

Análisis del escurrimiento de la cuenca ubicada aguas abajo del sector Nuevo Juan, municipio Cabimas

María Gutiérrez, Yoalis González y Hernán Arismendi

*Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago,
Programa de Ingeniería, Cabimas, Venezuela.
malejandra26@hotmail.com*

Resumen

El crecimiento poblacional y la urbanización, alteran el flujo natural en las cuencas, incrementan el volumen y la velocidad de la escorrentía y producen grandes caudales de crecientes. El propósito del estudio fue analizar el volumen y comportamiento del escurrimiento, aguas abajo del sector Nuevo Juan, Municipio Cabimas durante un evento de precipitación. Se evaluó la capacidad hidráulica del canal de drenaje que inicia entre las Avenidas Miraflores, Principal Las Cabillas y la Carretera "J", y finaliza en la intersección de las Avenidas Campo Blanco y Hollywood, al igual que el volumen y comportamiento del escurrimiento superficial y la infiltración producida, empleándose para ello el programa HEC-HMS. Los resultados indican que el caudal pico, se produce al transcurrir 6 horas del comienzo de las precipitaciones. Luego de 7 horas y 15 minutos de descarga pluvial, se observa que las subcuencas han alcanzado la capacidad máxima de infiltración del suelo, por lo que toda la precipitación, se transforma en escurrimiento superficial y genera un problema de acumulación de agua. Las inundaciones generadas en la zona, son causadas por la insuficiente capacidad de drenaje del canal ubicado debajo del monumento al Trabajador Petrolero. Sin embargo, el alto porcentaje de áreas impermeables en la zona, los desechos sólidos acumulados, el crecimiento de maleza y el aporte de aguas negras de los colectores desbordados al producirse precipitaciones de gran intensidad, son factores que inciden en el aumento del caudal de aguas de lluvias que escurre por las calles de la zona, agravando el problema.

Palabras clave: infiltración, cuenca, precipitación, caudal, simulación.

Runoff Analysis of the Basin Downstream from the Nuevo Juan Sector, Municipality of Cabimas

Abstract

Population growth and urbanization modify the natural flow in basins, increase the volume and velocity of runoff and also produce large flows. The purpose of this study was to analyze runoff behavior and volume downstream of the Nuevo Juan sector, Municipality of Cabimas, during a precipitation event. Using the HEC-HMS program, hydraulic capacity of the drainage channel that starts between Miraflores, Principal Las Cabillas and Highway J and ends at the intersection of Hollywood and Campo Blanco Avenues was evaluated, as was the volume and behavior of surface runoff and the infiltration produced. Results indicate that peak discharge is produced after 6 hours of precipitation. After 7 hours and 15 minutes of stormwater discharge, sub-basin areas reach the maximum soil infiltration capacity, so that all precipitation becomes surface runoff and generates water accumulation. Floods generated in the area are caused by insufficient drainage capacity of the channel located under the Trabajador Petrolero (Oil Worker) Monument. However, the high percentage of impermeable areas in the zone, accumulated solid wastes, weed growth and the contribution of sewage from overflowing collectors after high-intensity rainfalls are factors that increase the rainwater flow that runs off the streets, making the situation worse.

Keywords: infiltration, basin, precipitation, flow, simulation.

Introducción

El sistema de drenaje del Municipio Cabimas, está conformado por canales naturales y artificiales, que drenan en dirección este a oeste y son interceptados por los canales ubicados en la Avenida Intercomunal. Dicho sistema, no posee la capacidad necesaria para drenar toda el agua proveniente de los urbanismos.

El incumplimiento de normativas y la poca regulación que existe hacia los desarrolladores de viviendas y obras de gran magnitud, han sido elementos clave para que existan los problemas de hoy en día, pues sus actuaciones han sido independientes unas de otras, resolviendo la problemática particular al interior de cada uno de los desarrollos urbanos, sin una concepción integral del entorno en cuanto a servicios e infraestructura, desatendiendo aspectos de suma importancia, como el drenaje pluvial.

Por otra parte, la falta de una visión de futuro y de una planeación integral de la ciudad, son determinantes para que en la actualidad se presenten problemas de gran relevancia como el que refiere el desalojo de agua pluvial, los cuales año con año provocan inundaciones en la ciudad de Cabimas, siendo el área ubicada aguas abajo del Sector Nuevo Juan, una de las zonas más afectadas.

Es muy común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abun-

dantes que los de escurrimiento y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación.

La planificación del tamaño y ubicación de los canales que componen el sistema de drenaje, debe realizarse en función de la determinación de los caudales que fluyen hacia ellos. Para ello, se emplea la formulación matemática de modelos para los sistemas de aguas urbanas distribuidos tanto en el tiempo como en el espacio. Algún tipo de variación espacial puede introducirse, dividiendo el sistema de la cuenca en varios subsistemas, cada uno de los cuales se considera como agregado, y luego se unen estos modelos de sistemas agregados para producir un modelo del sistema completo.

Los modelos matemáticos pueden utilizarse como herramienta para planeación y administración. En particular, se han propuesto varios modelos para la simulación de cuencas en computadores. La determinación del volumen de escorrentía y el caudal pico son asuntos muy importantes en el manejo de aguas de lluvias urbanas, y los métodos para calcular estas variables van desde la fórmula racional, hasta los más avanzados modelos de simulación en computador, tal como el *Storm Water Management*.

El HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa (Nanía, 2007).

El modelo está diseñado para estimar los caudales de salida en una cuenca o varias sub-cuencas, a partir de unas condiciones de lluvias dadas.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas, son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca, como en el meteorológico.

El modelo de la cuenca representa a la cuenca física, la cual está formada por un conjunto de sub-áreas interconectadas entre sí, denominadas sub-cuencas. A medida que se desarrolla dicho modelo, se deben ir conectando elementos hidrológicos, tales como: sub-cuencas (*Subbasins*), tramos (*Reaches*), uniones (*Junctions*),

fuentes (*Sources*), sumideros (*Sinks*), depósitos (*Reservoirs*) y derivaciones (*Diversions*), los cuales a su vez, emplean modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca en estudio.

El programa HEC-HMS permite simular eventos aislados de crecientes asociados con un patrón de tormenta de diseño para un cierto período de retorno (Cañón, 2007).

Los resultados arrojados por HEC-HMS permiten:

1. Dimensionar obras de control de inundaciones como piscinas de amortiguamiento de crecientes y embalses.
2. Establecer dimensiones preliminares de alcantarillas viales y sistemas de drenaje pluvial.
3. Estudiar el impacto ambiental de las crecientes, causado por la transformación del uso de los suelos en cuencas rurales y urbanas.

Por otro lado, los resultados de HEC-HMS NO permiten:

1. Establecer un balance hidrológico confiable de la cuenca.
2. Hacer estudios de calidad de agua, erosión ni sedimentación.
3. Trabajar con flujos diferentes al agua, tales como flujos de lodos o de detritos, que pueden estar asociados directamente con las crecientes pero que tienen diferentes comportamientos reológicos.

La información que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja. Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones (Sánchez, 2008):

1. Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
2. Información acerca de las características del suelo.
3. Información morfométrica de las sub-cuencas.
4. Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
5. Información hidráulica de los tramos de canal y de las capacidades de los embalses (métodos de tránsito).

Colina, Maldonado y Rivero (1992), realizaron una investigación denominada "Cálculo de las diferentes obras de drenaje vial y urbano con el uso del computador", la cual tuvo como finalidad minimizar el tiempo de cálculo para el diseño hidráulico usando programas de computación que siguen los procedimientos de cálculo.

Delgado G. Carlos A. (2007), realizó un trabajo de grado denominado "Evaluación del sistema de drenaje en la Sub-cuenca del sector Nuevo Juan de Cabimas", en el cual se plantea el estudio hidrológico e hidráulico, que permita evaluar el sistema de drenaje existente en el sector Nuevo Juan de Cabimas a fin de disminuir el volumen de agua sobre el pavimento.

La conducción del agua de lluvia y control de avenidas debe tomar en consideración todas las interrelaciones importantes, además de considerar la cantidad del escurrimiento. Por ello, se consideró conveniente en esta investigación analizar el volumen y comportamiento del escurrimiento, aguas abajo del sector Nuevo Juan, Municipio Cabimas durante un evento de precipitación.

Metodología

A continuación se muestran las fases cumplidas para la realización del proyecto, así como los datos que debieron ser proporcionados, los cuales dependen del método de cálculo escogido en cada caso:

1. Delimitación y división de la cuenca

Para poder aplicar el modelo en la cuenca en estudio fue necesario descomponer su área en sub-cuencas con el fin de evaluar individualmente cada segmento de escorrentía, disminuir la variabilidad hidro-meteorológica e hidráulica y mejorar los resultados de la simulación. Esta división fue realizada tomando en cuenta la pendiente, superficie y obras de drenajes presentes en la zona (Figura 1). Utilizando como base la inspección y mediciones tomadas en campo, a través de visitas realizadas a las sub-cuencas. Además de la información obtenida de los planos de la ciudad de Cabimas a Escala 1:12.500 con curvas de nivel a intervalos a cada 5 m y planos de escala 1:5.000 para demarcar aproximadamente las áreas contribuyentes a cada segmento de escorrentía.

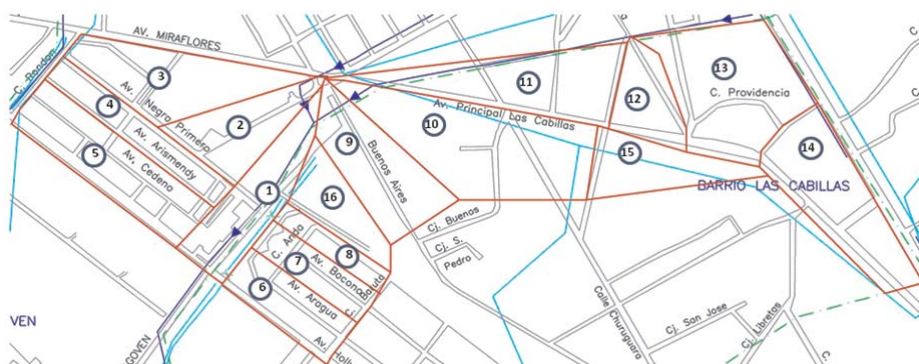


Figura 1. Plano cartográfico de la zona en estudio con división de sub-cuencas.

2. Precipitación histórica o de diseño

El método escogido para definir la tormenta histórica o de diseño, es el hietograma especificado por el usuario. Por lo tanto, se recolectaron los registros de tormentas (día de inicio y finalización, así como intervalo de medición en minutos) en las estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca, que en este caso corresponde a la estación pluviométrica ubicada en el Hospital de Cabimas, por ser la más cercana al área en estudio.

Con estos datos, se procedió a la elaboración de las Curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f), que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferentes duraciones, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. En este caso el período de retorno utilizado fue de 50 años. Luego, con las máximas intensidades de precipitación para diversos intervalos de tiempo, elaboró el correspondiente hietograma, el cual es un gráfico que expresa precipitación en función del tiempo. Se construyó dividiendo el tiempo que duró la tormenta en n intervalos y midiendo la altura de precipitación que se tuvo en cada uno de ellos. Para este estudio se realizó un hietograma diario, por lo que los intervalos de precipitación considerados fueron de 15 minutos cada uno, para una tormenta de 24 horas de duración.

3. Condiciones de humedad del suelo

El método seleccionado para determinar las infiltraciones durante eventos de tormenta, es el del Número de Curva (CN) de SCS (*Soil Conservation Service*), en donde, el exceso de precipitación se obtiene restándole al hietograma de entrada, las pérdidas, siendo usado dicho exceso para calcular el hidrograma de salida de una sub-cuenca.

El valor del "CN" depende del grupo hidrológico del suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno, la precipitación antecedente, entre otros factores. Se proporcionaron al programa los datos recolectados sobre el porcentaje de áreas impermeables de cada sub-cuenca, los cuales también fueron utilizados para el cálculo de los diferentes "CN" de cada elemento, para luego calcular un "CN" promedio, de la siguiente manera: $CN_{prom} = \sum (\% \text{Uso de tierra} \times CN)$.

4. Morfometría de las sub-cuencas

Algunas de los datos que requiere HEC-HMS para realizar los cálculos no están explícitos en las ventanas. Las características morfométricas que debieron considerarse y suministrarse para cada sub-cuenca fueron las siguientes:

- Área de las sub-cuencas, para definir todos los cálculos de capacidad y conversión de los volúmenes de lluvia en escorrentía. Es el factor morfométrico de mayor importancia.

- Secciones transversales de los canales, longitudes de cauces principales y secundarios, pendientes, formas, rugosidades del lecho y superficie, para realizar los cálculos por el método de la Onda cinemática.

5. Proceso de transformación de lluvia en escorrentía y tránsito de los caudales a través de canales.

Esta es la parte más importante del modelo de simulación de HEC-HMS, para cual se seleccionó el método de tipo hidráulico físico, denominado Onda cinemática. Para la transformación de lluvia en escorrentía, el hidrograma de salida de la cuenca se define en tres planos:

El primero es de sobreflujo, al cual se le deben proporcionar datos de longitud, pendiente y rugosidad del terreno; que conduce a otro de colectores secundarios, que necesita datos de longitud, pendiente, n de Manning, forma y ancho del canal y talud lateral (xH:1V); y de éstos a un canal principal, definido por los mismos factores de los colectores y que en este estudio está conformado por el tramo del canal de drenaje que inicia entre las Avenidas Miraflores, Principal Las Cabillas y la Carretera "J", y tiene como punto final, la intersección entre las Avenidas Campo Blanco y Hollywood.

Para el tránsito de los caudales fue necesario suministrar la siguiente información por cada tipo de canal: Tipo de sección (prismática, trapezoidal o circular); Longitud del tramo del canal (m); Pendiente de la línea de energía en el tramo; Ancho del fondo (m); Talud lateral de la sección transversal (xH:1V); Coeficiente de rugosidad de Manning; Número mínimo de tramos o subdivisiones para realizar los cálculos.

El plano de escurrimiento de mayor orden es el canal principal de la sub-cuenca. Los canales intermedios entre el principal y el plano de sobre flujo superficial son los canales colectores (primer y segundo orden). En ciertas sub-cuencas se usó el canal sub-colector (primer orden) y canal-colector (segundo orden); asignando para cada nivel de canal (primer y segundo orden) el área promedio que drena cada uno.

6. Interconexión de elementos de la cuenca

Los elementos que conforman la cuenca en estudio se colocaron en forma de red dendrítica con un orden o secuencia lógica, de manera que los cálculos fueran realizados desde las sub-cuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo, utilizando tramos de tránsito (*routing reaches*) y uniones (*junctions*), para unir los demás elementos (Figura 2).

7. Calibración y validación del modelo

La calibración o estimación de parámetros y validación se basan en dos o más registros históricos de precipitación y caudales para un mismo evento. Si se cuenta sólo con dos registros lluvia-caudal por ejemplo, entonces uno debe ser usado en la calibración y el otro en la validación. Como estos registros son escasos en la mayoría

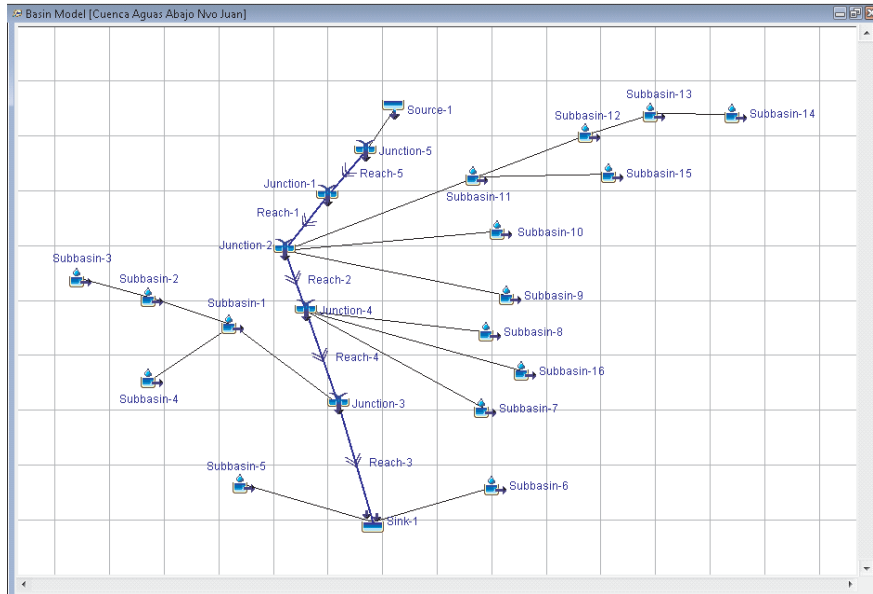


Figura 2. Esquema de la cuenca ubicada aguas abajo del sector Nuevo Juan de Cabimas.

de las cuencas, como es el caso de la cuenca en estudio, sólo se dispone de un registro, por lo cual no pueden realizarse la calibración, ni la validación.

Discusión de resultados

Del trabajo realizado por Delgado (2007), se pudo conocer el caudal de las aguas de lluvias que drena el canal abierto paralelo a la carretera "J", entre la Escuela Andrés Eloy Blanco y la E/S PDV, el cual tiene un valor de $14,33 \text{ m}^3/\text{seg}$ y alimenta al primer y segundo tramo del canal subterráneo de la cuenca objeto de estudio. Este tramo del canal subterráneo recolecta el agua proveniente del sector Nuevo Juan. A continuación, se presentan los resultados de los caudales máximos para cada punto de salida o uniones (*junctions*) de las subcuencas (*subbasins*), canales o tramos de tránsito (*reaches*) y el punto final de la simulación (*sink*) (Tabla 1).

Al realizar la simulación de la cuenca ubicada aguas abajo de ese sector, mediante el programa HEC-HMS, dio como resultado que el caudal en el primer tramo del canal abierto (Figura 3) es de $31,7 \text{ m}^3/\text{seg}$, al recolectar las aguas de lluvias que provienen del canal subterráneo y de las sub-cuencas 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

En el segundo tramo del canal abierto, el caudal alcanza un valor de $34,4 \text{ m}^3/\text{seg}$, al recibir el aporte de las sub-cuencas 1, 2, 3, 4, 7, 8 y 16. Finalmente, al llegar

Tabla 1. Resumen del análisis hidrológico de la cuenca ubicada en el sector Nuevo Juan

Elemento hidrológico	Área de drenaje (Km ²)	Caudal Pico (m ³ /seg)	Tiempo del pico	Volumen de descarga (mm)
Junction-1	0,745	14,3	15ago2008, 06:00	1800,39
Junction-2	1,086727	31,7	15ago2008, 18:00	1281,45
Junction-3	1,266915	40,4	15ago2008, 18:00	1120,05
Junction-4	1,145854	34,4	15ago2008, 18:00	1222,76
Junction-5	0,745	14,3	15ago2008, 12:00	1800,39
Reach-1	0,745	14,3	15ago2008, 12:00	1800,39
Reach-2	1,086727	31,3	15ago2008, 18:00	1281,5
Reach-3	1,266915	39,9	15ago2008, 18:00	1120,1
Reach-4	1,145854	34,3	15ago2008, 18:00	1222,77
Reach-5	0,745	14,3	15ago2008, 12:00	1800,39
Sink-1	1,347184	44,2	15ago2008, 18:00	1062,08
Source-1	0,745	14,3	15ago2008, 12:00	1800,39
Subbasin-1	0,121061	6	15ago2008, 18:00	147,7
Subbasin-10	0,078657	4,3	15ago2008, 18:00	150,41
Subbasin-11	0,226659	11,2	15ago2008, 18:00	150,75
Subbasin-12	0,129937	6,7	15ago2008, 18:00	149,75
Subbasin-13	0,106054	5,7	15ago2008, 18:00	149,25
Subbasin-14	0,053101	2,9	15ago2008, 18:00	149,71
Subbasin-15	0,050885	2,7	15ago2008, 18:00	147,13
Subbasin-16	0,010181	0,5	15ago2008, 18:00	139,91
Subbasin-2	0,063623	3,3	15ago2008, 18:00	145,51
Subbasin-3	0,035731	1,9	15ago2008, 18:00	147,25
Subbasin-4	0,025608	1,4	15ago2008, 18:00	146,76
Subbasin-5	0,053577	2,9	15ago2008, 18:00	147,69
Subbasin-6	0,026692	1,4	15ago2008, 18:00	143,3
Subbasin-7	0,02003	1,1	15ago2008, 18:00	147,46
Subbasin-8	0,028916	1,5	15ago2008, 18:00	141,32
Subbasin-9	0,036411	1,9	15ago2008, 18:00	145,4



Figura 3. Representación fotográfica del canal en estudio dividido por tramos.

el flujo al tercer y último tramo del análisis, su valor aumenta a $44,2 \text{ m}^3/\text{seg}$, al incorporarse el caudal proveniente de las sub-cuencas 5 y 6.

Los resultados de la simulación indican que el caudal pico y volumen máximo de escurrimiento, se produce a las 18 horas, después de 6 horas de precipitaciones. La capacidad máxima de infiltración se alcanza 1 hora y 15 minutos después de producirse el caudal máximo.

Al aplicar la fórmula de Manning para los diferentes tramos en estudio, tanto del canal subterráneo como del abierto, tomando en cuenta sus distintas dimensiones y características, se pudo conocer lo siguiente: el primer tramo del canal subterráneo es capaz de drenar un caudal de $12,90 \text{ m}^3/\text{seg}$, que comparado con el valor obtenido por el modelo matemático, es menor, lo que indica que este es el punto donde se puede empezar a generar la acumulación de agua que ocasiona los problemas de inundación en la zona. El segundo tramo, drena un caudal máximo de $20,90 \text{ m}^3/\text{seg}$, el cual es mayor al obtenido al realizar la simulación.

El primer tramo del canal abierto, es capaz de drenar un caudal máximo de $29,10 \text{ m}^3/\text{seg}$, el cual es menor al caudal resultante del programa al realizar el análisis. Los dos últimos tramos de dicho canal, tienen la capacidad para drenar $43,24 \text{ m}^3/\text{seg}$, la cual según los resultados, es suficiente para el caudal que llega al segundo tramo, pero es un poco menor al valor de caudal obtenido en el tercer y último tramo.

El canal subterráneo tiene la capacidad teórica de drenar el caudal calculado en el segundo tramo, pero la acumulación de agua que se produce en el primero, así

como el pronunciado ángulo de cruce de casi 90°, ente los dos tramos, ocasiona una disminución en la capacidad de desagüe, lo que conduce al represamiento de las aguas de lluvias, produciéndose a su vez, acumulación de agua en el pavimento e inundaciones en el área circundante al canal.

Una vez que las aguas de lluvias que provienen del canal subterráneo y del aporte de las subcuencas vecinas llegan al canal abierto, alcanzan un caudal máximo de 44,2 m³/seg, el cual hace trabajar el canal abierto a capacidad plena y lo desborda un poco.

Conclusiones

Las inundaciones generadas en la zona, son causadas por la insuficiente capacidad de drenaje del canal ubicado debajo del monumento al Trabajador Petrolero, la acumulación de agua producida en su primer tramo, disminuye la capacidad de desagüe, produciendo un represamiento de las aguas de lluvia, aguas arriba. Sin embargo, el alto porcentaje de áreas impermeables en la zona, los desechos sólidos acumulados, el crecimiento de maleza y el aporte de aguas negras de los colectores desbordados al producirse precipitaciones de gran intensidad, son factores que inciden en el aumento del caudal de aguas de lluvias que escurre por las calles de la zona, agravando el problema. El mayor volumen de escurrimiento, se produce una vez transcurridas 6 horas del comienzo de las precipitaciones. Al transcurrir 7 horas y 15 minutos de descarga pluvial, se observa que en las subcuencas se ha alcanzado la capacidad máxima de infiltración del suelo, por lo que toda la precipitación que cae, se transforma en escurrimiento superficial y genera un problema de acumulación de agua.

El canal abierto que conduce el agua hacia el Lago de Maracaibo, se comporta como un dispositivo de retención. Este dispositivo también conocido como "húmedo" (porque siempre mantiene un volumen de caudal durante todo el año), origina un almacenamiento de agua sin salida de flujo o con una salida regulada, tal que todo o una porción significativa del hidrograma total de entrada es almacenado por un período prolongado. Debido a que este tipo de dispositivo retiene el agua por períodos prolongados, permiten la deposición de sedimentos y polutos no solubles suspendidos en el agua, los que se depositan en el lecho. En consecuencia, se necesitaría una remoción de sedimentos periódica, cada cierto tiempo, de manera de facilitar el desagüe del agua hacia el Lago.

Agradecimiento

A la Alcaldía de Cabimas, por la información topográfica de la ciudad de Cabimas suministrada. Al Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia por la disposición de los equipos necesarios para realizar las mediciones en campo necesarias para la ejecución de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Cañón, J. (2007). **Taller de aplicación de HEC-HMS**. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Delgado, C. (2007). **Evaluación del sistema de drenaje en la sub-cuenca del sector Nuevo Juan de Cabimas**. Cabimas, Venezuela: La Universidad del Zulia.
- Nanía, B. (2007). **Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1**. Granada, España: Universidad de Granada.
- Palacios, A. (2008). **Acueductos, Cloacas y Drenajes: Criterios para el diseño hidráulico de instalaciones sanitarias en desarrollos urbanos**. Segunda edición. Caracas, Venezuela.
- Sánchez, F. (2008). **HEC-HMS, Manual elemental**. España: Universidad de Salamanca.