

Modelación he-ras en la parte baja de la subcuenca río Frío Cundinamarca

Modeling he-ras in the lower part of the Cold River sub-basin Cundinamarca

Jesús Ernesto Torres Quintero* María Fernanda Torres Quintana**
y Gina Juliana Rincón Rodríguez**.

Fecha de recepción: 16 de junio de 2017 • Fecha de aceptación: 21 de julio de 2017

Resumen

El proyecto de investigación se está realizando por estudiantes de ingeniería civil, especialización de Gerencia Ambiental de la Universidad Libre y Especialización Recursos Hídricos Universidad Católica de Colombia, hace parte del Proyecto de Investigación en Gestión del Recursos Hídrico en la Subcuenca del río Frío del Grupo de Investigación TECNOAMBIENTAL. La metodología desarrollada se basa en la recolección de información, análisis estadístico de los datos de precipitación, temperatura, caudales en la Subcuenca. Los resultados que se presentaran en esta etapa del proyecto, son el plano de Isoyetas, polígonos de Thiessen, curva de duración de caudales, caudales máximos con diferentes períodos de retorno 10, 25, 50 y 100 años analizados por los programas HYFA y SMADA, y análisis de niveles de inundación utilizando el modelo HEC - RAS, presentación de obras hidráulicas diseñadas y construidas y posterior estudio de probabilidad de inundación.

Palabras claves: Ambiental, Caudal, Inundaciones, Precipitación.

Abstract

The research project is being carried out by students of civil engineering and specialization of Environmental Management of the Universidad Libre and Water Resources Specialization Universidad Católica de Colombia, is part of the Research Project in Water Resources Management in the River Frio Sub-basin of the Group of TECNOAMBIENTAL RESEARCH 1 The methodology developed is the collection of information, statistical analysis of the data of precipitation temperature, flows in the Sub-basin, and the results that will be presented in this stage of the project, is the Isoyetas map, Thiessen polygons, 10, 25, 50 and 100 years analyzed by the HYFA and SMADA programs, and analysis of flood levels of designed and constructed hydraulic using the HEC - RAS model, presentation works and subsequent study of probability of flood.

Keywords: Environmental, Flow, Flood, Precipitation.

* Docente Universidad Libre-Facultad de Ingeniería.
** Universidad Libre-Facultad de Ingeniería.

Introducción

Una inundación es el resultado de un aumento súbito del caudal que transporta un cuerpo de agua y que origina grandes afectaciones en términos sociales, económicos y hasta culturales. Específicamente, en Colombia se vivió una época invernal durante el año 2010 y 2011, debido al fenómeno de la niña. Para este momento, se reportaron un sin número de eventos de inundación en varias partes del país. Este proyecto pretende realizar la modelación hidráulica e hidrológica de la cuenca del río Frío, ubicada en el municipio de Chía (Cundinamarca), particularmente en la parte baja de la misma.

Sí bien el Fenómeno de La Niña tuvo gran incidencia en las inundaciones presentadas en el municipio de Chía en el mes de abril de 2011, la población también ha contribuido a que un suceso de esta envergadura suceda, ya que, a través del tiempo, se ha fomentado la construcción de viviendas en zonas de amenaza alta por inundación, las cuales en épocas de intensas lluvias y máximas crecientes representan un gran riesgo para la población. En este sentido, el cumplimiento de las normas que delimitan las zonas de expansión del territorio se asocia a dos factores de gran importancia: i) recuperar el ciclo natural del agua y ii) reducir el riesgo, representado en pérdidas de todo tipo.

A raíz de los eventos presentados en el año 2011, se tomaron medidas de tipo estructural, mediante la construcción de algunas estructuras

hidráulicas sobre el borde del río Frío, en sitios estratégicos para que actúen como medidas de reducción de vulnerabilidad cuando un evento de esta magnitud se repita.

Teniendo en cuenta esta problemática, se está desarrollando un proyecto de investigación encaminado a realizar en su primera etapa, un estudio de oferta hídrica, hidrológicos en los cuales se determinaron los niveles para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, con el objetivo

de dar recomendaciones de mantenimiento y/o mejoramiento de dichas estructuras.

Analizar la pertinencia de las estructuras hidráulicas construidas para mitigar las inundaciones, partiendo de datos y análisis. En una segunda etapa de la Investigación se analizará la demanda e investigarán los caudales mínimos, de forma que a través de un enfoque integral se proponga una herramienta ambiental de planeación estratégica para conservar los caudales mínimos en época de verano a lo largo del río y evaluar alternativas de minimización de caudales máximos en época de invierno.

Ubicación del proyecto

El estudio se realizó en la parte baja del río Frío, parte urbana del municipio de Chía.

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Frío.



Fuente: Propia.

La subcuenca del río Frío se encuentra distribuida administrativamente con los municipios de Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Tabio, Tenjo y Zipaquirá que pertenecen a la Provincia Sabana Centro, el municipio de Pacho que hace parte de la Provincia de Río negro y el municipio de Subachoque que hace parte de la Provincia de Sabana Occidente. (Abril, 2013)

Metodología

Este proyecto se desarrolló en cuatro fases:

FASE 1: Aprestamiento y trabajos iniciales

- Recorrido de reconocimiento del río Frío.
- Recolección de información existente en la CAR de las estaciones hidrometeorológicas.
- Búsqueda de cartografía existente de la cuenca hidrográfica del río Frío, en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

FASE 2: Recolección de información de campo

- Identificación y conteo de estructuras de control.
- Secciones transversales con topografía en cada estructura.
- Posicionamiento de cada estructura con ayuda de equipos de GPS.

FASE 3: Análisis y procesamiento de la información

- Estudio hidrológico de la cuenca, basado en la información recolectada en la fase 1; en este punto se hará el análisis de precipitación y caudales (mínimos y máximos).
- Análisis de las estructuras encontradas empleando programas como el SMADA, HEC-RAS, entre otros.

FASE 4: Elaboración del documento de resultados

En esta fase se construyó un documento en el que se encuentra la totalidad del estudio hidrológico, la identificación de estructuras y su respectivo análisis; por último, se presentan las respectivas recomendaciones de mantenimiento y/o mejoramiento para cada una de las estructuras analizadas.

Características fisiográficas de la subcuenca del río Frío

El análisis morfológico de la cuenca del río Frío, fue realizado a través de diferentes metodologías, mediante las cuales se concluye que es una

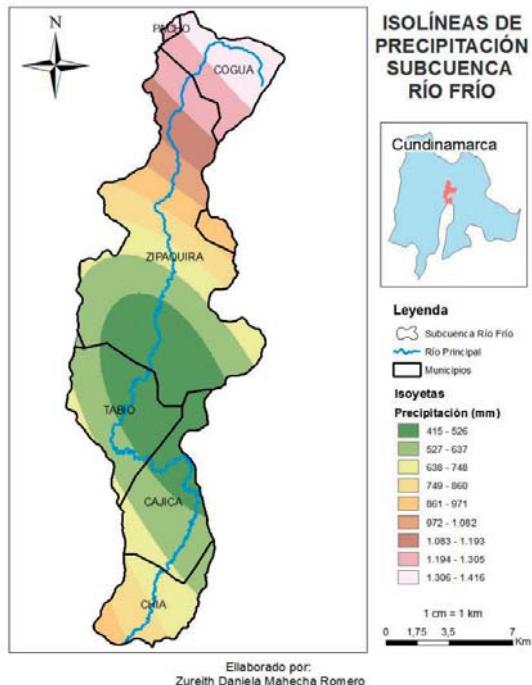
cuenca muy alargada y con una pendiente baja. En la tabla 1, se muestran los resultados de las características fisiográficas de la subcuenca. Por otro lado, según el estudio hidrológico realizado, utilizando los datos del catálogo de información hidrometeorológica del centro de información de hidrología, meteorología y del clima de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, para 13 estaciones ubicadas dentro de la cuenca entre Climatológicas principales CP, Pluviográficas PG, Pluviométricas PM y Limnimétricas LM, la cuenca tiene una precipitación media de aproximadamente 800 mm al año, distribuida como se muestra en la figura 2.

Tabla 1. Características Cuenca río Frío.

Característica	Dato
Área (km ²)	193.24
Perímetro (km)	106.36
Longitud río Frío (km)	69.8
Factor de Forma*	0.04
Factor de compacidad	2.14
Elevación de la cuenca (m.s.n.m)	2930.58
Pendiente río Frío**	0.15
Pendiente de la cuenca	20.23%
Orden de cauces	5
Densidad de drenaje	2.45
Tiempo de concentración (h)	3.84
Precipitación media de la cuenca***	765.22
* Muy alargada	
**Tramo estudiado	
*** Método Isoyetas	

Fuente: Propia.

Figura 2. Mapa de Isoyetas de la subcuenca del río Frío.



Fuente: Propia.

Figura 3. Aforo estación Puente Calamar.



Fuente: Propia.

Figura 4. Aforo estación Páramo de Guerrero.



Fuente: Propia.

Análisis de caudal

Inicialmente se realizó el análisis del caudal máximo y mínimo se realiza con ayuda del software HyFa y Smada, usando como base estadística las distribuciones Gumbel y Normal, para tres estaciones ubicadas dentro de la subcuenca. Las figuras 3 y 4 muestran el caudal máximo y mínimo respectivamente, para cinco períodos de retorno (100, 50, 25, 10 años).

Para el análisis del caudal se realizaron dos aforos; el primero en la estación Climatológica Principal Puente Calamar y el segundo en la estación de Páramos de Guerrero y se tomaron datos históricos de aforos de las estaciones del área de influencia de la zona de estudio, con el fin de determinar el coeficiente n de Manning para la modelación de caudales para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años (Ver figuras 3 y 4).

Por medio de levantamiento topográfico se tomaron las secciones del río en donde se ubican las estructuras a analizar para tener una sección más precisa del canal y contemplarla en la modelación.

De la misma manera, en marzo de 2016, se realizó una inspección a la bocatoma del municipio de Tabio y se evidenció que en el punto de captación el cauce se encontraba en condición seca, es decir con un caudal de 0 L/s. Sin embargo, para Julio del mismo año, a través de nuevas visitas a la zona, se observa un aumento de caudal en el cauce del río Frío, razón por la cual se concluye que existe una variabilidad en los caudales debido a la época del año y se decide entonces realizar los respectivos aforos para conocer el caudal que se encontraba fluyendo para esta fecha.

Modelación he-ras en la parte baja de la subcuenca río Frío Cundinamarca

Figura 5. Punto de captación – marzo 2016.



Fuente: Propia.

Figura 6. Punto de captación – julio 2016.



Fuente: Propia.

Modelación en HEC-RAS

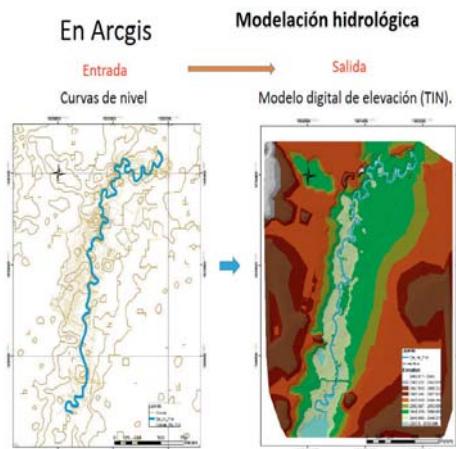
Para la modelación hidráulica del cauce del río Frío se empleó el Sofware HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. A continuación, se describen las fases para la implementación del modelo:

Modelo Digital de Elevación (DEM)

El DEM es generado a través de las curvas de nivel para la zona en estudio mediante el software de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS. (Figura 7).

A continuación, se genera el eje del río, las bancas y las secciones requeridas.

Figura 7. Modelo digital de elevación (DEM)



Fuente: Propia.

Finalmente, se exporta la geometría a HEC-RAS, donde se realiza la modelación hidráulica del cauce con las secciones definidas previamente, para ello se deben definir las siguientes condiciones:

1. Coeficiente de Rugosidad

De acuerdo con la figura 8, el material de recubrimiento del cauce es pasto corto en el borde superior y tierra negra en el borde inferior, el valor recomendado del coeficiente n de Manning para estos cauces es de 0.003 (Chow, 1994).

Figura 8. Río Frío arriba Pte. Cacique.



Fuente: Propia.

2. Caudales

Los caudales para los diferentes períodos de retorno Tr, fueron calculados por el método de transposición de caudales en el punto de entrada al casco urbano del municipio de Chía:

Tabla 2. Caudales para diferentes períodos de retorno.

Tr [años]	Caudal [m ³ /s]
2.33	16.25
5	24.61
10	31.34
25	39.99
50	46.41
100	52.83

Fuente: Propia.

3. Pendiente media del tramo en el cauce:

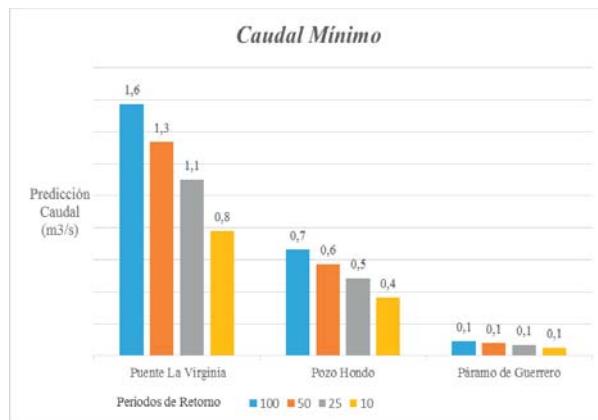
La pendiente media del cauce se obtiene de la caracterización morfométrica de la cuenca en ArcGIS y se obtiene un valor de 0.00048.

Una vez se tiene definida la geometría y las condiciones de frontera se corre el modelo en HEC-RAS. Finalmente, se exportan los resultados de altura de lámina de agua a ArcGIS donde se generan las manchas de inundación.

Resultados

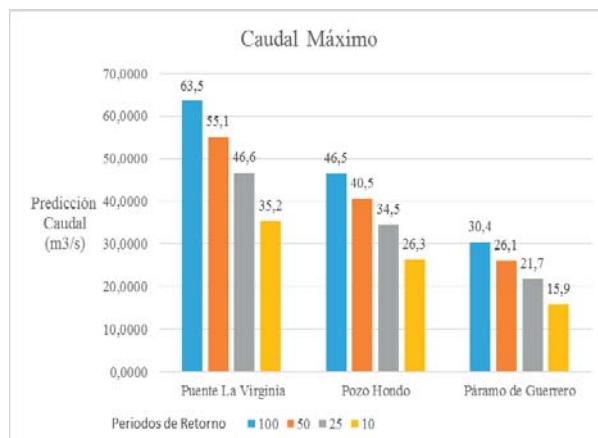
Para obtener el caudal máximo y mínimo en diferentes períodos de retorno se utilizó la aplicación SMADA OnLine, además del software HyFa, donde se ingresaron valores de caudales máximos y mínimos de las estaciones La Virginia, Páramo de Guerrero y Pozo Hondo, seleccionando el método de Gumbel como análisis probabilístico, obteniendo los siguientes resultados los siguientes resultados:

Figura 9. Periodos de Retorno, caudal mínimo.



Fuente: Propia.

Figura 10. Periodos de Retorno, caudal máximo.



Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos en HEC-RAS con los datos de entrada de caudal para los diferentes períodos de retorno calculados anteriormente se muestran en la tabla 3.

En la figura 9, la línea azul representa el nivel máximo que alcanzaría la lámina de agua para los períodos de retorno analizados. De manera general, esta se encuentran niveles de agua entre 2.89 y 3.97 (Tabla 3), y en ninguno de los casos supera el nivel actual de las estructuras.

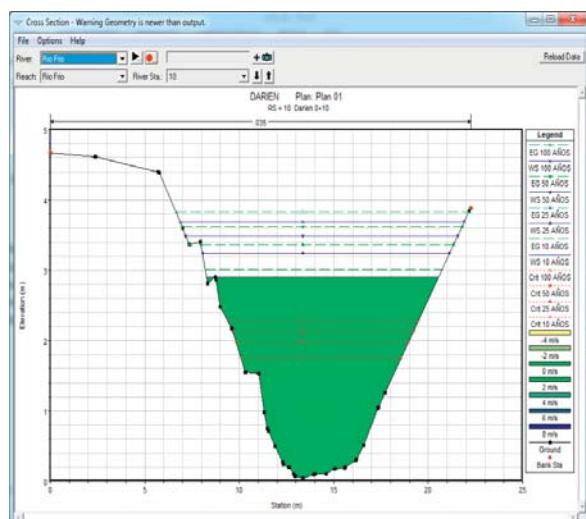
Modelación he-ras en la parte baja de la subcuenca río Frío Cundinamarca

Tabla 3. Lámina de agua según período de retorno.

Estructura	Periodo de retorno - Tr	Altura lámina (m)
Gaviones (El Darién)	10	2.89
	25	3.22
	50	3.48
	100	3.67
Bolsacretos (Puente Peralta)	10	2.9
	25	3.25
	50	3.49
	100	3.71
Jarillón (Puente Cacique)	10	2.99
	25	3.42
	50	3.71
	100	3.97

Fuente: Propia.

Figura 11. Sección transversal - Gaviones - Sector El Darién.

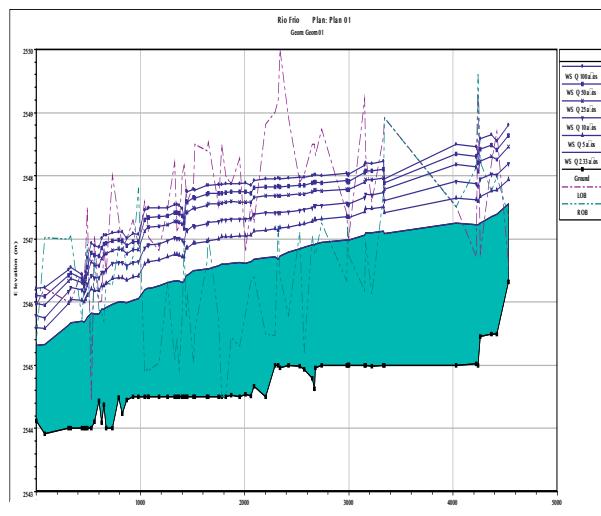


Fuente: Propia.

Resultados hidráulicos

Los resultados según HEC-RAS en cuanto al perfil de flujo muestran un régimen del flujo subcrítico ($Froude < 1$), con velocidades para los diferentes períodos de retorno que varían entre 0.15 y 3.00 m/s (Figura 12).

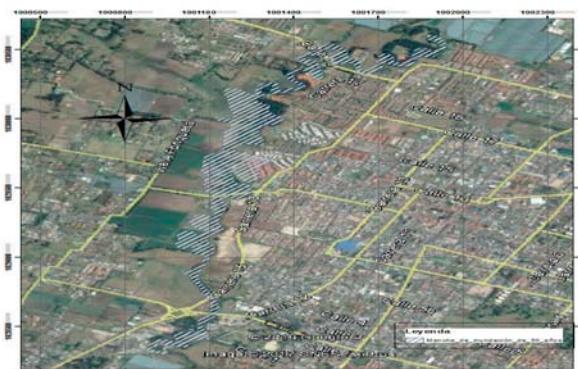
Figura 12. Perfil de flujo.



Fuente: Propia.

A continuación, se presentan los mapas de inundación o las manchas de agua para los períodos de retorno de 50 años y 100 años y se observa fundamentalmente que la variación de la inundación entre estos dos períodos es mínima.

Figura 13. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Propia.

Figura 14. Mapa de inundación para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Propia.

Conclusiones y recomendaciones

En las visitas realizadas en desarrollo del Proyecto de Investigación que desarrolla la Universidad Libre el páramo de guerrero se observa deforestación y cambio de uso del suelo, lo que representa no regulación de agua, daños en los sistemas ambientales y posibles causas de las inundaciones ocasionadas aguas debajo de la Cuenca y en otra visita realizada en junio de 2015 se observa la poca cantidad de agua a lo largo del río y que la demanda deja sin caudal a partir del municipio de Tabio quedando en la parte baja solo vertimientos, falta de una herramienta técnica de planeación y control en las concesiones de agua.

Según los resultados mostrados en la tabla 3 y las figuras 7 a 9 se puede evidenciar que todas las estructuras cumplen hidráulicamente su función, puesto que su nivel máximo supera el de la lámina de agua en un periodo de retorno de 100 años.

En las figuras 4, 5 y 6, se evidencia que estas estructuras a nivel general se encuentran en buenas condiciones, sin embargo, los gaviones

del Darién presentan hundimiento y aunque su altura cubre el nivel de la lámina a un periodo de 100 años, estructuralmente puede fallar en caso de una creciente, se recomienda realizar un estudio geotécnico y estructural y tomar acciones para evitar el derrumbamiento total de la estructura.

No obstante, se recomienda realizar mantenimiento periódico a las otras dos estructuras para mantenerlas en óptimas condiciones.

Aunque las estructuras cumplen hidráulicamente su función, es recomendable que se restrinja y se controle el uso de la ronda de río para construcciones y cultivos, para no exponer la vida de los que invaden estas zonas y para que no se presenten pérdidas económicas ni emergencias de tipo social.

Referente al estudio de Prefactibilidad de embalse localizado en el sitio denominado Puente Playa, es importante continuar con las etapas de Factibilidad, diseño y construcción porque regularía el caudal en la parte media de la cuenca y el agua puede ser utilizada para abastecimiento de agua de varios municipios y se minimizaría las inundaciones que se presentan en la parte baja de la cuenca en los municipios de Chía y Cajicá.

En cuanto a la modelación se realizó con las condiciones de frontera como la pendiente del río igual a 0.00048, caudales y la geometría generada a partir de las curvas de nivel y batimetría disponible de la zona. Se obtuvieron las láminas de agua y con ello la mancha de inundación de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 con ayuda del software ARCGIS 10.1 y se comprueba que la lámina de agua del Río Chía sobrepasa los bordes e inunda el municipio de Chía.

Webgrafía

www.idealteam.gov.co

www.car.gov.co <http://smadaonline.com/> <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000012000000.htm>

Referencias bibliográficas

- Abril, V. C. E. (2013). Estudio Preliminar de la subcuenca del río Frío en el tramo comprendido en el municipio de Cajicá. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de 05 de 2015.] http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11079/1/Entrega%20Final_Estudio%20Preliminar%20Estado%20del%20R%C3%ADo%20Fr%C3%ADo_Cesar%20Venegas.pdf.
- Colombia, Banco Mundial. (2012). Gestión del riesgo -web. [En línea] marzo de 2012. [Citado el: 12 de octubre de 2015.]
- <http://cedir.gestiondelriesgo.gov.co/dvd/archivospdf/5GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>.
- Monsalve G. (2004). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería, segunda edición, ISBN: 9589574211.
- Torres, Q. E. (2006). Técnicas Nucleares y Convencionales Aplicadas en Aguas Superficiales y Subterráneas. Bogotá: Universidad Libre. ISBN 958-97916-2-X.