno. Las viviendas adyacentes a la Troncal N° 5 son más vulnerables por encontrarse a menor elevación y experimentar el remanso de los drenes, durante su paso por las estructuras de drenajes localizadas en la troncal.

La solución más plausible, desde un punto de vista, estrictamente ingenieril, contempla la inmediata evacuación y demolición de la Urbanización Los Jardines para luego construcción una piscina de atenuación de crecientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavides J., Pietruszewski B., Kirsch B. and Bedient P. 2001. Analyzing flood control alternatives for the Clear Creek watershed in a geographic information systems framework. World Water and Environmental Resources Congress. Florida, USA. 210 p.
- Dyhouse G., Hatchett J. and Benn J. 2003. Floodplain modeling using HEC-RAS. Haestad Press, USA. 250 p.

- Garde R. 2006. Fluvial Morphology. New Age International (P) Ltd., Publishers. Nueva Deli, India. 502 p.
- Lee K., Ho Yao-Hsien and Chyan Yuh-Ju. 2006. Bridge blockage and overbank flow simulations using HEC-RAS in the Keelung River during the 2001 Nari typhoon. Journal Hydrology Engineering. Vol. 132. No. 3, pp. 319-323.
- Márquez A. y Guevara E. 2006. Aplicación de los modelos HEC en el análisis de variables hidrológico-ambientales. Caso de estudio de zonificación de las manchas de inundación en la cuenca del río Urama – Estado Carabobo. Facultad de Ingeniería de Universidad de Carabobo, 338 p.
- Paredes F., Rumbo L. y La Cruz F. 2007. Efecto de la expansión urbana en la cuenca alta de la quebrada La Yaguara sobre el caudal pico aguas abajo de la ciudad de San Carlos-estado Cojedes Agrrollanía Revista de Ciencia y Tecnología. Vol. 4. No. 1, pp. 117-131.
- Villón M. 2009. HEC-RAS ejemplos. Ediciones Maxsoft. Cartago, Costa Rica. 584 p.
- Yochum S., Goertz L. and Jones P. 2008. Case study of the Big Bay dam failure: accuracy and comparison of breach predictions. Journal Hydrology Engineering. Vol. 134. No. 9, pp. 1285-1293.