

**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**

**EFFECT OF THE URBAN EXPANSION IN THE HIGH BASIN OF THE GULCH LA YAGUARA ON THE FLOW PICK WATERS BELOW OF THE CITY OF SAN CARLOS - STATE COJEDES**

*Franklin Paredes <sup>(1)</sup>, Luis Rumbo <sup>(2)</sup> y Fredy La Cruz <sup>(3)</sup>*

<sup>(1)</sup> MSc.(UCAB). Doctorante de Ingeniería Ambiental (UC). Laboratorio de Física. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.

UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201. *franklinparedes75@gmail.com*

<sup>(2)</sup> Ing. Agrícola (UNELLEZ). Laboratorio de Topografía. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201.

<sup>(3)</sup>MSc. (UCAB). Ing. Agrícola. Programa Ingeniería. Laboratorio de Materiales y Construcción. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201.

Recibido: 15-11-2006 / Aceptado: 27-02-2007

**RESUMEN**

En la ciudad de San Carlos ha aumentado durante los últimos años la frecuencia y severidad de las crecientes de la quebrada La Yaguara, especialmente al sur de la T05 en sentido San Carlos -Valencia; por consiguiente, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la intervención de la cuenca La Yaguara sobre los caudales picos aguas abajo de la ciudad de San Carlos. Se empleó el software de simulación hidrológica HEC-HMS 2.2.2 para recrear una tormenta de 160 minutos de duración a 10, 25 y 50 años de periodo de retorno, respectivamente. Se caracterizó su fisiografía y el régimen pluviométrico. La cuenca drena 29.49 km<sup>2</sup> y posee un relieve de colinas altas que van perdiendo altura en dirección norte sur, tiene 7 unidades hidrológicas de las cuales 5 conforman una planicie con pendientes entre 0 y 10 %; los suelos, en general, son arcillo-limoso con un índice de cobertura vegetal menor al 50 %; en la cuenca alta se desarrollan múltiples proyectos urbanísticos conjuntamente con explotaciones de ganadería extensiva. El tiempo de concentración de la quebrada a la altura de la Avenida Rómulo Gallegos es de 130.567 minutos. El régimen pluviométrico es estacional con un máximo en julio y un mínimo en enero; el clima es subhúmedo seco con una evapotranspiración real media de 2076.3 mm/año. La intensidad de las tormentas es variable, sin embargo el promedio anual se ubica en unos 60 mm/h. De concretarse los proyectos urbanístico hoy planteados se vaticinan gastos picos de 315, 426 y 505 m<sup>3</sup>/s (Tr = 10, 25 y 50 años, respectivamente), a la altura de la Avenida Rómulo Betancourt, superando ampliamente la capacidad de diseño de la mayoría de las estructuras de drenaje existentes. Los tiempos al pico de los hidrograma fueron relativamente pequeños en diferentes locaciones de la cuenca.

*Palabras claves:* Quebrada La Yaguara, Simulación hidrológica, HEC-HMS

## SUMMARY

In San Carlos' city (Cojedes) has increased during the last years the frequency and severity of the flood of the gulch The Yaguara, especially to the south of the T05 in direction San Carlos - Valencia; consequently, this research had as objective to evaluate the effect of the intervention of the basin The Yaguara on the flow pick waters under of San Carlos' city. The software of hydrological simulation HEC-HMS was used 2.2.2 to recreate a storm of 160 minutes of duration to 10, 25 and 50 years of period of return, respectively. We characterize their morphology and the regime of rains. The basin has an area of 29.49 km<sup>2</sup> and possesses a relief of high hills that lose height in address north - south, has 7 hydrological units of which 5 conform a plain with slopes between 0 and 10 %; the soils, in general, are clay-slime with a index of vegetable covering smaller to 50 %; in the high basin multiple urbanisms are developed jointly with exploitations of extensive cattle. The time of concentration of the gulch to the height of the Avenue Rómulo Gallegos is of 130.567 minutes. The regimen pluvial is seasonal with a maximum in July and a minimum in January; the climate is subwet-dry with an evapotranspiration real average of 2076.3 mm/año. The intensity of the storms is variable; however, the annual average is about 60 mm/h. Of being summed up the urbanisms picks of 315.426 and 505 m<sup>3</sup>/s are predicted (Tr = 10, 25 and 50 years, respectively), in the Avenue Rómulo Betancourt, what overcomes the design capacity of most of the structures of existents drainage. The times to the pick of the hidrograma were relatively small in different leases of the basin, for what the time to implement an evacuation during a flood hardly overcomes the two hours. We recommended making a study to characterize the floodplain of the gulch The Yaguara.

**Key words:** *Gulch The Yaguara, hydrological Simulation, HEC-HMS*

## INTRODUCCIÓN

En la década 1990-2000 el municipio San Carlos experimentó un incremento poblacional del 17,5 % lo que se tradujo en necesidad de viviendas, en especial dentro de la poligonal urbana de la ciudad homónima. La obsolescencia del Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) en conjunción con la indiferencia de la Alcaldía en torno a este tema, trajo consigo un caos urbanístico. Durante los últimos seis años se han manifestado los efectos de esta política: inundaciones en sectores populosos como la Urb. Las Tejitas, Urb. Los Jardines, barrio La Yaguara, Urb. Monseñor Padilla entre otros. La afectación paulatina de la cuenca alta y media de la quebrada La Yaguara, en virtud de nuevos emplazamientos habitacionales y la construcción del Complejo Villa Olímpica, constituye un factor determinante en la ocurrencia de estos eventos, pues modifica la capacidad de infiltración de la cuenca, desencadenando crecientes torrenciales ante cualquier tormenta por leve que esta sea. Bajo este contexto surgió la imperiosa necesidad de evaluar el impacto de la expansión urbana en la cuenca alta de la quebrada La Yaguara sobre su respuesta hidrológica aguas abajo.

El caudal pico de un cauce natural puede estimarse a partir de mediciones hidrométricas históricas que se hayan realizado en un lugar de interés o cerca de él. La metodología clásica parte de los valores máximos diarios o máximos mensuales, se desarrolla una serie de máximos anuales, se ordenan de mayor a menor asignándosele un orden, se cuantifica un periodo de retorno, y una vez realizado esto, se evalúa el nivel de ajuste que tiene la serie con diferentes funciones de distribución de frecuencias teóricas: normal, lognormal, Pearson tipo III, Gamma, Log-Pearson, exponencial y valores extremos. El grado de ajuste se establece empleando el método de los momentos o el método de la máxima verosimilitud, ambos hacen uso de una prueba chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) para evaluar la diferencia entre los valores observados y los valores predichos por la función (Albano y Guevara, 2006; Guevara y Cartaya, 2004; Mijares, 1987). Sin embargo, las estaciones hidrométricas suelen estar ubicadas en ríos de gran importancia; en tal sentido, al momento de caracterizar hidrológicamente pequeños cauces o quebradas no se dispone de registros históricos, o la longitud de la serie es muy pequeña haciéndose imposible

estimar eventos con gran tiempo de retorno, limitando severamente el empleo del método estadístico. Para dar solución a este inconveniente se utilizan métodos empíricos fundamentados en la relación lluvia-escorrentía: método de la curva envolvente, la fórmula racional e hidrogramas unitarios, éste último tiene diferentes variantes: hidrograma unitario tradicional, curva S, métodos matriciales (hidrograma unitario instantáneo) y los hidrogramas unitarios sintéticos (Dyhouse et al., 2003).

Un hidrograma de corriente viene a ser la representación gráfica del caudal como una función del tiempo en una sección específica del cauce. En cuencas donde no se disponga de información hidrométrica, pero si información climática y fisiográfica, es conveniente emplear algún software confiable de simulación lluvia-escorrentía, como por ejemplo el HEC-HMS (Rojas, 2005). El paquete Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) permite generar un hidrograma de creciente en cualquier sección del cauce a partir de una tormenta sintética de tiempo de retorno y duración preestablecida; en tal sentido, se empleará en ésta investigación el HEC-HMS 2.2.2

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la zona de estudio

La cuenca hidrográfica de la quebrada La Yaguara constituye la unidad de estudio, limitando su extensión aguas abajo a la Avenida Rómulo Betancourt, a la altura de las urbanizaciones Monseñor Padilla y Los Chaguaramos. La referida unidad se ubica dentro del municipio San Carlos, y forma parte, casi totalmente, de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos (Figura 1). Las subcuencas tienen como puntos de cierre (sitios de interés) la Avenida Universidad (2 tramos de intersección), Urbanización Los Jardines (4 tramos que intersectan la Avenida Bolívar) y la Avenida Rómulo Betancourt (puente de entrada a la Urbanización Monseñor Padilla).

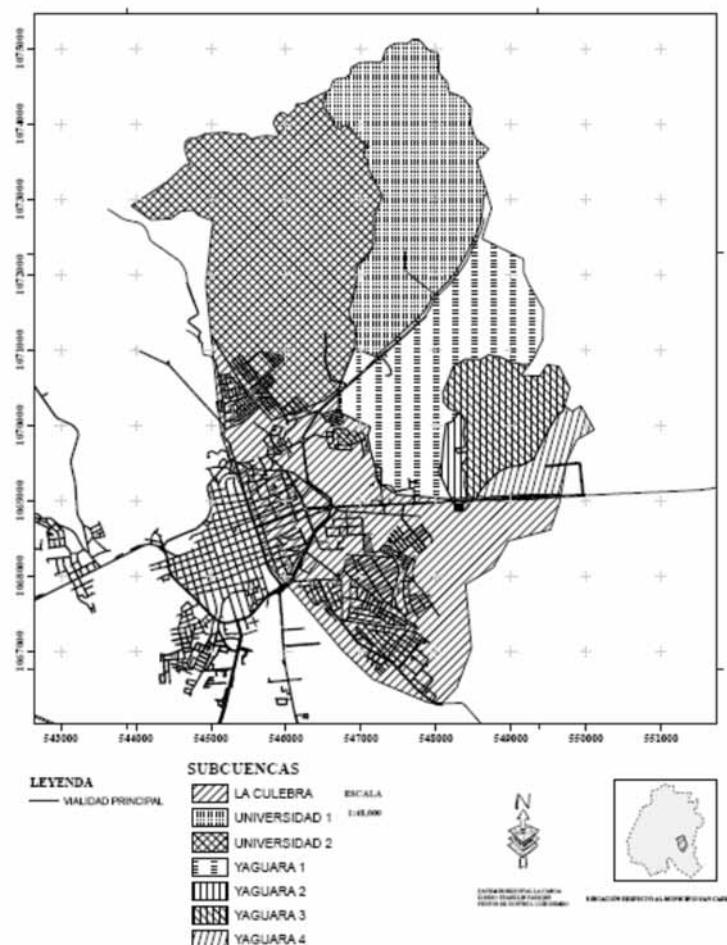
### Fases de la investigación

**Fase 1.** Caracterización morfométrica de la cuenca La Yaguara.

Se generó un mapa vectorial georeferenciado a partir de imágenes raster<sup>2</sup> de las cartas 6444ANE y 6445BSE (escala 1:25000); los polígonos, puntos de interés y demás datos geográficos se captaron con un receptor GPS PRO-XH sub-métrico. Las características morfométrica determinadas en las subcuencas señaladas en la Figura 1 fueron: área de drenaje, perímetro, longitud del cauce principal, longitud axial, pendiente del cauce principal e hipsometría general

<sup>2</sup> Nomenclatura asignada por el extinto Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional (hoy IGVS)

de la cuenca. Para estimar las pérdidas por infiltración por el método SCS curve number se escogieron 10 locaciones a lo largo de la cuenca, se efectuó una clasificación del suelo en concordancia con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (Badillo, 1975); en 6 de las locaciones se realizaron pruebas de infiltración, aplicando el método del cilindro infiltrómetro (Ministerio de Obras Públicas, 1963; Machado, 1979). La superficie asociada a cobertura vegetal y área impermeable (zona antropicamente afectada) se estableció empleando ortofotoimágenes<sup>3</sup> (6444ANE y 6445BSE a escala 1:25000, bitonal) e imágenes compuestas de acceso gratuito en [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Esta información permitió seleccionar adecuadamente la clasificación hidrológica predominante en cada subcuenca. Se determinó para cada subcuenca: la abstracción inicial, el tiempo de concentración y el tiempo de retardo.



**Figura 1.** Unidades hidrológicas de la cuenca La Yaguara

<sup>3</sup> georeferenciada en datum horizontal La Canoa (PSAD56)

**Fase 2.** Caracterización del régimen pluviométrico de la cuenca La Yaguara.

Los hietogramas de tormentas requerido por Meteorologic Model, se generaron tomando como punto de partida los modelos de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) reportados por Paredes et al. (2005b) para la estaciones Morena y El Retazo. A fin de incluir la estación UNELLEZ se desarrolló su modelo IDF siguiendo la metodología propuesta por el referido autor. Los pesos ponderados asociados a las estaciones se establecieron empleando el método de los polígonos de Thiessen (Mijares, 1987; Chow et al., 1988). Se tomó 20 minutos como intervalo de tiempo para las tormentas. El tiempo de duración de la tormenta a simular fue de 130 minutos que esta por encima del tiempo de concentración de toda la cuenca. Los tiempos de retorno empleados son 10, 25 y 50 años, respectivamente. A fin de obtener una tormenta con distribución simétrica se empleó el método de los bloques alternos (Chow et al., 1988). La evapotranspiración se simuló por el método monthly average; en tal sentido, se usó los promedios mensuales de evaporación de tina reportados por ERDHCA (1999) para la estación San Carlos-UNELLEZ para el periodo 1981-1996, se desarrolló un balance hídrico aplicando el método de Thornthwaite distribuido (Machado, 1979) el cual permitió definir el clima de la zona y estimar la evapotranspiración real (ETR).

**Fase 3.** Caracterización de las ampliaciones urbanas proyectadas al corto plazo dentro de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos.

Se solicitaron antes los diferentes organismos públicos y privados del municipio San Carlos los proyectos habitacionales que se están ejecutando y ejecutarán en los próximos años. Los parámetros considerados en la caracterización englobaron: nombre, superficie, ubicación (coordenadas UTM) y poligonal.

**Fase 4.** Caracterización de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara.

Se realizaron diferentes visitas de campo para caracterizar las obras hidráulicas de drenaje emplazadas sobre la quebrada La Yaguara, las variables consideradas fueron: tipología, ubicación geográfica (coordenadas UTM), estado físico y capacidad máxima de drenaje.

**Fase 5.** Modelación del comportamiento hidrológico de quebrada La Yaguara en su intersección con la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo.

Tomado como referencia los resultados de las fases precedentes y empleando el software HEC-HMS se recreó una tormenta sobre la cuenca con una duración igual a su tiempo de concentración y tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente. Se obtuvieron los hidrogramas de crecientes en los sitios de interés.

**Fase 6.** Evaluación de la respuesta de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo.

Se calculó el área máxima de la sección transversal y el perímetro mojado de las estructuras de drenaje emplazadas en los sitios de interés. Se empleó la fórmula de Chezy con coeficiente de Manning (Acevedo, 1976) para estimar el gasto máximo capaz de drenar la estructura. La pendiente del fondo,  $S$ , se obtuvo del perfil longitudinal del cauce principal. El coeficiente de Manning,  $n$ , se estimó en base a las condiciones observadas en campo. Una estructura de drenaje fallará cuando el caudal pico del hidrograma de creciente supere el  $Q$  de diseño de la estructura evaluada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización morfométrica de la cuenca La Yaguara.

La cuenca de la quebrada La Yaguara es una subcuenca del río Tinaco, y es a su vez subcuenca del río Cojedes. Posee una orientación noroeste sureste y un área de 29.49 km<sup>2</sup> hasta su intersección con la Avenida Rómulo Betancourt. Presenta un patrón fluvial predominantemente dendrídico, lo que implica la existencia de terrenos de pendiente variable y homogénea. En cuanto a su fisiografía, al norte prevalece un relieve de colinas altas que van perdiendo altura en dirección norte-sur; múltiples elevaciones aisladas (cerros) se localizan entre la local L03 (vía hacia Manrique) y la troncal T05 (vía San Carlos-Valencia) así como en las inmediaciones del sector La Morena. La cuenca La Yaguara fue disgregada en 7 unidades hidrológicas (en lo sucesivo denominadas subcuencas) en base al patrón fluvial predominante y los puntos de interés. Dichas unidades son: Universidad 1, Universidad 2, Yaguara 1, Yaguara 2, Yaguara 3, Yaguara 4 y La Culebra que representan 17.8, 26.67, 14.67, 0.98, 6.50, 2.51 y 30.76 % respectivamente, de la superficie total de la hoya.

La Figura 2 revela como en los terrenos de poca altitud hay una amplia superficie que puede ser inundada durante una tormenta, pues la velocidad de las aguas en esa región disminuirá significativamente, ocasionado su represado y posterior desborde a la planicie inundable. Dada

las características del relieve la Yaguara 2, Universidad 1 y Universidad 2 tenderán a ser torrenciales; en el resto, se infiere la ocurrencia de un lento escurrimiento. El Cuadro 1 resume las principales características morfométricas de la cuenca La Yaguara.

**Cuadro 1.** Características morfométricas de las subcuencas de la quebrada La Yaguara

| <b>Denominación</b> | <b>Área<br/>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>Perímetro<br/>(km)</b> | <b>Longitud axial<br/>(km)</b> | <b>Orientación<br/>predominante</b> |
|---------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Universidad 1       | 5.258                            | 11.238                    | 4.248                          | NE – SO                             |
| Universidad 2       | 7.893                            | 13.483                    | 3.874                          | NO – SE                             |
| Yaguara 1           | 4.326                            | 12.024                    | 2.396                          | NE – SO                             |
| Yaguara 2           | 0.288                            | 2.920                     | 1.027                          | N – S                               |
| Yaguara 3           | 1.916                            | 6.583                     | 2.107                          | N – S                               |
| Yaguara 4           | 0.741                            | 4.544                     | 1.704                          | NE – SO                             |
| La Culebra          | 9.073                            | 16.404                    | 5.787                          | N – S                               |

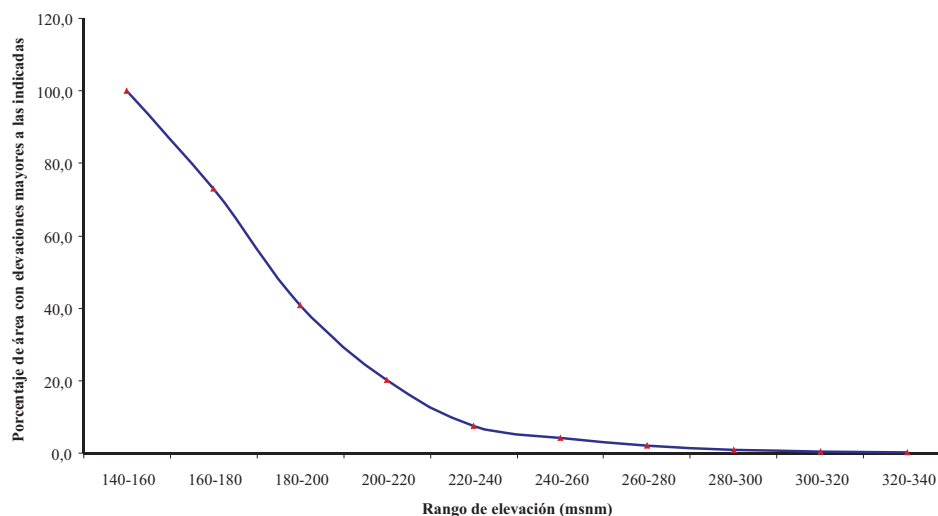
El grado de cobertura vegetal es un factor muy importante, pues conforme aumente el escurrimiento superficial tenderá a disminuir. Las subcuencas Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 3 poseen el mayor índice de cobertura vegetal (Cuadro 2), no obstante, en las dos primeras este indicador decrece gradualmente producto de la ampliación de la Ciudad Deportiva, construcción de la Villa Olímpica y demás proyectos planteados para los años venideros.

**Cuadro 2.** Características superficiales del suelo en las subcuencas de la quebrada La Yaguara.

| <b>Denominación</b> | <b>Cobertura vegetal (%)</b> | <b>Zonas intervenida por el hombre (%)</b> |
|---------------------|------------------------------|--|
| Universidad 1       | 37,804                       | 13,79                                      |
| Universidad 2       | 27,774                       | 35,36                                      |
| Yaguara 1           | 18,687                       | 6,87                                       |
| Yaguara 2           | 8,647                        | 18,39                                      |
| Yaguara 3           | 26,361                       | 4,73                                       |
| Yaguara 4           | 2,851                        | 52,89                                      |
| La Culebra          | 15,724                       | 67,20                                      |

**Nota:** el índice de cobertura toma en cuenta aquellas zonas que la mayor parte del año está cubierta con vegetación densa; las zonas intervenidas se asocian a terrenos destinados a explotaciones agrícolas y emplazamientos urbanos





**Figura 2.** Curva hipsométrica de la cuenca La Yaguara

A fin de evaluar la capacidad de infiltración de la cuenca La Yaguara, se efectuaron varios muestreos de suelo que permitieron caracterizarlo en cuanto a su textura y velocidad de infiltración (Cuadro 3). En general, el suelo de la cuenca es del tipo arcillolimoso, por lo que su capacidad de infiltración es baja. Partiendo del hecho de que las unidades hidrológicas Universidad 1 y Universidad 2 concentran la mayor parte del área colectora, es plausible inferir que la cuenca La Yaguara genera grandes escurrimientos debido a su suelo mal drenado.

**Cuadro 3.** Pruebas de textura e infiltrometría en diferentes locaciones de la cuenca La Yaguara

| Código | Coordenadas UTM de locación | Subcuenca     | Textura del suelo | Tasa de infiltración |
|--------|-----------------------------|---------------|-------------------|----------------------|
| P1     | 547564 E ; 1071900 N        | Universidad 1 | Arcilloso         | Muy lenta            |
| P2     | 548474 E ; 1072469 N        | Universidad 1 | Arcilloso         | Muy lenta            |
| P3     | 548425 E ; 1072296 N        | Yaguara 1     | Arcilloso         | No realizado         |
| P4     | 548426 E ; 1072041 N        | Yaguara 1     | Arcilloso         | No realizado         |
| P5     | 548282 E ; 1072009 N        | Yaguara 1     | Arenolimoso       | Modera do            |
| P6     | 546458 E ; 1071511 N        | Universidad 2 | Arcillolimoso     | No realizado         |
| P7     | 545714 E ; 1070870 N        | Universidad 2 | Arcilloso         | Muy lenta            |
| P8     | 548100 E ; 1069290 N        | Yaguara 2     | Arcillolimoso     | Muy lenta            |
| P9     | 547900 E ; 1068367 N        | La Culebra    | Arcillolimoso     | No realizado         |
| P10    | 548121 E ; 1066364 N        | La Culebra    | Arcilloso         | Muy lenta            |

El Cuadro 4 resume las características generales de las subcuencas en torno a su condición hidrológica (relacionado con el índice de cobertura vegetal), uso de la tierra y clasificación hidrológica (potencial de escorrentía). El Cuadro 5 resume el tiempo de traslado del agua a lo largo del cauce principal.

**Cuadro 4.** Categorización hidrológica las subcuencas de la quebrada La Yaguara

| Denominación  | Clasificación hidrológica del suelo | Condición hidrológica | Uso de la tierra predominante | Curva CN ponderada |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|
| Universidad 1 | C                                   | Mala                  | Pastoreo                      | 78.1               |
| Universidad 2 | C                                   | Mala                  | Pastoreo y urbanismo          | 81.7               |
| Yaguara 1     | C                                   | Mala                  | Pastoreo y urbanismo          | 82.2               |
| Yaguara 2     | C                                   | Mala                  | Urbanismo                     | 86.0               |
| Yaguara 3     | C                                   | Mala                  | Pastoreo y urbanismo          | 82.2               |
| Yaguara 4     | C                                   | Mala                  | Urbanismo                     | 86.0               |
| La Culebra    | D                                   | Mala                  | Urbanismo                     | 87.5               |

**Cuadro 5.** Resumen del tránsito de las aguas en las subcuencas de la quebrada La Yaguara

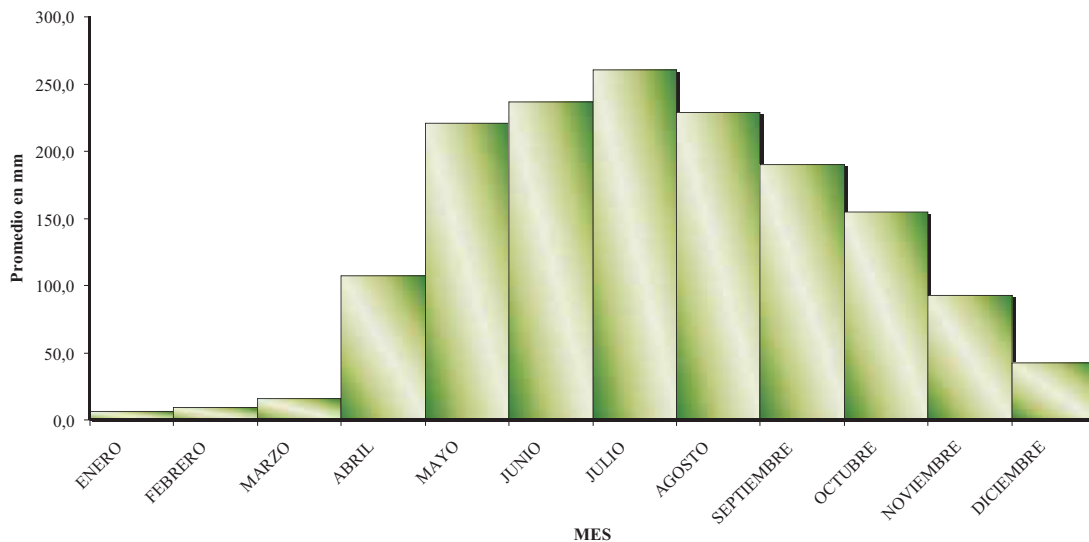
| Denominación  | Coefficiente de Manning * | Velocidad media (m/s) | Tiempo de concentración (min) | Tiempo de retardo (min) |
|---------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Universidad 1 | 0.05                      | 2.239                 | 48.799                        | 29.279                  |
| Universidad 2 | 0.05                      | 2.154                 | 41.106                        | 24.664                  |
| Yaguara 1     | 0.03                      | 1.325                 | 78.120                        | 46.872                  |
| Yaguara 2     | 0.035                     | 3.165                 | 5.457                         | 3.274                   |
| Yaguara 3     | 0.03                      | 1.792                 | 25.888                        | 15.533                  |
| Yaguara 4     | 0.03                      | 2.382                 | 15.769                        | 9.461                   |
| La Culebra    | 0.045                     | 0.587                 | 98.385                        | 59.031                  |

**Nota:** valor ponderado en función de las características del lecho en el cauce principal

#### **Caracterización del régimen pluviométrico de la cuenca La Yaguara.**

La precipitación media anual en la cuenca es de 1576.03 mm. Las lluvias presentan un régimen estacional; el máximo se da en julio con 260.5 mm/mes y el mínimo ocurre en enero con 6.6 mm/mes. La temporada de lluvia comienza en abril desarrollándose plenamente entre junio

y julio; la temporada seca engloba los meses de enero, febrero y marzo (Figura 3). Dado que las tormentas en la zona suelen ser de corta duración, gran intensidad y cubren poca superficie se infiere que mayoritariamente son de tipo convectiva. Gran parte de los eventos de tormentas acontecen durante el periodo de lluvia, no obstante existen registros de tormentas ocurridas en el periodo seco y de transición.



**Figura 3.** Pluviograma medio mensual en la estación San Carlos -UNELLEZ para el periodo 1981- 2003

El área de influencia de las estaciones San Carlos-UNELLEZ, El Retazo y Morena cubre la totalidad de la cuenca. En El Retazo se dan lluvias de 78.57, 103.46 y 127.40 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente; en San Carlos -UNELLEZ se dan lluvias de 95.57, 106.05 y 124.64 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente; por último, en Morena se dan lluvias de 89.36, 112.76 y 134.45 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente.

### **Caracterización de las ampliaciones urbanas proyectadas al corto plazo dentro de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos**

Los proyectos urbanísticos dentro de la poligonal urbana del municipio San Carlos varían en cuanto a ubicación, agente promotor y extensión. El de mayor repercusión es el Complejo Villa Olímpica, pues contempla la afectación de casi un 20 % de la subcuenca Universidad 2, traduciéndose en un aumento del área impermeable, y por consiguiente, el incremento del escurrimiento superficial aguas abajo.

### **Caracterización de las principales estructuras hidráulicas en las Avenidas Universidad,**

### Bolívar y Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara

En la medida que la red fluvial de la quebrada La Yaguara discurre aguas abajo pasa a través de varias estructuras hidráulicas que permiten el tránsito de las aguas durante un evento de tormenta. El Cuadro 6 resume las principales características hidráulicas de dichas estructuras.

**Cuadro 6.** Características de las principales estructuras hidráulicas ubicadas dentro de la cuenca La Yaguara

| Tipología              | Lugar                 | Ubicación (UTM)       | Condición física   | Capacidad máxima (m <sup>3</sup> /s) * |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Cajón                  | Av. Bolívar           | 548207 E<br>1069025 N | Buena. Sedimento de fondo abundante.                         | 23.124                                 |
| Alcantarilla doble     | Av. Bolívar           | 548253 E<br>1069053 N | Buena. Libre de sedimento de fondo                           | 7.858                                  |
| Alcantarilla simple    | Av. Bolívar           | 548339 E<br>1069031 N | Buena. Sedimento de fondo abundante.                         | 3.702                                  |
| Cajón                  | Av. Bolívar           | 548460 E<br>1069020 N | Maleza alta Buena. Libre de presente. sedimento de fondo     | 112.264                                |
| Alcantarilla simple    | Av. Bolívar           | 548691 E<br>1069041 N | Buena. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente.   | 13.112                                 |
| Puente                 | Av. Rómulo Betancourt | 548048 E<br>1066352 N | Regular. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente. | 140.699                                |
| Alcantarilla triple    | Av. Universidad       | 547192 E<br>1070912 N | Buena. Maleza alta presente.                                 | 35.327                                 |
| Alcantarilla cuádruple | Av. Universidad       | 546720 E<br>1070490 N | Buena. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente.   | 45.306                                 |

**Nota:** \*: obtenida a través de la ecuación de Manning, empleando la pendiente media del cauce principal

### Modelación del comportamiento hidrológico de quebrada La Yaguara en su intersección con las Avenidas Universidad, Bolívar y Rómulo Betancourt ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo

El Cuadro 7 resume los caudales máximos obtenidos durante la modelación hidrológica en los puntos de cierre de las subcuencas que conforman la cuenca La Yaguara.

**Cuadro 7.** Caudal pico simulado de la quebrada La Yaguara en los puntos de interés bajo una tormenta de 160 minutos de duración para diferentes tiempos de retorno

| Denominación  | Caudal máximo instantáneo (m/s) |              |              |
|---------------|---------------------------------|--------------|--------------|
|               | Tr = 10 años                    | Tr = 25 años | Tr = 50 años |
| Universidad 1 | 59,24                           | 75,57        | 89,37        |
| Universidad 2 | 129,76                          | 168,35       | 222,54       |
| Yaguara 1 *   | 207,32                          | 277,85       | 339,13       |
| Yaguara 2     | 7,974                           | 9,72         | 11,11        |
| Yaguara 3     | 31,39                           | 39,95        | 47,03        |
| Yaguara 4     | 19,99                           | 23,97        | 27,16        |
| La Culebra    | 314,67                          | 425,48       | 505,40       |

**Nota:** \* engloba Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 1

Evaluación de la respuesta de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el **corto plazo**.

El Cuadro 8 muestra en sinopsis la respuesta de cada una de las estructuras de drenaje existente sobre la quebrada La Yaguara ante los diferentes escenarios de tormenta. Resulta evidente que de seguir la expansión urbana a lo largo de la cuenca La Yaguara (en especial, en las subcuencas Yaguara 1 y Yaguara 2) se generarán cauces torrenciales que colapsaran casi la totalidad de las estructuras de drenaje, por consiguiente, se vaticina el desbordamiento de la referida quebrada en aquellos sitios donde la topografía del terreno lo permita.

**Cuadro 8.** Respuesta de las estructuras de drenaje ubicadas sobre la quebrada La Yaguara durante un evento de tormenta de 160 minutos de duración en función del periodo de retorno del evento

| <b>Respuesta ante el evento</b> |                                   |                     |                     |                     |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Subcuenca</b>                | <b>Tipología de la estructura</b> | <b>Tr = 10 años</b> | <b>Tr = 25 años</b> | <b>Tr = 50 años</b> |
| Universidad 1                   | Alcantarilla triple               | Colapso             | Colapso             | Colapso             |
| Universidad 2                   | Alcantarilla cuádruple            | Colapso             | Colapso             | Colapso             |
| Yaguara 1                       | Cajón                             | Colapso             | Colapso             | Colapso             |
| Yaguara 2                       | Alcantarilla simple               | Colapso             | Colapso             | Colapso             |
| Yaguara 3                       | Cajón                             | Sin problema *      | Sin problema *      | Sin problema *      |
| Yaguara 4                       | Alcantarilla simple               | Colapso             | Colapso             | Colapso             |
| La Culebra                      | Puente                            | Colapso             | Colapso             | Colapso             |

**Nota:** \* engloba Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 1

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del presente estudio, se concluye:

1. La cuenca La Yaguara posee una fisiografía caracterizada por la predominancia de terrenos con pendientes menores al 10 %, suelos con texturas arcillolimoso, índice de cobertura vegetal menor al 50 % del área total, profundidad de la mesa de agua por debajo de los 4 m y emplazamientos urbanos de gran extensión al norte y noroeste; por consiguiente tendera a generar grandes escurrimientos antes eventos de tormentas de bajo periodo de retorno.
2. El clima es del tipo subhúmedo seco, siendo la evapotranspiración real media de 2076.3 mm/año; los eventos de tormentas generalmente se asocia al enfriamiento convectivo del aire con la consecuente formación de celdas de gran desarrollo vertical, las tormentas pueden presentarse durante el periodo seco y suelen tener una intensidad media del orden de 60 mm/h, los eventos más extremos se suelen presentar en el extremo noroeste de la divisoria.
3. De seguir en pie los proyectos urbanísticos hasta hoy planteado por el gobierno nacional, regional y el sector privado se vaticinan gastos picos de 315, 426 y 505 m<sup>3</sup>/s para tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente, a la altura de la Avenida Rómulo Betancourt lo que supera ampliamente la capacidad de diseño de las estructuras de drenaje existente. Los tiempos al pico de los hidrograma son relativamente pequeños en diferentes locaciones de la cuenca, en consecuencia el tiempo para implementar una evacuación en caso de una inundación apenas supera las dos horas.
4. De presentarse una tormenta cuya duración superase los 130 minutos casi todas las

estructuras de drenaje colapsarían produciendo inundaciones en importantes avenidas, urbanizaciones y sectores populosos de la ciudad de San Carlos ubicados en el flanco sur de la troncal 05 en sentido San Carlos Valencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albano, L. y Guevara, E. 2006. Modelación de caudales máximos. Caso de estudio cuenca del río Caroní. Trabajo especial de grado. Programa de postgrado Ingeniería Ambiental. Universidad de Carabobo.
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Mijares, F. 1987. Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega Editores, México.
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. 1988. Applied hydrologic. McGraw-Hill, New York, NY.
- Dyhouse, G., Hatchett, J. y Benn, J. 2003. Floodplain modeling using HEC-RAS. Primera edición. Haestad Press, USA.
- Empresa Regional Desarrollo Hidráulicos Cojedes (ERDHCA). 1999. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río San Carlos. Estados Cojedes, Yaracuy y Carabobo. Documento técnico de ERDHCA
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Machado, J. 1979. Fundamentos del ciclo hidrológico. Universidad Central de Venezuela. Capítulo IV
- Mijares, F. 1987. Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega Editores, México.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). 1963. Manual de clasificación de tierras con fines de riego. Documento técnico de la Dirección de Obras Hidráulicas, División de Agroeconomía del MOP.
- Rojas, R. 2005. Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Universidad de Los Andes.

