

Vulnerabilidad ante inundaciones en un sector de la ciudad de Coro sobre Sistema de Información Geográfica

INTRODUCCIÓN

El Estado Falcón está territorialmente ubicado en la zona occidental del país, La Ciudad de Coro, capital del Estado, es una de las más importantes de Venezuela, dado que conjuntamente con La Vela fueron declaradas Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. En la última década, la ciudad ha experimentado un crecimiento urbano significativo, lo que ha incrementado en gran medida la presión sobre los servicios públicos (agua potable, electricidad, aseo urbano y sistemas hidrosanitarios) incluyendo la vialidad urbana (las calles y avenidas de la ciudad). En tal sentido, en los últimos años, el Gobierno Regional ha invertido cuantiosos recursos en la reparación y rehabilitación del sistema vial existente lo cual ha originado modificaciones en los patrones de drenaje pluvial urbano que progresivamente han ido afectando la capacidad de evacuación del sistema de drenaje superficial actual.

En general, el sistema de drenaje de la ciudad está constituido por 30 canales tanto artificiales como naturales, y más de 5 kilómetros de colectores enterrados que atraviesan la ciudad en varias direcciones y que conducen las aguas pluviales a los sitios de vertido final. La topografía urbana de la ciudad hace que aproximadamente el 70% de la escorrentía de origen pluvial drene a través de calles y colectores enterrados hacia el noreste y el resto fluya en dirección oeste en donde predominan los canales artificiales y naturales.

En la actualidad los problemas de inundaciones de origen pluvial se han venido agravando en la zona oeste de la ciudad, originando daños tanto a la infraestructura vial, como a viviendas y edificaciones que se encuentran expuestas a este tipo de fenómeno natural. Muchas comunidades suelen ocupar y habitar zonas urbanas muy cer-

Resumen / Abstract

Las inundaciones pluviales ocurridas en la última década en La Ciudad de Coro, capital del Estado Falcón, han generado daños considerables a bienes inmuebles y a la propia infraestructura urbana. Este artículo presenta una evaluación de vulnerabilidad a las inundaciones pluviales en el Sector Oeste de la Ciudad utilizando aplicaciones SIG específicamente las herramientas de representación y análisis espacial que ofrecen los Sistema de Información Geográfica. Adicional a esto, se evaluó el comportamiento hidrodinámico del principal afluente localizado en la zona, apoyado en el uso de un modelo de simulación de flujo superficial libre. Como resultado relevante, se elaboró el mapa de vulnerabilidad de la zona en estudio y se recopiló información básica útil para mejorar la gestión de inundaciones pluviales en la cuenca urbana.

Palabras clave: vulnerabilidad, inundaciones urbanas, sistemas de drenaje pluvial.

Floodings occurred in the last decade in Coro, Falcon State capital, have generated considerable damage to real estate property and urban infrastructure. This work presents an assessment of urban flooding vulnerability in the western urban catchment of the city by using GIS applications. The aim of research is to estimate physical vulnerability of drainage system using spatial analysis facilities provided by GIS tools. In addition, hydrodynamic behavior of the main urban river located in the area was evaluated, by using a one-dimensional unsteady flow model. Also, the flood vulnerability map was elaborated. The scope of this article merely shows preliminary results of vulnerability analysis, however, the basic information gathered and processed and the methodology will improve stormwater flood management in Coro.

Keywords: vulnerability, urban floods, urban stormwater systems.

Mariangel Emilia López, CIDRHI. Univ. Nac. Experimental Francisco de Miranda, Falcón, Venezuela

email: mariangelelopez@gmail.com

Luis Alejandro Sánchez, CIDRHI. Univ. Nac. Experimental Francisco de Miranda, Falcón, Venezuela

email: luisanchezr@yahoo.com

canas a quebradas y ríos, sin ponderar las características topográficas de estas áreas y los daños que puedan producirse al ubicar sus viviendas en espacios de alto riesgo.

Aunado al tema la zonificación del riesgo en una cuenca urbana se constituye como uno de los factores determinantes de su ordenamiento, ya que condiciona el uso del suelo y el crecimiento urbanístico, (Bertoni 2006). Hasta la fecha, la Ciudad de Coro en su poligonal urbana, no ha sido sometida a ningún estudio que permita obtener una zonificación adecuada del riesgo asociado a las inundaciones pluviales.

Este trabajo, está destinado a estimar la vulnerabilidad pluvial de la zona noroeste de la ciudad de Coro, con la finalidad de obtener como producto final mapas temáticos representativos de la variabilidad espacial de las zonas más expuestas a sufrir perjuicios por inundaciones urbanas. Como aporte adicional, se realizó la modelación hidrodinámica de la quebrada de Chabe, principal afluente urbano de la zona oeste de la ciudad, a fin de obtener la mancha de inundación y el mapa de peligrosidad pluvial, lo que posteriormente permitirá construir un mapa de riesgo asociado a las inundaciones de origen pluvial.

Cabe mencionar que la iniciativa de construir el mapa temático de vulnerabilidad para Coro, se plantea en una primera fase en parte de la zona noroeste, que comprende los sectores de urbanización Cruz Verde, urbanización Antonio José de Sucre, urbanización Andrés Bello, barrio La Florida, barrio 28 de Julio y la urbanización Las Velitas, pero en trabajos posteriores se tiene previsto extrapolar esta metodología a toda la poligonal urbana de la ciudad.

El alcance de este artículo se limita a mostrar los resultados preliminares del análisis y evaluación de vulnerabilidad pluvial en la zona, sin embargo, la información básica recopilada y procesada así como la metodología aplicada, forman parte de todo un Sistema de gestión de inundaciones pluviales que busca la modernización en la gestión de los sistemas de drenaje del municipio Miranda y que está concebido para ser aplicado inicialmente en Coro como un proyecto piloto, pero que está siendo estructurado de modo que pueda extenderse a otras regiones del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estructuró en un total de cinco (4) fases, desarrollándose de la siguiente manera: La primera fase (fase I) que consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva sobre los criterios para valorar cualitativa y cuantitativamente la vulnerabilidad pluvial urbana, al respecto se consultaron fuentes nacionales e internacionales. Posteriormente, se procedió a recolectar la informa-

ción catastral, cartográfica, y documental que concierne a la zonificación y uso de suelo en la zona. Para ello, se realizaron visitas a los distintos organismos públicos y entes gubernamentales con competencia en el tema. Hecha la revisión bibliográfica se procedió a seleccionar cada una de las herramientas informáticas a utilizar entre las que destacan: Autocad versión 2008, ArcView GIS 3.3 y el modelo HecRas 4.0

El instrumento para la recopilación de información de campo fue una encuesta socio-económica diseñada exclusivamente para el caso de estudio, en la que se consideraron aspectos físicos-estructurales, socio-económicos y humanos, y aspectos relacionados con la ocurrencia de eventos naturales y su afectación en las edificaciones de la zona. Para seleccionar la muestra de la zona a encuestar se utilizó el criterio de clasificación de muestreo intencional o de juicio basado en el criterio de expertos.

Luego, mediante fotointerpretación de imágenes de satélite se delimitó el área específica del estudio y las viviendas que serían sujetas a la encuesta. Para la segunda fase (fase II), se definieron y seleccionaron los criterios para obtener los indicadores de vulnerabilidad pluvial, y se realizó un inventario de la infraestructura más susceptible de ser impactada inundaciones pluviales.

También, se sistematizó toda la información obtenida en la fase I incorporando la información de trabajos ya realizados en la zona, lo que contribuyó a obtener una base de datos espacial con alto grado de detalle, caracterizada por el tipo de infraestructura de drenaje por manzana y calle y así como las características de los bienes inmuebles, todo ello soportado con reportes fotográficos.

Para la tercera fase (fase III), se realizó la modelación hidrodinámica de la quebrada de Chabe, que es el afluente más importante y con mayor área de influencia en la zona, a fin de obtener el mapa de amenaza, específicamente el área de extensión de la mancha de



Figura 1.- Vista de la zona de estudio.

inundación, todo esto a partir del Modelo de Elevación Digital MED elaborado y corregido por (Sánchez y Méndez 2009). Al no contar con registros hidrométricos en el canal, se procedió a tomar los resultados de estudios hidrológicos realizados en trabajos anteriores. Las crecientes obtenidas en estos estudios provienen de la aplicación de modelos paramétricos lluvia-escorrentía en la cuenca urbana que drena hacia dicha quebrada, en tal sentido la simulación hidráulica se realizó para tormentas con distintas probabilidades de ocurrencia TR = 10, 50 y 500 años.

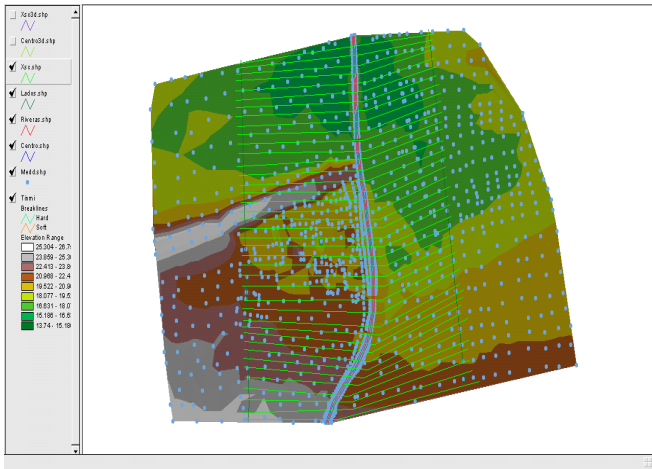


Figura 2.- Modelo de elevación digital.

En la cuarta fase (fase IV), se elaboraron los mapas temáticos de vulnerabilidad. Para ello, se seleccionaron los indicadores de vulnerabilidad tomando en consideración las recomendaciones y sugerencias expuestas por otros autores, al igual que se definieron indicadores propios, que permitieron estructurar las matrices de valoración cualitativa para evaluar cada uno de los mapas temáticos de vulnerabilidad, tanto para la vulnerabilidad física como social. Para la elaboración de estos mapas se utilizó la herramienta ArcView GIS 3.3, así mismo se realizó una representación físico- espacial de la zona incluyendo la base de datos con la memoria fotográfica.

RESULTADOS

El resultado más relevante obtenido a partir del trabajo de campo, consistió en un inventario detallado de las características físicas de la zona en estudio. Uno de los factores sociales resaltantes es la cantidad de habitantes por vivienda, ya que esta permitió conocer la cantidad de personas a ser evacuadas y el orden de los mismos (niños, ancianos, adolescentes, mujeres embarazadas). También se pudo evaluar el tipo de vivienda, el tipo de construcción, la calidad de la vivienda, los materiales usados en la construcción de la vivienda, el acceso a las mismas ya que esto prepara directamente a los equipos y organismos de rescate para atacar exactamente aquellas zonas vulnerables.

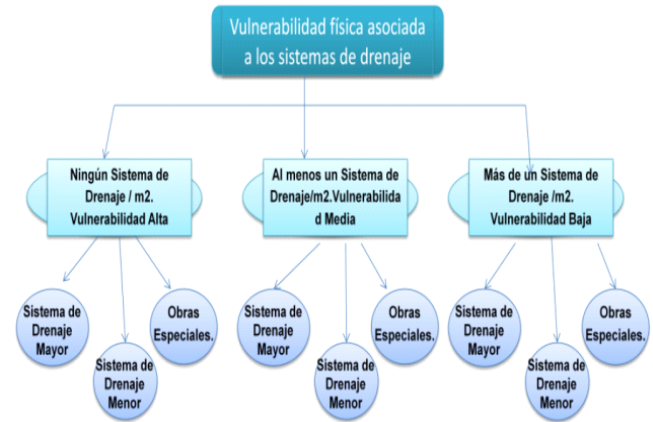


Figura 3.- Vulnerabilidad física asociada a los sistemas de drenaje.

Con los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta socioeconómica, y del inventario realizado a las viviendas e infraestructura urbana, se elaboró la base de datos soportada en plataforma SIG. Esta base de datos geográfica facilitó el manejo de los datos requeridos para evaluar la zona y asignar la valoración cualitativa a cada zona. Así mismo se realizaron los mapas esquemáticos que ayudaron a definir la creación de los mapas.

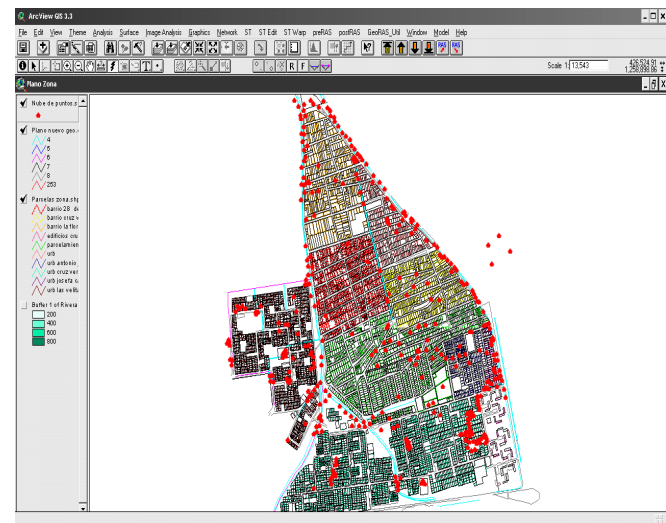


Figura 4.- Base de datos apoyada en plataforma SIG

Como resultado relevante obtenido de la Modelación Hidrodinámica a partir de la implementación del modelo de simulación unidimensional, se puede concluir que tanto para la tormenta de diseño como para lluvias extremas con periodos de retorno mayores de 500 años, la capacidad de conducción de la quebrada no se ve superada.

Sin embargo, a fin de analizar cualitativamente los perfiles de flujo a lo largo de toda la quebrada, se realizaron simulaciones para tormentas con probabilidad de ocurrencia mayores, lo cual permitió evaluar detalladamente cada

una de las secciones típicas, constatando que los tirantes no presentan variaciones importantes de una sección a la otra, no obstante, en las riberas que presentan cotas más bajas el nivel de agua sobrepasa la sección de canal generando por consiguiente una inundación que se extiende unos 15 metros hacia la planicie urbana (Zambrano 2009) .

Estos resultados, permiten inferir que para los escenarios inicialmente analizados de lluvias con periodos de retorno entre 10 y 500 años, el mapa de peligrosidad pluvial no se extiende más allá de la sección trapecial del canal.

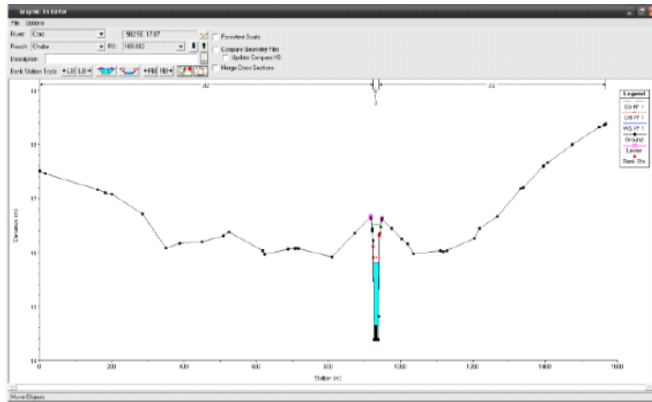


Figura 5.- Resultados de la Modelación Hidrodinámica.

La estimación cualitativa a la propensión del daño se ve afectada por las características físicas y no físicas de la zona en estudio mencionada anteriormente. Estos factores, son los determinantes de las matrices de decisión que se tomarán en cuenta para evaluar los mapas de vulnerabilidad cualitativos que se obtendrán de acuerdo con los indicadores establecidos bajo los criterios de algunos autores, (Fang 2009); (Hauger et al. 2006), (Smith et al. 2004) y los establecidos en este trabajo.

La estimación la vulnerabilidad social es de gran importancia para este estudio ya que está es la que define el estado general en que se encuentran los sectores. El buen desempeño de los organismos gubernamentales y comunitarios son los que van a precisar una adecuada planificación y administración de los recursos tanto humanos como materiales en caso de un evento extremo.

Además, la preparación y capacitación de las personas residentes en las zonas de riesgo es imprescindible para la disminución de las pérdidas físicas y no físicas en caso de un desbordamiento e igualmente ayudaría a prevenir la ocurrencia del mismo. En base a esto, se pudo citar un esquema de los índices de vulnerabilidad social diseñados en esta investigación, con el fin de obtener un mapa de vulnerabilidad social de la zona de estudio.

Vulnerabilidad Social			
	Baja	Media	Alta
Organización Comunitaria	Buena organización comunitaria	Organización comunitaria moderadora	Poca organización comunitaria
calidad de vida	Buena calidad de vida	Calidad de vida media	Mala calidad de vida
Conocimiento sobre el riesgo producto de las inundaciones pluviales	Población con conocimiento sobre el riesgo a las inundaciones pluviales	Población con poco conocimiento sobre el riesgo a las inundaciones pluviales	Población sin conocimiento sobre el riesgo a las inundaciones pluviales

Figura 6.- Cuadro evaluativo de la vulnerabilidad social

En base a la recolección de los datos aplicados por las encuestas se pudo precisar que la mayoría de las zonas estudiadas están compuestas por un consejo comunal que se encarga de la administración y coordinación de cada sector. Sin embargo en la mayoría de estos casos ninguno cumple con las actividades requeridas que deberían deteriorando el buen funcionamiento de la comunidad y una mejor calidad de vida.

Los Mapas temáticos de Vulnerabilidad Física y Social que se obtuvieron, de acuerdo con los análisis realizados en la aplicación de los indicadores de vulnerabilidad, utilizando el SIG ArcView 3.3 se observar expresar las zonas más vulnerables a las inundaciones pluviales. Además de todos los factores que afectan la zona y se señalan las más afectadas, tanto para la vulnerabilidad física como social.

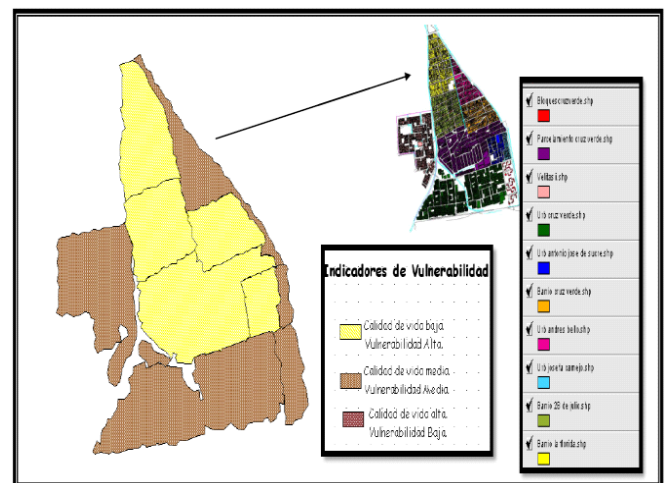


Figura 7.- Mapa de Vulnerabilidad Social asociado a la calidad de vida.

El estudio de la vulnerabilidad física asociada a los sistemas de drenaje se precisa de acuerdo con las obras existentes por cada calle perteneciente a una manzana de la zona, a continuación se muestra la matriz de valoración para este caso.

Vulnerabilidad física asociada a los Sistemas de Drenaje	Sistema de Drenaje Menor	Sistemas de Drenaje Mayor.	Obras Especiales.
Ningun Sistema de Drenaje / m2. Vulnerabilidad Alta	AA	AM	AB
Al menos un Sistema de Drenaje/m2. Vulnerabilidad Media	MA	MM	MB
Mas de un Sistema de Drenaje /m2. Vulnerabilidad Baja.	BA	BM	BB

Figura 8.- Cuadro evaluativo de la vulnerabilidad física asociada a los sistemas de drenaje.

Es preciso, destacar que este tipo de vulnerabilidad a pesar de ser mas importante al momento de tomar decisiones y de analizar espacialmente la zona estudiada, es la más compleja de valorar, ya que requiere un conocimiento exhaustivo y detallado de todas y cada unas de las obras existentes y de su zona de influencia, dentro del área que se pretende analizar. El peso y la ponderación que se le otorgue a cada uno de los indicadores que se muestran en la matriz es un factor clave en la elaboración del mapa temático de vulnerabilidad correspondiente.

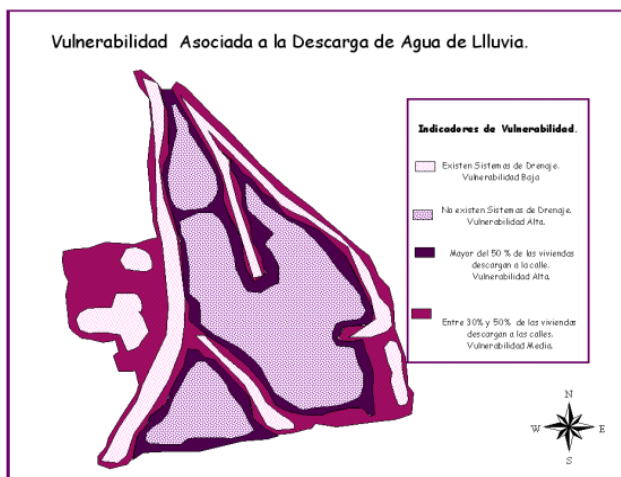


Figura 9.- Mapa de vulnerabilidad asociado a la descarga de aguas de lluvia.

CONCLUSIONES

- Los resultados más resaltantes de esta investigación radican en la obtención de los distintos mapas de vulnerabilidad, mediante la creación de temas tipo vectorial que posteriormente pueden combinarse con el mapa de amenaza para generar los diversos mapas de peligrosidad.

Estos mapas permiten mediante una gama de colores, determinar las zonas específicas de vulnerabilidad pluvial, que van desde la más vulnerable (vulnerabilidad alta) hasta las menos afectadas (vulnerabilidad baja).

- Los mapas de vulnerabilidad y peligrosidad constituyen un aporte directo para los entes gubernamentales y asociaciones como protección civil para elaborar planes de alerta temprana.

- Luego de la revisión bibliográfica exhaustiva, se puede concluir que no existe consenso entre los autores a cerca de los criterios de valoración de la vulnerabilidad pluvial en ambientes urbanos.

- De acuerdo con el mapa de vulnerabilidad física las zonas más propensas al daño son Barrio La Florida, Barrio 28 de Julio, Barrio Cruz Verde, las mismas presentan varios tipos de vulnerabilidad alta, representando la zona más vulnerable del Sector Oeste de la Ciudad de Coro, seguidas a estas, se encuentra parte del parcelamiento Cruz Verde y la urbanización Cruz Verde que se ven afectadas en mayor medida por el grado de exposición al canal.

- Al observar los tres mapas de vulnerabilidad social se puede concluir que las comunidades más expuestas a sufrir daños son parcelamiento Cruz Verde, urbanización Antonio José de Sucre, urbanización Josefa Camejo, barrio La Florida.

- La modelación hidrodinámica para estimar las zonas de peligrosidad pluvial, permitió inferir que para los periodos de retorno tanto de diseño como de chequeo para este tipo de estudios, las profundidades de flujo no desbordan al canal.

- Aunque el objetivo del presente trabajo se limitó a elaborar los mapas de vulnerabilidad pluvial, con la información de campo levantada queda disponible la información básica para los posteriores análisis de riesgo pluvial. Adicionalmente, este trabajo representa un insumo indispensable para ser utilizada por las autoridades y entes gubernamentales, a fin de implementar medidas estructurales y no estructurales que contribuyan a mejorar el funcionamiento del Sistema de Drenaje existente.

RECOMENDACIONES

Una vez culminados los objetivos de esta investigación, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios para estimar los mapas temáticos específicos tanto de vulnerabilidad como de peligrosidad y riesgo pluvial, para conocer la distribución espacial de dichas variables y al mismo tiempo cuantificarlas dentro

de la zona urbana de la ciudad. Así mismo estos mapas deben ayudar a hacer frente a un evento de baja probabilidad pero con importantes consecuencias; es decir, destacar las zonas más vulnerables para actuar primeramente en ellas.

- Desarrollar un estudio más detallado acerca de los sistemas de drenaje de la zona y evaluar la factibilidad técnica y económica para la implementación de nuevas obras de drenaje que contribuyan a la reducción del riesgo de inundación.

- Sistematizar la metodología aplicada en esta investigación para el uso y manejo de los sistemas de información geográfica (SIG) en la gestión de los Sistemas de drenaje Pluvial Urbano, a ser empleadas en todas las instituciones gubernamentales, y de esta manera poder obtener una mejor organización de la información que actualmente se encuentra dispersa.

- Exhortar a los entes gubernamentales a tomar en consideración las zonas más vulnerables para incrementar el financiamiento a los consejos comunales y de esta manera contribuir a mejorar la organización comunitaria y beneficiar la calidad de vida de los habitantes.

REFERENCIAS

Bertoni, J. (2006). "Necesidad de una gestión integrada de inundaciones urbanas en América Latina: casos en

Argentina, El salvador y Nicaragua", Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua, Universidad de Córdoba, Argentina, Ponencia en el IV Foro Mundial del Agua México.

Fang, Z. (2009). "A function-oriented methodology of flood vulnerability assessment", Tesis de Maestría, Delft University of Technology. Netherlands.

Hauger, M.B., Mouchel, J.M., y Mikkelsen, P.S. (2006). "Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage". Water Science and technology IWA Publishing, Vol. 54, No. 6-7, pp. 441-450, London.

Sánchez, L. y Méndez, L. (2009). "Modelo de elevación digital e informatización del sistema de drenaje mayor y menor de la zona oeste de la ciudad de Santa Ana de Coro, Falcón". Trabajo Especial de Grado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Falcón, Venezuela.

Smith, R.A., Vélez, J.A., Rave, C.C., Caballero, H., Botero, V., y Escobar, D. (2004) "Evaluación de Riesgos por Amenazas Naturales en Cuencas Urbanas", XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Paulo, Brasil, IARH.

Zambrano, D. (2009) "Evaluación de la Respuesta Hidrodinámica de la Quebrada de Chabe Empleando un Modelo Hidráulico Unidimensional. Coro-Falcón". Trabajo Especial de Grado. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" Falcón, Venezuela.

Recibido: mayo del 2011
Aprobado: junio del 2011