



Title: Modelación hidrológica e hidráulica aplicada a estudios de inundabilidad en cauces naturales caso de estudio: urbanización río Nima.

Pub: *Ingeniería de Recursos Naturales*

Detail: Hernán Materón Muñoz, José Luis García Vélez, Diógenes Arango I. and Diego F. Parra C. 5. (Annual 2006): p27(12). (5829 words)

Texto Completo: COPYRIGHT 2006 Universidad del Valle

[ILUSTRACIÓN OMITIR]

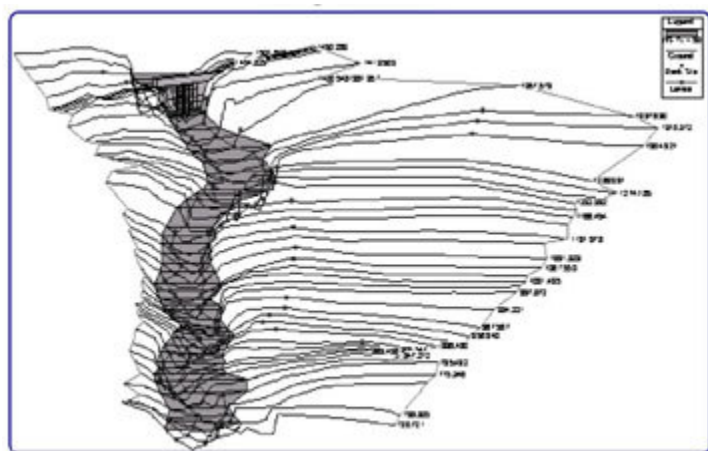
RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la implementación de los modelos hidrológico e hidráulico aplicados con el fin de estudiar el riesgo de inundabilidad en el tramo correspondiente a la urbanización Río Nima (Palmira, Valle del Cauca, Colombia) localizada sobre la llanura de inundación de la margen izquierda del río Nima. Inicialmente se utiliza un modelo hidrológico lluvia -- escurrimiento (HEC-HMS) para estimar los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, información utilizada posteriormente en la implementación de un modelo hidráulico unidimensional (HEC-GEORAS) para determinar la variación del flujo, los niveles de agua y las velocidades del flujo. Los resultados obtenidos indican que la capacidad máxima de conducción del cauce principal del río Nima en la vecindad de la urbanización permite transportar, sin riesgo de inundación, crecientes asociadas a eventos con períodos de recurrencia superiores a 50 años; no obstante, se presentan zonas socavadas y susceptibles de socavación, principalmente en las partes externas de las curvas forzadas, donde las geoformas del cauce son atacadas y la erosión podría avanzar hacia la zona construida.

PALABRAS CLAVES

Modelación Hidrológica, Modelación hidráulica, estudio de inundabilidad.

ABSTRACT



RESUMEN

The present article offers the results obtained with the implementation of mathematical models for the study of the flooding risk in the span corresponding to the "Nima" River development (Palmira, Valle del Cauca,

Colombia), placed on a floodplain on the left bank of the Nima River. Initially, a hydrological model rain -- run off (HEC-HMS) in order to estimate maximum flows associated to different return periods, information used later with the implementation of an monodimensional hydraulic model (HEC - GeoRAS) in order to determine flow variation, water level and flow rate. Results indicate that maximum conduction capacity of the natural bed of the Nima river in the surrounding area of the development site can carry, with no risk of flooding, flood tides associated to events with recurrence periods over 100 years; nevertheless, there are caved zones and those likely to be caved, especially in outer parts of forced curves, where the bed geographical forms are attacked and where erosion could increase towards the constructed zone.

KEYWORDS

hydrological modeling, hydraulic modeling, flooding study.

1. INTRODUCCIÓN

En el aprovechamiento del recurso hídrico los estudios de inundabilidad hacen parte importante de la planificación hidrológica para el diseño de las obras de protección contra inundaciones y para la determinación de la viabilidad del uso de las llanuras de inundación en las inmediaciones de los ríos. Este es el caso de la Urbanización Río Nima, ubicada en el corregimiento de Tienda Nueva, municipio de Palmira, Valle del Cauca, la cual se ha establecido en la llanura de inundación del río Nima en su margen izquierda, con un total de 140 lotes construidos donde habitan aproximadamente 840 personas.

Surgen entonces inquietudes e interrogantes en las autoridades ambientales y propios moradores respecto al posible riesgo que por desbordamiento del río en su margen izquierda pueda causar tanto daños materiales como posibles pérdidas de vidas humanas, ya que según estas entidades la urbanización fue planeada y desarrollada sin un estudio serio de inundabilidad y sin tener en cuenta las normas ambientales y de prevención de desastres.

Ante la ausencia de información hidrométrica en la zona del proyecto que permita realizar un análisis de las series históricas de caudales y predecir los caudales probables asociados a diferentes periodos de retorno que presentaría el cauce principal del Río Nima a partir de datos observados, fue necesario realizar el análisis del proceso lluvia-escorrentía utilizando un modelo hidrológico (HEC-HMS del U.S. Army Corps of Engineering). Este 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 que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y por extensión en nuestro país.

Para el tránsito de las crecientes a lo largo del cauce en estudio se implementó un modelo matemático unidimensional (HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineering) en régimen permanente, ampliamente usado para este tipo de estudios. En la actualidad los modelos bidimensionales empiezan a utilizarse también para obtener una mejor descripción del flujo y del campo de velocidades. Para generar los mapas de profundidades y velocidades del agua en la zona de estudio se usó el software HEC-GEORAS, el cual permite mostrar los resultados apoyado en un Sistema de información geográfica (SIG).

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta comprende dos etapas básicas, la primera corresponde al componente hidrológico y la segunda al hidráulico.

[FIGURA 1 OMITIR]

- Componente Hidrológico

Para la realización del estudio hidrológico se siguieron una serie de pasos que se esquematizan en la Figura 1 y se describen a continuación.

Cálculo de las Características Fisiográficas de la Cuenca

El movimiento del agua dentro de la cuenca es una función compleja que está condicionada por las características fisiográficas de esta. El área, el tipo y el uso del suelo, la posición y orientación, la forma, la pendiente, la elevación y la red de drenaje son las principales características fisiográficas de una cuenca y son las características físicas del territorio asociadas a los procesos de transferencia y almacenamiento del ciclo hidrológico.

Para la determinación de estas características fue necesario el uso de la cartografía de la zona, apoyándose en los datos obtenidos en las visitas a la cuenca del río Nima, la geo-referenciación por medio de un GPS y la inspección visual realizada.

- Área de Drenaje

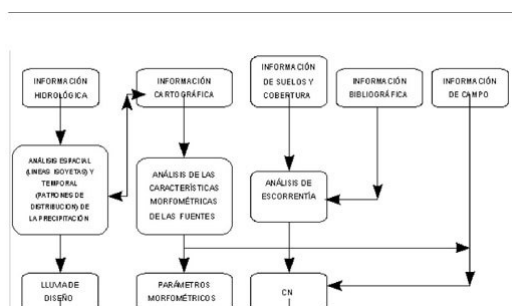
A partir de la base topográfica disponible de la cuenca y previamente digitalizada se trazaron las divisorias de aguas y se determinó el área total de drenaje (A) con punto de cierre a la altura de la Urbanización Río Nima.

- División Hidrográfica - Subcuencas

Una vez obtenida la red hídrica se procedió a efectuar una división hidrográfica, específicamente en subcuencas, las cuales se identifican en sentido descendente de elevación como: Santa Teresa, Los Cuervos, Amberes, El Diamante, Tenjo y Los Negros. De igual manera como se hizo para toda la cuenca se procedió a la determinación de los respectivos parámetros fisiográficos de cada una de las subcuencas (Área (A), pendiente (S), longitud (L) y red hídrica).

- Longitud y pendiente del cauce principal y pendiente de ladera

Se identificó la corriente principal con su respectiva longitud (L) y pendiente (S). Se identificaron los probables caminos del agua con mayor longitud, medidos entre la divisoria de aguas y el inicio del cauce principal, y se determinó la pendiente media de la zona de ladera tributaria al cauce principal.



- Uso del suelo

Se consultó la información de la CVC correspondiente a los informes técnicos de referencia relacionados con el uso del suelo; con base en lo anterior se elaboró un plano general para detallar el uso del suelo a nivel de

cada subcuenca.

- Grupo Hidrológico del suelo

En cada una de las subcuencas y a partir de la información disponible de tipo de suelos, uso de la tierra y condiciones hidrológicas, se determinaron los respectivos grupos hidrológicos del suelo.

- Número de curva de escorrentía (CN)

Está en función de la permeabilidad de la superficie y se utiliza para estimar la escorrentía directa generada por una lluvia de interés particular. La selección del valor de CN depende fundamentalmente de las características de la cuenca de drenaje, como son: la condición antecedente de humedad del suelo (CAH), uso de la tierra o cubierta y condiciones del suelo (grupo hidrológico). Una vez delimitado el parteaguas de las subcuencas se identificaron los tipos y usos de suelo que existían dentro de éstas para calcular un número de curva hidrológico parcial. Posteriormente, los números de curva parciales existentes en las subcuencas se ponderaron en relación al área ocupada; esto permitió determinar los correspondientes CN promedios asociados a cada subcuenca.

- Determinación de Parámetros Hidrológicos

La determinación de parámetros hidrológicos obedece a la necesidad de ordenar de manera apropiada la información que se necesita para el cálculo de los caudales máximos esperados. Para lograr este objetivo, se procedió a la determinación de los siguientes parámetros:)

- Tiempo de viaje ([t.sub.v])

Se refiere al tiempo que requiere una partícula de agua para viajar a través de una superficie de terreno hasta el inicio de una corriente. Su estimación se realiza a partir de la medición de la longitud de recorrido a través de la superficie (l) y el desnivel entre puntos extremos ([DELTA]H), con los cuales se obtiene la pendiente media. Con base en la pendiente media del terreno y las características de la superficie de terreno, se establece la velocidad promedio ([barra.V]) de viaje del agua a través de la superficie por medio del gráfico propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. El tiempo de viaje a través de la superficie de terreno se halla mediante la siguiente relación:

$$[t.sub.v] = l / [\text{barra.V}] \quad (1)$$

La determinación del tiempo de viaje se realizó para cada una de las subcuencas.

- Tiempo de concentración ([t.sub.c])

Corresponde al tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al escurrimiento en un punto de interés dentro del cauce y está dado por la suma del tiempo de viaje a través de la superficie de terreno ([t.sub.v1]) y del tiempo de viaje a través del propio cauce ([t.sub.v2]) hasta el punto de cierre considerado, o sea:

$$[t.sub.c] = [t.sub.v1] + [t.sub.v2] \quad (1)$$

Para estimar el tiempo de concentración en una cuenca existen diferentes metodologías de cálculo. Debido a que fue desarrollada para cuencas pequeñas y de pendientes medias se seleccionó el método de California Culverts Practice, que presenta la siguiente expresión:

$$[t.sub.c] = 60[(11.9[L.sup.3]/H).sup.0.385] \quad (2)$$

Donde,

$[t_{sub.c}]$ = tiempo de concentración (minutos)

L = longitud del curso de agua más largo (millas)

H = diferencia de elevación entre puntos extremos (pies)

- Tiempo de retardo ($[t_{sub.l}]$)

En el análisis de hidrogramas de escurrimiento, el retardo es el tiempo medido desde el centro de masa de la lluvia efectiva hasta el caudal máximo del hidrograma de escurrimiento. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, con base en el estudio de muchos eventos de lluvia para un amplio rango de condiciones en cuencas hidrográficas, recomienda la siguiente relación empírica para calcular el tiempo de retardo en función del tiempo de concentración:

$$[t_{sub.l}] = 0.6[t_{sub.c}] \quad (3)$$

Esta relación se aplica para una condición natural promedia y una distribución de escurrimiento aproximadamente uniforme sobre la cuenca.

- Retención potencial máxima (S)

Representa el valor máximo de lluvia que la cuenca puede absorber y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S = 25400 / CN \text{ u } 254 \quad (4)$$

Donde,

S = Retención potencial máxima (mm)

CN = número de curva de escorrentía

- Índice de abstracción inicial ($[I_{sub.Q}]$)

Representa la cantidad de agua que queda en el terreno antes de empezar a escurrir agua. Se ha encontrado que el índice de abstracción inicial es aproximadamente el 20% de la retención potencial máxima (S); la relación empírica propuesta es la siguiente:

$$[I_{sub.Q}] = 0.2S \quad (5)$$

Como es una condición aproximada, la experiencia local indica que para el caso de suelos con las características propias de la zona andina colombiana, el índice de abstracción inicial puede llegar hasta un 25%; por efectos del proceso de calibración se decidió finalmente aplicar una abstracción inicial aproximada del 20% de la retención potencial máxima (S).

- Curvas de masa de lluvias

A partir de la información de las estaciones pluviográficas existentes en la cuenca se seleccionaron las lluvias características más significativas de los pluviogramas históricos, con las cuales se construyeron las curvas de masa de lluvia correspondientes a las estaciones San Emigdio, El Diamante y La Sirena.

- Tratamiento previo de los datos de precipitación

La información de lluvias proporcionada por el IDEAM y la CVC fue previamente analizada con el fin de

homogeneizar los datos. En algunas estaciones los años en los cuales sólo se tenían uno o dos meses de registro fueron excluidos; fue necesario, también, estimar datos faltantes, utilizando el método de interpolación, el cual requiere únicamente la información de la estación en estudio y no de estaciones adyacentes; la ecuación utilizada para la aplicación del método fue la siguiente:

$$[X_{\text{sub}.i}] / [N_{\text{sub}.i}] = [N_{\text{summation over } (i=1)}] [X_{\text{sub}.i}] + [N_{\text{summation over } (j=1)}] [X_{\text{sub}.j}] / P \quad (6)$$

Donde:

X_i = Precipitación faltante durante el mes i del año en estudio (mm)

N_i = Promedio de precipitación durante el mes i para todos los años de registro (mm)

X_j = precipitación existente durante el mes j del año en estudio (mm)

P = Promedio anual de la precipitación para todos los años de registro (mm)

Después de aplicar la ecuación a cada dato faltante le correspondió una ecuación, y de la solución del sistema simultáneo, se obtuvieron los datos faltantes para cada mes.

- Patrón de distribución temporal de lluvias

Para la simulación de escurrimientos máximos a partir de lluvias históricas o hipotéticas, se adopta para fines de diseño de obras de protección la condición más crítica presentada a través de toda la historia de la cuenca. Para ello se generaron y analizaron los eventos de lluvia en términos de cantidad total, intensidad y duración de cada una de las curvas de masas. Lo anterior significa que el patrón de distribución de lluvia adoptado para fines de diseño de las obras a proyectar en la urbanización Río Nima corresponde a las lluvias históricas más críticas: la estación San Emigdio con el evento del día 24 de febrero de 1976, para la estación El Diamante con el evento del día 7 de junio de 1979, y para la estación La Sirena con el evento del día 26 de febrero de 1996.

- Zonas de aplicación de patrones de lluvia por subcuencas

El análisis de la información de patrones de distribución de lluvias se realizó sobre la base de considerar los patrones de lluvia de mayor magnitud y duración, eventos considerados los más críticos históricamente, y asociados a las tres estaciones pluviográficas disponibles en la cuenca, se trata de las estaciones de San Emigdio, El Diamante y La Sirena; a cada una de las estaciones mencionadas se le asoció un área de influencia, específicamente divisiones hidrográficas o subcuencas, este procedimiento permitió identificar tres (3) zonas de aplicación en la cuenca las cuales se discriminan así: Zona I (estación San Emigdio). Subcuencas Potrerillo, Los Negros y Tenjo; Zona II (estación El Diamante). Subcuencas Amberes y El Diamante; Zona III (estación La Sirena). Subcuencas Los Cuervos y Santa Teresa.

- Análisis de frecuencia de eventos de lluvia máxima en 24 horas

Esta actividad se realizó a partir de la información de las lluvias máximas en 24 horas de las series de tiempo anuales para una red de 9 estaciones localizadas al interior de las cuencas de los ríos Bolo, Nima y Amaime. Las estaciones que se utilizaron son las siguientes: Santa Teresa, Caseteja, La Sirena, Bellavista, Bolo Blanco, San Nicolás, Austria, Tenjo, San Emigdio y Planta Río Nima.

Previamente y según las áreas de influencia de los polígonos de Thiessen se determinaron los pesos correspondientes a cada estación, lo cual facilitó la obtención de la serie de precipitaciones medias ponderadas correspondiente a la cuenca del Río Nima.

El paso siguiente consistió en realizar un análisis de frecuencia para la serie de precipitaciones medias ponderadas de la cuenca, aplicando la metodología de graficación de Weibull, representada por la siguiente ecuación:

$$F = (m / n + 1)100 \quad (7)$$

Donde,

F = Frecuencia (%)

m = Número de orden del evento

n = Número total de eventos o por su expresión equivalente:

$$[T.sub.y] = 1 / F \quad (8)$$

Donde,

[T.sub.r] = Período de retorno o recurrencia (años)

F = Frecuencia (en fracción)

- Selección de Periodos de retorno

Se decidió seleccionar los siguientes periodos de retorno: 2.33 años, 5 años, 10 años, 20 años, 30 años y 50 años respectivamente. Dado que la serie de valores históricos no supera los 30 años se considera que la extrapolación de valores superiores a esta cantidad debe tomarse con la debida reserva.

- Lluvias probables

Los valores de precipitación máxima en 24 horas y las frecuencias se graficaron y se ajustaron a una curva tipo exponencial, la cual permite una lectura directa de las lluvias probables asociadas.

- Incrementos de lluvia

Para efectos de los requerimientos del modelo hidrológico HEC-HMS se aplicaron las láminas totales de las lluvias probables a los valores de los patrones de distribución temporal de lluvias, por zonas de aplicación y en términos de incrementos porcentuales, resultando así 6 eventos de lluvia o modelos meteorológicos a aplicar en cada una de las 7 subcuencas hidrográficas en que se dividió la cuenca del Río Nima.

- Parámetros K y X para tránsito de caudales

Para considerar el tránsito de caudales a lo largo del cauce (método de propagación de hidrogramas), se aplica el método Muskingum, el cual considera los parámetros K y X. El parámetro K es el tiempo de tránsito de la onda de creciente a través de un tramo considerado y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = 0.6T_c \quad (8)$$

En donde :

[t.sub.c] es el tiempo de concentración por el cauce principal de la subcuenca (tiempo de viaje a través del tramo).

El parámetro X es el factor de peso. Este parámetro varía entre 0 y 0.5. En cauces naturales muy caudalosos

y de baja pendiente, X suele ser próximo a 0 y será más cercano a 0.5 cuanto más pendiente y menos caudal tenga el cauce. En el caso del Río Nima se seleccionó un valor de 0.10 en razón a las características de pendiente y de caudal propias del cauce.

- Método HEC-HMS - Modelación de Sistemas Hidrológicos

La aplicación del modelo HEC-HMS para un proyecto determinado comprende cuatro etapas básicas; para el caso del Río Nima estas son: la creación de un modelo de cuenca, la creación de un modelo meteorológico, la definición de unas especificaciones de control y, finalmente, la etapa de simulación y resultados.



Figura 2. Esquemización de la modelación hidrológica del Río Nima.

Modelo de cuenca. En este componente se definen los elementos hidrológicos del sistema; en la cuenca del Río Nima resulta una esquematización con un total de 7 subcuencas, 4 tramos de corriente, 3 uniones de corrientes y 1 punto de entrega. Definidos los elementos de la red hídrica, se ingresa la información de cada subcuenca, específicamente se define en orden de ejecución el método de estimación de pérdidas, el método de transformación lluvia-caudal y el método de determinación del flujo base. Luego se procede al ingreso de los parámetros que corresponden a los tramos de corrientes en función del método seleccionado; en el presente estudio se seleccionó el método de tránsito Muskingum Standard. La Figura 2 ilustra la esquematización realizada. También Incluye las subcuencas y los tramos de tránsito de caudales.

[FIGURA 2 OMITIR]

Modelo meteorológico. Antes de definir el modelo meteorológico se introducen los datos de precipitación, que en este caso corresponden a los incrementos de precipitación tomados del hietograma medio de la cuenca para diferentes configuraciones o periodos de retorno. Para cada subcuenca se seleccionaron los eventos de lluvia correspondientes a periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 30 y 50 años.

Especificaciones de control. Aquí se definen los periodos a simular, los tiempos de lluvia e intervalos. Una vez definido el modelo de la cuenca y seleccionado un modelo meteorológico se puede realizar la modelación hidrológica para diferentes intervalos de tiempo o con diferentes incrementos.

Simulación hidrológica y obtención de resultados. Para correr el modelo se marcan los componentes anteriores, el modelo de cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control deseadas, luego se procede a ejecutar el programa, a realizar cálculos y a generar resultados.

Comportamiento Hidráulico

En la Figura 3 se presenta un esquema general de la metodología empleada en el desarrollo de la modelación hidráulica. A continuación se describen las diferentes etapas en el componente hidráulico:

Estudio Hidráulico y Sedimentológico del cauce del Río Nima y sus Planicies de Inundación.

Para la realización de la modelación hidráulica fue necesario planear, diseñar y ejecutar un programa de campo en un tramo del Río Nima, el cual comprendió las siguientes actividades y mediciones: topografía del cauce y llanuras de inundación, aforos líquidos, estimación de la pendiente hidráulica, muestreo sedimentológico del material del lecho y un estudio de suelos en el cauce y la llanura de inundación.

Topografía

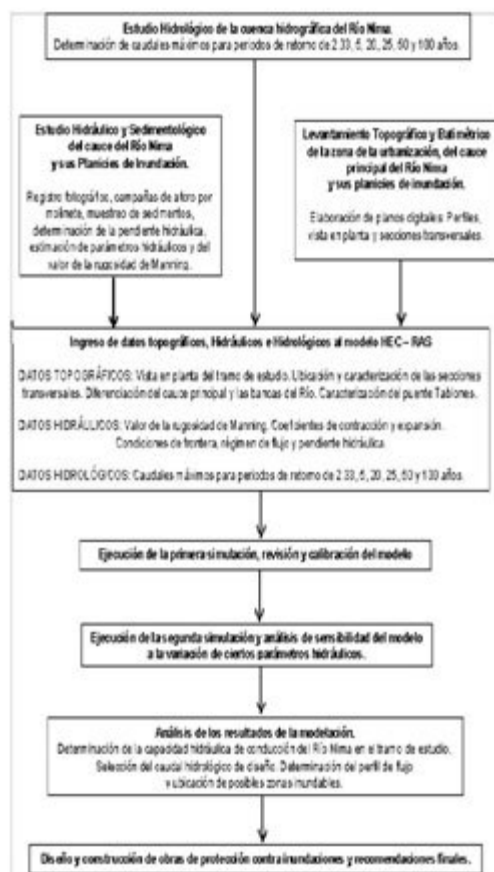


Figura 3. Metodología del Componente Hidráulico

Para la elaboración de los registros topográficos y las características geométricas del cauce principal del Río Nima se detallaron en planta sus orillas, las diferentes obras que se encuentran sobre su cauce y se tomaron 106 secciones transversales al cauce del Río Nima en una extensión de 2.8 kilómetros: aguas arriba del puente de la carretera Palmira-Tenerife se detalló una distancia de 1.5 km y aguas abajo de éste 1.3 km, cubriendo la zona de influencia de la urbanización; en la zona de la urbanización se levantaron 48 secciones transversales separadas aproximadamente una distancia de 25 m y en las otras áreas se tomaron 58 secciones separadas entre 50 y 100 m. Las secciones transversales en la llanura de inundación tienen una longitud de 100m en la margen izquierda y 50m en la margen derecha.

Muestreo del material del lecho

La composición granulométrica del material del lecho es un factor importante en el comportamiento de las corrientes. Existen diferentes metodologías para muestrear el material del lecho de un río de montaña con materiales gruesos (gravas, guijarros y cantos). La técnica más eficiente es el Conteo de Guijarros de Wolman (1954). Este método requiere de un observador con una regla métrica, quien vadea o camina por la corriente,

y un apuntador, quien toma nota de la información. Las dimensiones de las partículas son tomadas usando diferentes clases de tamaño de tamices utilizando el doble del tamaño con cada clase (2, 4, 8, 16, 32, etc.). El conteo de guijarros se realizó con un procedimiento aleatorio de caminar la sección transversal y recoger la piedra que quede en la punta del pie (random step-toe) hasta recoger un mínimo de 100 piedras, si no se completa el número requerido de piedras al recorrer una sección se sigue recorriendo el río en zig-zag hasta completar el mínimo requerido de piedras. Este procedimiento se empleó en veintidós (22) secciones transversales seleccionadas del Río Nima en la zona de estudio. Una vez realizado el conteo y registrados las dimensiones de las partículas, se dibujaron los datos por clase de tamaños y frecuencia determinándose un diámetro medio de los sedimentos del lecho de 19.9 mm.

[FIGURA 3 OMITIR]

- Aforos Líquidos

En los mismos sitios o secciones donde se realizó el muestreo del material del lecho del Río Nima se realizaron aforos líquidos utilizando un minimolinet.

- Rugosidad del cauce

La rugosidad es uno de los principales parámetros de calibración de un modelo hidráulico, la cual debe estimarse inicialmente con base en la información de campo disponible y el conocimiento del comportamiento y las características del cauce. Para el modelo hidráulico HEC-RAS se requiere el ingreso del valor de la rugosidad de Manning (n) y de la pendiente de fondo del cauce principal del Río (So). Para estimar la rugosidad de Manning del Río Nima en la zona de estudio se utilizó la metodología propuesta por Cowan, resumida en la siguiente expresión:

$$n = ([n.sub.0] + [n.sub.1] + [n.sub.2] + [n.sub.3] + [n.sub.4]) m$$

Donde,

$$[n.sub.0] = \text{Rugosidad Base (s/[m.sup.1/3])}$$

$$[n.sub.1] = \text{Grado de irregularidad o erosión (s/[m.sup.1/3])}$$

$$[n.sub.2] = \text{Variaciones en la sección transversal (s/[m.sup.1/3])}$$

$$[n.sub.3] = \text{Obstrucciones al flujo (s/[m.sup.1/3])}$$

$$[n.sub.4] = \text{Cantidad de vegetación (s/[m.sup.1/3])}$$

$$m = \text{Sinuosidad (-)}$$

La rugosidad base ([n.sub.0]) se determinó por diferentes métodos especialmente propuestos para ríos macrorugosos o de alta rugosidad. Con base en los estudios efectuados y en inspecciones de campo realizadas se establecieron los siguientes factores:

$$[n.sub.0] = \text{Valores de rugosidad obtenidos por las diferentes ecuaciones.}$$

$$[n.sub.1] = 0.005, \text{ baja irregularidad. Cauce ligeramente erosionado.}$$

$$[n.sub.2] = 0.010, \text{ frecuentes variaciones de la sección transversal. Extracción de sedimentos.}$$

$$[n.sub.3] = 0.020, \text{ obstrucciones apreciables. Arrastre de material por crecientes.}$$

[n.sub.4] = 0.002, poca vegetación en el cauce. Altura 3 veces menor a la profundidad de flujo.

m = 1, sinuosidad baja entre 1 y 1.2

- Determinación de la pendiente de fondo del cauce principal

Se puede asumir igual a la pendiente del cauce medida por el thalweg (línea de aguas de máxima profundidad de la corriente). Esta pendiente se calculó como el cociente entre la diferencia de cotas al inicio y al final del tramo y la longitud del mismo. Las cotas se determinaron con nivel de precisión obteniéndose una pendiente del 2.8 %, lo cual lo clasifica como un río torrencial.

- Modelación hidráulica

Para la simulación hidráulica del tramo de estudio se adoptó la opción de análisis de flujo permanente debido a que no se cuenta con una estación limnimétrica sobre el río que permita generar series de tiempo confiables de caudales o niveles de agua. El análisis de flujo permanente es apropiado para el cálculo de los perfiles de agua para flujo gradualmente variado. El modelo HEC-RAS permite manejar tanto un tramo del río como también una red de tributarios. El análisis de flujo permanente tiene la posibilidad de simular perfiles de agua para regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y combinado. El procedimiento de cálculo se basa en la solución de la ecuación de la energía, a través de un proceso iterativo conocido como el método del paso estándar. Las pérdidas de energía por fricción se calculan por medio de la ecuación de Manning y las pérdidas debido a contracciones y expansiones se calculan multiplicando un coeficiente por el cambio en la carga de velocidad. En situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado (salto hidráulico, presencia de puentes, confluencia de ríos.) se utiliza la ecuación del Momento.

Tabla 1. Caudales Máximos en el tramo de estudio de la Urbanización río Nima.

Periodo de retorno (años)	Q máximo, en m ³ /seg. zona de urbanización cauce río Nima
2.33	78.04
5	100.76
10	118.70
20	134.15
30	141.61
50	154.32

- Condiciones iniciales y de frontera

Las condiciones hidrodinámicas iniciales y de fronteras son necesarias para realizar la simulación. Puesto que en el tramo de estudio el río Nima presenta un régimen de flujo subcrítico, debido a su amplia sección transversal por lo cual las velocidades y profundidades hidráulicas son moderadas, las condiciones de frontera son sólo necesarias en la sección de aguas abajo. Se seleccionó la opción de profundidad normal como condición de frontera aguas abajo, para lo cual se requiere ingresar el valor de la pendiente de la línea de energía, valor usado para calcular la profundidad normal por medio de la ecuación de Manning. La profundidad normal se calcula para cada período de retorno basándose en el valor de la pendiente de la línea de energía. Si dicho valor es desconocido, puede remplazarse por el valor de la pendiente de la superficie del agua o el valor de la pendiente media del fondo del río.

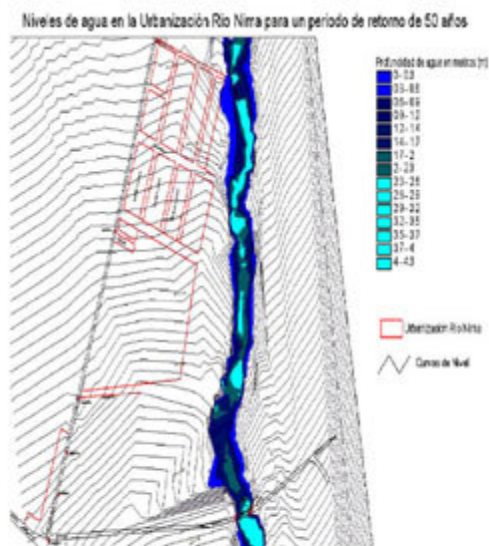


Figura 4. Profundidades del agua correspondiente a un periodo de retorno de 50 años en la zona de la Urbanización Río Nima

- Calibración del modelo hidráulico HEC-RAS

Generalmente se acostumbra calibrar los modelos hicaudales aforados en una determinada sección. No es recomendable calibrar el modelo acomodando la rugosidad a valores irreales. Es importante saber que una buena modelación depende en gran parte de la calidad de los datos de las secciones transversales y de un estudio sedimentológico detallado. Es aconsejable calibrar el modelo para diferentes condiciones hidrológicas tanto de niveles de agua como de caudales, es decir, para situaciones de niveles o caudales bajos, medios y altos. Anterior a la modelación hidráulica del tramo de estudio del río Nima, se llevaron a cabo una serie de visitas de campo con el objetivo de establecer el valor de la rugosidad del cauce y las márgenes del Río Nima. Para determinar dicho valor de la manera más precisa, se realizó un estudio sedimentológico simultáneamente con los aforos (utilizados para la calibración del modelo). Los valores de rugosidad estimados fueron introducidos al modelo HEC-RAS. La calibración consistió en transitar los caudales aforados para las condiciones topográficas y los valores de rugosidad estimados en campo. Los niveles resultantes en una sección particular del modelo, debían coincidir con los niveles de agua medidos en campo para el caudal aforado en la misma sección. Si los niveles medidos eran mayores que los niveles modelados entonces se incrementaba el valor de la rugosidad dentro de un rango aceptable y acorde a las características del río Nima. Este procedimiento se realizó hasta lograr un ajuste aceptable de los niveles.

2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la modelación hidrológica forman parte de los datos de entrada al modelo hidráulico, a continuación se presentan los resultados de ambas modelaciones:

Los caudales máximos para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 30 y 50 años, con punto de referencia sobre el cauce principal del río Nima y en vecindad con la urbanización Río Nima, corresponden a los valores obtenidos con la aplicación del Modelo HEC-HMS y se presentan en la Tabla 1.

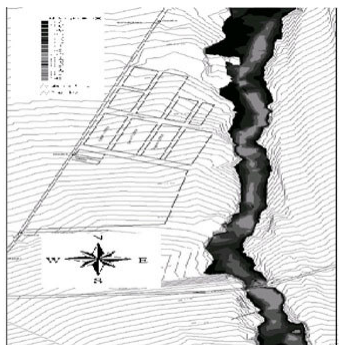


Figura 5. Velocidad del agua correspondiente a un período de retorno de 50 años en la zona de la urbanización.

Se realizaron simulaciones para tres (3) rugosidades aluviales del cauce $n = 0.065$, $n = 0.08$ y $n = 0.1$ y una sola rugosidad para la llanura de inundación con un valor de $n = 0.115$. Los resultados para el análisis han sido realizados con los obtenidos para la simulación que considera una rugosidad del cauce de $n = 0.1$ y $n = 0.115$ para la llanura de inundación. En las Figuras 4 y 5 se presentan respectivamente los niveles o profundidades de inundabilidad y las velocidades de flujo para una recurrencia de 50 años en la zona de estudio. En la Figura 6 se presenta una vista en 3D del Nivel de inundación para un Período de Retorno de 50 años. Se puede concluir de acuerdo con los anteriores resultados que no existe riesgo de inundación para la Urbanización Río Nima para caudales hasta de $154.32 \text{ [m.sup.3]/s}$, correspondiente a un período de retorno de 50 años (ver sección transversal de la Figura 7).

[FIGURA 4 OMITIR]

[FIGURA 5 OMITIR]

3. CONCLUSIONES

. La metodología utilizada por la CVC en el caso del Informe de estudio de caudales máximos para las cuencas Amaime y Nima, aunque referidas a un punto de control o de cierre diferente, se encuentra en aceptable armonía con los resultados arrojados con la aplicación del Modelo HEC-HMS. Los valores obtenidos son consecuentes en magnitud por concepto del tránsito de caudales a través del cauce principal hasta el punto considerado.

La margen izquierda del río Nima en el sector de la Urbanización Río Nima, aparentemente no se encuentra en condiciones de peligro inminente de inundación y no se tienen evidencias de que este riesgo pueda existir para los niveles más altos correspondientes a períodos de retorno superiores a 50 años. De acuerdo a los resultados de la modelación hidráulica el cauce del río Nima en el sector de estudio presenta una protección natural para un caudal aproximado de 300 [m.sup.3]/s . Por lo anterior se concluye que no es necesario construir estructuras para evitar inundaciones en la urbanización Río Nima.

. Los taludes de la margen izquierda de la Urbanización Río Nima son estables, hecho que se corroboró con la inspección visual. Sin embargo, en el caso de una creciente, y al estar el talud ubicado en el lado externo de una curva, el flujo turbulento podría socavar su base, haciendo perder apoyo a la porción superior y generando un deslizamiento de tipo traslacional. Este proceso puede ser recurrente y degenerativo. Por esta razón, se recomienda proteger la base del talud, hasta el nivel correspondiente al caudal dominante, de eventuales avenidas, mediante la construcción de un dique marginal en gaviones convencionales, llenados con material masivo (rocas entre 20 cm. a 30 cm. de diámetro) extraído del cauce del río y con tamaño adecuado para que no sea arrastrado por el caudal de creciente.

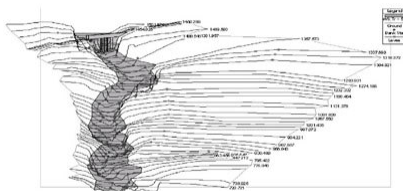


Figura 6. Vista tridimensional de una crecida asociada a un periodo de retorno de 50 años en la zona de la Urbanización.

[FIGURA 6 OMITIR]

[FIGURA 7 OMITIR]

* Recibido : Enero 15 2007 * Aceptado : Febrero 2 2007

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Materón, H., García, J.L., Arango, D. y Parra, D.F. (2005). Estudio de Inundabilidad Urbanización Río Nima. Santiago de Cali: Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR Universidad del Valle.

Technical Release No. 55. Urban hydrology for small watersheds. Engineering Division. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. January 1975.

US Army Corps of Engineers (2005). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual Version 3.0.0; Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.

US Army Corps of Engineers (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual; Hydrologic Engineering Center.

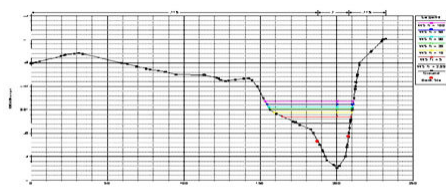


Figura 7. Niveles de agua para diferentes periodos de retorno en la sección transversal abscisa K905+547 en la Urbanización Río Nima

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE.(1986).Urban Hydrology for Small Watersheds: TR-55., Natural Resources Conservation Service Conservation, Engineering Division.

Hernán Materón Muñoz, Esp.

Profesor Titular

Facultad de Ingeniería, EIDENAR

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

glacar19@hotmail.com

José Luis García Vélez, Esp.

Profesor

Facultad de Ingeniería, EIDENAR

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

joseluga@univalle.edu.co

Diógenes Arango I., Ing.

Facultad de Ingeniería, EIDENAR

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Diego F. Parra C., Ing.

Facultad de Ingeniería, EIDENAR

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Tabla 1. Caudales Máximos en el tramo de estudio de la Urbanización río Nima.

Periodo de retomo (años)	Q máximo, en [m.sup.3]/seg/ zona de urbanización cauce rio Nima
2.33	78.04
5	100.78
10	118.70
20	134.15
30	141.61
50	154.32

Citación De la Fuente

Materón Muñoz, Hernán, et al. "Modelacion hidrológica e hidráulica aplicada a estudios de inundabilidad en cauces naturales caso de estudio: urbanización río nima." *Ingeniería de Recursos Naturales* 5 (2006): 27+. *Informe Académico*. Web. 24 Sept. 2010.

Document URL

<http://find.galegroup.com/gtx/infomark.do?&contentSet=IAC-Documents&type=retrieve&tabID=T002&prodId=IFME&docId=A182273967&source=gale&srcprod=IFME&userGroupName=univalle&version=1.0>

Número de Documento:A182273967

- [Contact Us](#)
- [Copyright](#)
- [Terms of use](#)
- [Privacy policy](#)