

Diagnóstico y control de inundaciones en el río Villeta

Flood risk assessment and control in the Villeta River

(Recepción 10/01/2018; Aceptación 09/05/2018)

Sanabria Morera A. C.¹; Sandoval-Pabón R. L.¹

¹ Estudiante Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia. Miembro de la IAHR Bogotá Young Professional Network
Teléfono: +57 1 3165000 ext 13412
Email: rlsandovalp@unal.edu.co

Resumen. Se estudió la probabilidad de inundación en el cauce principal del río Villeta (Colombia) ante fenómenos de precipitación sobre la cuenca del río Villeta. Se realizó el estudio hidrológico a través de la herramienta HEC-HMS para eventos de precipitación con diferentes períodos de retorno. Se empleó el software, HEC-RAS para realizar la modelación hidráulica 1D y HEC-geoRAS para la creación de los mapas de amenaza. Se encontró que, ante eventos de amenaza alta, media y baja se producen inundaciones que afectan la zona urbana y rural del municipio, por lo que se propusieron medidas para disminuir el riesgo.

Palabras clave. Hidráulica de ríos; hidrología; inundación.

Abstract. Floods probability in the Villeta River (Colombia) caused by precipitation was studied. An hydrological model was performed using the HEC-HMS tool for different return periods. The HEC-RAS software was used to perform 1D simulation of the floods and HEC-geoRAS to create the floods maps. It was found that in the face of high, medium and low precipitation, floods that affect the rural and urban zone of the watershed occur. For this reason, structural and non-structural actions to diminish the risk were proposed.

Keywords. River hydraulics, hydrology, floods.

1. Introducción

En Colombia, el 28% de los habitantes viven en zonas con riesgo alto de inundaciones, dichas inundaciones son causadas por deforestación o tala de bosques, quemas y otras prácticas de cultivo que erosionan el suelo, obras públicas mal diseñadas, invasión y/o taponamiento de cauces, urbanización en rondas hidráulicas de los ríos (espacio requerido por un río), entre otras (IDEAM, 2017).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR en su Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y Mitigación de sus Efectos establece que con frecuencia se han presentado inundaciones en Soacha, Puerto Salgar, Ricaurte, Girardot, Chía, Cota, Mosquera, Fontibón, Tocancipa, Utica, Apulo, Sesquilé, La Calera, Nimaíma, La Vega, Villeta y en el suroccidente de Bogotá. En consecuencia ha priorizado el análisis de inundaciones sobre dichas zonas (CAR, 2011).

El objetivo del presente estudio es el diagnóstico de las inundaciones en la cuenca del río Villeta hasta su desembocadura en el río Negro, causadas por eventos de precipitación extrema. La simulación se realizó para fenómenos con alta, media y baja probabilidad. Ante las inundaciones simuladas se propusieron medidas para mitigar los costos asociados a las inundaciones.

1.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Villeta se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca (Colombia), tiene influencia territorial en 11 municipios entre los que se encuentra el municipio de Villeta cuyo centro urbano es atravesado por cauce principal del río Villeta justo antes de su desembocadura al río Negro. El área de la cuenca es de aproximadamente 480 km² y posee 7 subcuenca. La longitud del cauce principal es de aproximadamente 41.5 km, sus elevaciones varían entre 696 y 3017 m.s.n.m. con una pendiente media de 18.6 grados.

La cuenca del río Villeta pertenece a la Zona hidrográfica del río Negro y esta pertenece a la macrocuenca del Magdalena-Cauca. La cobertura de la cuenca es principalmente de pastos, cultivos y espacios naturales con cerca del 70% del área.

1.2. Caracterización hidrológica

La delimitación de la cuenca del río Villeta hasta su desembocadura en el río Negro fue realizada a partir de la información de un DEM generado por el satélite ALOS PALSAR, el DEM fue procesado a través del módulo de hidrología de las herramientas de análisis espacial del software ArcGIS.

Se delimitaron 7 subcuenca empleando HEC-geoHMS. Con la información recopilada se identificaron 3 polígonos de Thiessen (Thiessen & Alter, 1911). Con esto se puede asignar a cada



subcuenca su propia precipitación para un periodo de retorno dado. De manera alterna se emplearon metodologías de interpolación como IDW, sin embargo, el cambio en la relación de las áreas de influencia de cada estación no es significativo.

De las series de precipitaciones se observa que los periodos de menores valores se extienden durante los meses de junio a agosto, y los meses de diciembre y enero, mientras que las épocas de mayores valores ocurren durante los meses de marzo y mayo y los meses de octubre y noviembre.

Se construyeron curvas IDF con ayuda del método de curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad – duración – y frecuencia (Díaz-Granados, 1998).

Se determinó el tiempo de concentración mediante múltiples metodologías como las de Williams, Temez, U.S. Corps of Engineers y Passini. Pese a que existen múltiples metodologías para la estimación del tiempo de concentración, la aplicabilidad de cada una de estas depende de las condiciones geográficas de la zona de estudio. Para la cuenca del río Villeta se identificó que era posible aplicar varias metodologías. Sin embargo, para evitar el sesgo que puede generar el seleccionar una metodología específica se decidió emplear el promedio de dichas metodologías. El tiempo promedio adoptado para el tiempo de concentración fue 140 minutos.

Mediante el método del bloque alterno se construyó para cada una de las 3 estaciones los hietogramas de precipitación con una duración de 140 minutos con incrementos cada 10 min, para cada uno de los periodos de retorno objeto del estudio (2.33, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años).

En la parte baja de la cuenca del río Villeta se cuenta con la estación limnimétrica Villeta con código 23067070 la cual posee registros diarios de caudal medio desde el año de 1977 hasta el 2015. Los valores máximos registrados en dicha estación se compararon con los caudales obtenidos de la implementación del modelo con el fin de calibrar el modelo hidrológico.

El área de la cuenca capturada hasta la estación limnimétrica es de aproximadamente el 80% del área total de la cuenca.

1.3. Caracterización hidráulica

La topología de la red corresponde a un patrón dendrítico equivalente a un conjunto de corrientes que semejan las ramificaciones de un árbol frondoso. Con la identificación del cauce principal del río Villeta y apoyándose en las herramientas de análisis 3D del Sistema de información Geográfico ArcGIS, Se generó el perfil longitudinal del cauce a partir de la interpolación de la elevación del cauce con el DEM. Pese a que la representación de la topografía podría ser mejor, el objetivo del trabajo es emplear únicamente información secundaria.

2. Construcción del modelo

2.1. Modelo hidrológico

Para el proceso de modelación se utilizó la herramienta hidrológica HEC-HMS. Para la estimación de las perdidas fue empleado el método del número de curva (USDA, 1972), en dicho modelo se calibro el coeficiente de pérdidas iniciales arrojando resultados entre 0.2 y 0.3. El número de curva fue estimado y calibrado a partir de las tablas propuestas por el SCS y con ayuda de los mapas de cobertura y suelos de Cundinamarca (IGAC, 2000). Como método de transformación lluvia-escorrentía, fue empleado el método del hidrograma unitario del SCS, como único parámetro se asumió que el tiempo de retardo era equivalente al 60% del tiempo de concentración estimado (USDA, 1972). Finalmente, el modelo de transito de crecientes seleccionado fue el de la curva cinemática el cual como parámetros requiere información hidráulica como la longitud del canal, el ancho del canal, la pendiente y el coeficiente de rugosidad de Manning. Dicho parámetro tuvo un valor inicial de 0.05 y fue estimado mediante la ley de Lane y Carlson. La calibración de los parámetros se realizó manualmente dado que no existe registro de información subdiaria que permita calibrar automáticamente el modelo de eventos. No existe información disponible que permita la validación del modelo.

2.2. Modelo hidráulico

Para el estudio hidráulico de inundaciones en la corriente principal del río Villeta se utilizó el software HEC-RAS. La modelación consistió en la simulación en flujo permanente de los caudales picos obtenidos del modelo hidrológico para cada uno de los periodos de retorno (Se emplearon los caudales pico pues es la situación más desfavorable). La geometría del modelo hidráulico fue obtenida mayoritariamente del DEM ALOS PALSAR con resolución de 12.5 metros. Para ello se utilizó la herramienta arcGEO-RAS, se generaron secciones cada 50 a 200 metros. Adicionalmente, para los tramos en los que se contaba con topografía de detalle se realizó la corrección de las secciones transversales a fin de tener mayor precisión.

3. Resultados

Como resultado del modelo hidrológico se obtuvieron los caudales pico para cada tramo y periodo de retorno los cuales se pueden consultar en la tabla 1.

Como resultado del modelo hidráulico se obtuvo para cada periodo de retorno un mapa de las zonas inundadas, en la figura 1a se presenta el mapa del casco urbano de Villeta ante una inundación de amenaza alta (T=10 años).

Tabla 1. Caudales pico (m^3/s) ante diferentes períodos de retorno

Tramo del río	Período de Retorno (años)						
	2.33	5	10	25	50	100	500
1	11	20	31.7	53.6	76.2	105.2	203.8
2	30.3	50.5	75.9	122.2	169	228.2	425.6
3	43.2	74.1	113.4	185.5	259.1	352.2	665.9
4	136.7	247.5	383.8	620.8	858.7	1154.9	1744.7
5	174.5	271.6	425.6	692.6	959.1	1293	1996.3

4. Análisis de resultados

Se evidenciaron cortes en los polígonos de inundación los cuales se deben esencialmente a la discontinuidad que producen las grandes separaciones entre las secciones transversales en la modelación hidráulica.

Se realizó un análisis de costos de inundación asignando un valor a cada tipo de cobertura y ponderando de acuerdo al mapa de cobertura el cual arrojo como resultado que más del 95% del costo de inundación se debe a la inundación de la zona urbana. Por lo anterior se decidió proponer medidas no estructurales para disminuir los costos de inundación en la zona rural y medidas estructurales para disminuir dicho costo en el área urbana.

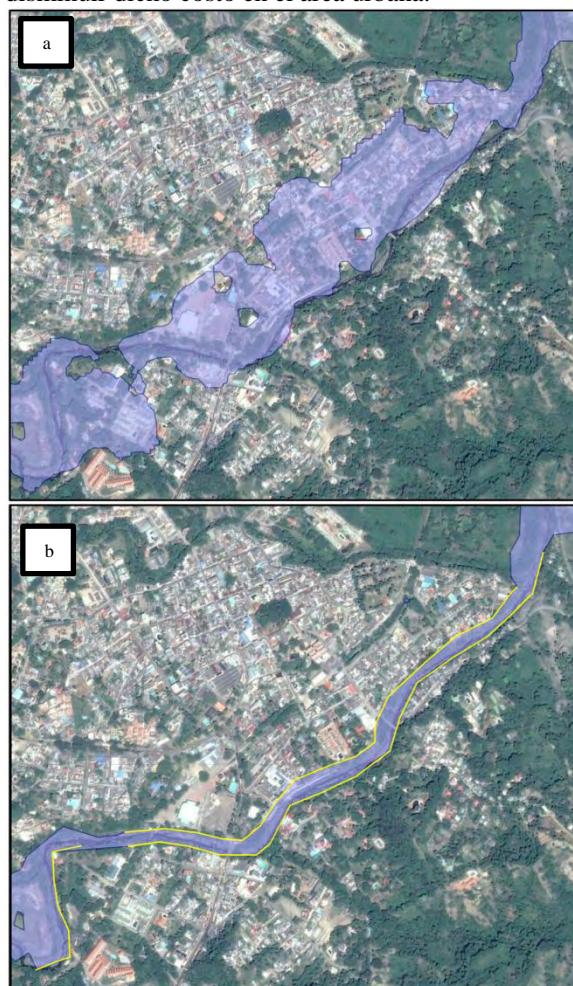


Figura 1. Comparación entre el área de inundación antes y después de la aplicación de las medidas propuestas en la zona urbana de la cuenca. La línea amarilla corresponde a los diques longitudinales propuestos.

Las medidas no estructurales consistieron en la formulación de planes de ordenamiento territoriales que reconozcan la ronda de inundación del río para así no solo evitar la construcción en zonas potencialmente inundables sino además para disminuir en lo máximo posible el escurrimiento con reforestación en la parte alta y media de la cuenca.

Las medidas estructurales consisten en la protección de la vegetación marginal del cauce para que esta estabilice el trazado en planta del río y a la vez disminuya el momentum lineal del fluido. Adicionalmente, se propone la construcción de un dique longitudinal en ambas márgenes del río. Dicho dique debe tener al menos 2.5 metros de altura, medidos desde el lecho del río y debe ser sometido a un análisis de factibilidad.

Cada una de las medidas propuestas debe ir acompañada de campañas de capacitación y sensibilización que permitan a los habitantes de la zona, conocer y prepararse para hacer frente al riesgo disminuyendo la vulnerabilidad y encaminándose hacia un aprovechamiento sostenible de los servicios ecosistémicos que la cuenca provee.

Se modificaron parámetros del modelo (Número de curva, abstracciones iniciales, tiempo de concentración y coeficiente de Manning) y se modificó la superficie topográfica para incluir diques longitudinales. Se encontró que las medidas propuestas sirven para disminuir de manera considerable el costo de inundación en el municipio de Villota. En la figura 1b se puede apreciar la disminución en el área de inundación del río.

5. Conclusiones y recomendaciones

La cuenca del río Villota (Colombia) es altamente vulnerable a fenómenos de inundación causados por eventos de precipitación extrema, especialmente en su área urbana la cual puede representar más del 95% de los costos de un evento de inundación. Con ayuda del ejercicio realizado se demostró que es suficiente el uso de información secundaria para la elaboración de estudios de diagnóstico y control de inundación en las cuencas hidrográficas de Colombia, sin embargo, dicho estudio no tendrá la precisión de un estudio realizado con información primaria, razón por la cual debe ser tenido en cuenta solo bajo condiciones en las que la información secundaria sea de buena calidad. Se sugiere continuar el ejercicio planteado realizando análisis de costo beneficio para estimar la viabilidad de cada una de las medidas propuestas.

6. Referencias

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (2011). Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y la Mitigación de sus Efectos – PAAEME. Bogotá D.C.

Díaz-Granados, M. (1998). “Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia” Revista de Ingeniería Uniandes 1998; 1:1-13.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2017). Mapas de Amenaza por Inundación.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2000). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C.

Thiessen, A.J. & Alter, J.C. (1911). “Precipitation average for large areas.” Monthly Weather Review 1911; 39: 1082-1084.

United States Department of Agriculture – USDA (1972). National Engineering Handbook. Washington D. C.



Revista Hidrolatinoamericana, ISSN: 2520-2960.

© 2018 International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR).

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). 18